

h a n e g

# Machbarkeitsstudie

Die Bewirtschaftung von extensivem Feuchtgrünland  
- neue Perspektiven durch die Nutzung von Gras  
in Grasraffinerien und Biogasanlagen

Oktober 2005

Auftraggeber:



Kooperationspartner:

- bremer energie institut
- PRO:NARO e.V.
- Dipl.-Ing. Agr. Anja Scharnweber





**Auftraggeber:**

**Senator für Bau, Umwelt und Verkehr**

Ansgaritorstraße 2

28203 Bremen

Tel.: 0421 361 10074

Fax: 0421 361 9253



**Bremer Energie-Konsens**

Am Wall 140

28195 Bremen

Tel.: 0421 376 671-1

Fax: 0421 376 671-9



**Auftragnehmer:**

**Hanseatische Naturentwicklung GmbH**

Langenstraße 52-54

28195 Bremen

Tel.: 0421 277 00 30

Fax: 0421 277 00 40

E-Mail: [info@haneg.de](mailto:info@haneg.de)

[www.haneg.de](http://www.haneg.de)



**In Kooperation mit:**

**bremer energie institut**

Dipl.-Ing. Wolfgang Schulz

Reimar Lüst Hall

Campus Ring 1

28759 Bremen

Tel.: 0421 200 48 84

Fax: 0421 200 48 87

[schulz@bremer-energie-institut.de](mailto:schulz@bremer-energie-institut.de)



**PRO:NARO e.V.**

Dr. Detlef Stryjewski

Zum Panrepel 38/40

28307 Bremen

Tel.: 0421 4861 290

Fax: 0421 4861 142

[info@pronaro.de](mailto:info@pronaro.de)

**Dipl.-Ing. agr. Anja Scharnweber**

Bruchstraße 19

27339 Riede

Tel.: 04294 795 174

Fax: 04294 795 175

[scharnweberriede@aol.com](mailto:scharnweberriede@aol.com)

## Inhaltsverzeichnis

<b>Tabellenverzeichnis</b> .....	<b>II</b>
<b>Abbildungsverzeichnis</b> .....	<b>III</b>
<b>Anlass und Zielsetzung</b> .....	<b>1</b>
Alternativen für Landwirtschaft und Naturschutz .....	1
Die Nutzung nachwachsender Rohstoffe als Beitrag zum Klimaschutz .....	2
<b>1 Rohstoffverfügbarkeit</b> .....	<b>5</b>
1.1 Berücksichtigung von Qualitätsansprüchen .....	5
1.2 Zur Verfügung stehende Verwertungspotenziale .....	8
1.3 Rohstoffkosten .....	9
1.4 Fazit -Rohstoffverfügbarkeit .....	11
<b>2 Marktchancen der Produktlinien einer Grasraffinerie</b> .....	<b>13</b>
2.1 Marktanalyse Faserstoffe .....	13
2.1.1 Herstellung von Dämmstoffen .....	15
2.1.2 Herstellung anderer Produkte .....	17
2.2 Protein- und Milchsäureproduktion .....	22
2.2.1 Lactate (Milchsäureprodukte) .....	22
2.2.2 Proteine und Aminosäuren .....	24
<b>3 Wirtschaftliche Perspektiven für Anlagen in Bremen zur Gewinnung von Energie und / bzw. Rohstoffen</b> .....	<b>26</b>
3.1 Biogasanlage .....	26
3.2 Grasraffinerie .....	33
3.3 Primärenergieeinsparung der Biogas- und der Grasraffinerievarianten .....	39
3.4 CO <sub>2</sub> -Minderung der Biogas- und der Grasraffinerievarianten .....	40
3.5 Erzeugung von Brennstoffpellets .....	42
3.5.1 Wirtschaftlichkeit .....	42
3.5.2 Primärenergieeinsparung, CO <sub>2</sub> -Minderung bei einer Nutzung von Gras in Form von Brennstoffpellets .....	44
<b>4 Vergleich aller betrachteten Optionen</b> .....	<b>45</b>
<b>5 Schlussfolgerung und Empfehlung</b> .....	<b>47</b>
5.1 Biogasanlagen .....	47
5.2 Grasraffinerie .....	48
5.3 Die Herstellung von Graspellets .....	51
5.4 Ausblick für eine Realisierung von Anlagen in Bremen .....	51

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1-1: Erwünschte Eigenschaften in Abhängigkeit der vorgesehenen Verwertung .....	7
Tabelle 1-2: Qualitätsklassen des Grünlandaufwuchses.....	7
Tabelle 1-3: Rohstoffqualitäten und -quantitäten in Bremen .....	9
Tabelle 1-4: Ermittlung der Rohstoffkosten für Grünlandaufwuchs in silierter Form bezogen auf die Qualitätsklasse Ae .....	10
Tabelle 1-5: Rohstoffpreise und Rohstoffpotenzial in Bremen untergliedert nach Prioritätsrang.....	11
Tabelle 2-1: Marktpreise von Hanf- und Flachskurzfasern und ihren Konkurrenten, Deutschland 2004 .....	21
Tabelle 2-2: Marktpotential von abbaubaren Kunststoffen (Mio €/a) in der EU .....	23
Tabelle 3-1: Beurteilung verschiedener Varianten hinsichtlich der Praktikabilität und der Konsequenzen, die sich aus dem EEG ergeben .....	28
Tabelle 3-2: Auslegung der Gärbehälter und anderer Hauptkomponenten in den betrachteten Varianten.....	29
Tabelle 3-3: Kennwerte der berücksichtigten Substrate.....	29
Tabelle 3-4: Investitions- und Kapitalkosten für die Gesamtanlagen.....	30
Tabelle 3-5: Jährliche Betriebskosten in den betrachteten Biogasanlagenvarianten.....	30
Tabelle 3-6: Berücksichtigte Gras- und Biogasertragspotenziale aus Bremer Grünlandflächen .....	31
Tabelle 3-7: Berücksichtigte Eigenschaften und Gasertragswerte für Gülle und Maissilage .	31
Tabelle 3-8: Erlössituation in den betrachteten Biogasanlagenvarianten (Inbetriebnahme 2007).....	31
Tabelle 3-9: Jahresbetriebsergebnisse für die betrachteten Biogasanlagenvarianten.....	32
Tabelle 3-10: Auslegung der Gärbehälter und anderer Hauptkomponenten in den betrachteten Varianten .....	35
Tabelle 3-11: Kosten und Energieeigenbedarf der in den Grasraffinerievarianten berücksichtigten Biogasanlagen .....	35
Tabelle 3-12: Kosten für die Produktionsanlage in den Grasraffinerievarianten.....	36
Tabelle 3-13: Erlöse in den Grasraffinerievarianten.....	37
Tabelle 3-14: Jährliche Betriebsergebnisse der Grasraffinerievarianten .....	37
Tabelle 3-15: Primärenergieeinsparung der Biogasvarianten .....	39
Tabelle 3-16: Primärenergieeinsparung in den Grasraffinerie-Varianten (ohne Proteinherstellung) .....	40
Tabelle 3-17: CO <sub>2</sub> -Bilanzen der betrachteten Biogasvarianten .....	41

Tabelle 3-18: CO <sub>2</sub> -Bilanzen der betrachteten Grasraffinerievarianten (ohne Proteinherstellung) .....	41
Tabelle 3-19: Berücksichtigte Betriebskosten der Pelletierungsanlage .....	43
Tabelle 4-1: Sensitivität der Betriebsergebnisse auf veränderte Rohstoffpreise und die Erlöse .....	45

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1-1: Wachstumskurve von Futterpflanzen .....	5
Abbildung 1-2: Grasraffinerie mit angeschlossener Biogasanlage .....	6
Abbildung 1-3: Stoffstrom einer Grasraffinerie .....	12
Abbildung 2-1: Produktlinien der Grasraffinerie .....	14
Abbildung 2-2: Der Dämmstoffmarkt in Deutschland (Quelle Abbildung selbst erstellt, Zahlen Dämmstofffachverband, 2000) .....	15
Abbildung 2-3: Marktanteile am Nischenmarkt „Ökologische Dämmstoffe“ (nachwachsender Rohstoffe – Gesamtmenge in Deutschland 1,65 Mio. m <sup>3</sup> ) .....	16
Abbildung 2-4: Einteilung in Produktgruppen in Abhängigkeit von der Faserqualität und der eingesetzten Menge an Bindemitteln .....	17
Abbildung 2-5: Anteile der in der Produktion von Automobilformteilen eingesetzten Herstellungsverfahren (Quelle, Markterhebung 2002, Nova Institut) .....	18
Abbildung 2-6: Aufbau von Mulchmatten (Quelle: Grünfix GmbH, Achim, Emulsionsschutzmatten) .....	20
Abbildung 2-7: Aufbau von Rasenmatten (Quelle: Grünfix GmbH, Achim, Emulsionsschutzmatten) .....	20
Abbildung 2-8: Schema einer Milchsäurefermentation .....	23
Abbildung 3-1: Biogasanlage .....	27



## **Anlass und Zielsetzung**

Extensiv bewirtschaftete Feuchtwiesen und -weiden prägen die Landschaft Norddeutschlands seit Jahrhunderten. Eine Vielzahl naturraumtypischer Tier- und Pflanzenarten ist an Lebensräume in dieser durch regelmäßige landwirtschaftliche Nutzung gestalteten Kulturlandschaft angepasst, die in und um Bremen für die Zukunft erhalten werden sollen.

Landwirtschaftliche Feuchtgrünlandflächen unterliegen jedoch einem starken Veränderungsdruck. Einerseits wirken sich direkte Nutzungsansprüche durch Industrie-, Gewerbe-, Wohn- und Verkehrsflächen aus, andererseits ergeben sich Nutzungsänderungen durch den sozio-ökonomischen Wandel in der Landwirtschaft selbst. Mittel- bis langfristig sind zudem durch die fortschreitende Klimaänderung Auswirkungen auf das Feuchtgrünland zu erwarten.

Vor dem Hintergrund dieses dynamischen Wandels sind Strategien gefragt, die diese Feuchtgrünlandflächen über ihren ideellen und naturschutzfachlichen Wert hinaus durch eine sinnvolle wirtschaftliche Nutzung aufwerten können. Voraussetzung dafür ist, dass diese Nutzungsalternativen einerseits ökonomischen Anforderungen gerecht werden und gleichzeitig die wichtigen Ziele des Klima- und Naturschutzes unterstützen.

Die Hanseatische Naturentwicklung GmbH (haneg) sucht hier gemeinsam mit ihren Projektpartnern nach Lösungen, die eine dauerhafte und an die natürlichen Standortbedingungen angepasste Bewirtschaftung ermöglichen und als Modell für andere Regionen, z.B. in Niedersachsen, dienen können. Dabei sind ortsansässige Landwirte in die neuen Ansätze einzubinden, indem zukunftsweisende Perspektiven für die Grünlandbetriebe geschaffen werden. Dahinter steht die Vision, Naturschutz, Landwirtschaft und Ökonomie erfolgreich miteinander zu verknüpfen und so eine gewachsene und lebendige Kulturlandschaft erhalten zu können.

Eine Idee dazu ist die Nutzung von Gras in Biogasanlagen oder in einer Grasraffinerie. Über eine Grasraffinerie könnten aus Gras verwertbare Proteine, Fasern und Milchsäure erzeugt und vermarktet werden. Gleichzeitig kann durch den Einsatz dieser Technologien ein Beitrag zum Klimaschutz geleistet werden, z.B. indem Produkte aus fossilen Rohstoffen durch nachwachsende Rohstoffe ersetzt werden. Die Chancen, die solche Strategien bieten, werden in der vorliegenden Studie am Beispiel der in Bremen vorhandenen Feuchtgrünlandflächen (einschließlich Naturschutzflächen) überprüft und hinsichtlich der oben genannten Ziele bewertet.

Die in dieser Studie skizzierten Modelle wirken über Bremen hinaus. Sie haben eine bundesweite Bedeutung für die zukünftige Nutzung von Grünlandflächen, denn auch in anderen Bundesländern wird aktuell nach neuen Perspektiven für die Grünlandbewirtschaftung gesucht.

## **Alternativen für Landwirtschaft und Naturschutz**

Die Hanseatische Naturentwicklung GmbH ist für über 1.000 ha stadteigener, überwiegend landwirtschaftlich genutzter Grünlandflächen in Bremen verantwortlich. Die Flächen befinden sich entweder in Naturschutzgebieten, sind nach § 22a des Bremischen Naturschutzgesetzes als „Besonders Geschützte Biotope“ ausgewiesen oder sie sind als Kompensation

für Eingriffe in Natur und Landschaft dauerhaft im Sinne des Naturschutzes als extensives Grünland zu erhalten, zu pflegen und zu entwickeln.

Zur Zeit wird die an den Anforderungen des Naturschutzes ausgerichtete Bewirtschaftung des Grünlands in Kooperation mit zahlreichen landwirtschaftlichen Betrieben in und um Bremen erfolgreich in der Praxis umgesetzt.

Die Zusammenarbeit funktioniert, da einerseits Ziele des Naturschutzes verfolgt werden und andererseits die landwirtschaftlichen Betriebe Flächen u. a. für die Milchviehwirtschaft produktiv einsetzen können.

In den letzten Jahren haben sich die Rahmenbedingungen vor allem für die traditionelle Nutzungsform der Milchviehwirtschaft jedoch stetig verschlechtert, so dass bei einer Fortsetzung des Trends mittel- bis langfristig damit gerechnet werden kann, dass weitere Betriebe die Haltung von Milchkühen einstellen werden. So könnte ein Überhang an nicht mehr genutzten Grünlandflächen entstehen, die dann mit hohem finanziellem Aufwand gepflegt werden müssten.

Eine Nutzungsaufgabe wird bundesweit insbesondere für Grenzertragsstandorte zum Tragen kommen, deren Böden entweder zu trocken oder zu nass sind, um gute bis sehr gute Futtererträge zu liefern. Auf besseren Standorten sind die Voraussetzungen für eine weitere Bewirtschaftung dagegen günstiger einzuschätzen. Gerade die landwirtschaftlich weniger attraktiven Standorte sind jedoch oft für den Naturschutz interessant. Um diese weiterhin aktiv mit Hilfe der Landwirtschaft erhalten zu können, sind zukunftsfähige Betriebsstrukturen notwendig. Für diese müssen zusätzliche, ökonomisch sinnvolle Perspektiven in der Grünlandnutzung entwickelt werden. Hier könnten Biogasanlagen und Grasraffinerien auf der stofflichen Grundlage von Gras als Alternativen in Betracht kommen.

### **Die Nutzung nachwachsender Rohstoffe als Beitrag zum Klimaschutz**

Angesichts der weltweiten Klimaveränderung durch den Treibhauseffekt verpflichteten sich die Industriestaaten im Kyoto-Protokoll von 1997, ihre Emissionen von Treibhausgasen bis zum Jahr 2012 gegenüber 1990 um durchschnittlich 5,2 % zu senken. Eine Strategie des Klimaschutzes ist die Umstellung der Energieproduktion von fossilen auf erneuerbare Energieträger. Bei der Erzeugung von Strom und Wärme aus erneuerbaren Energiequellen wird der Nutzung von Biomasse ein entscheidender Anteil zugemessen. Des Weiteren gibt es aber auch Bestrebungen, Produkte aus fossilen Rohstoffen mit nachwachsenden Rohstoffen zu ersetzen und dadurch die Förderung bzw. Freisetzung von bislang fossil gebundenem CO<sub>2</sub> zu vermindern.

Eine wesentliche Quelle für die energetische Nutzung von Biomasse ist neben der Forstwirtschaft insbesondere die landwirtschaftliche Produktion. Hier steht in Bremen und in vielen Gegenden Norddeutschlands als nachwachsender Rohstoff vor allem Gras zur Verfügung.

Die Erzeugung von Energie und stofflichen Produkten aus Gras könnte sich nicht nur für den Naturschutz und die Landwirtschaft als eine attraktive Vermarktungsalternative entwickeln, sondern auch einen Beitrag zur Reduzierung von CO<sub>2</sub>-Emissionen leisten. Deshalb kommt dem Klimaschutz als weiterem Aspekt in der vorliegenden Studie eine besondere Bedeutung zu. Es ist daher darzustellen, wie und in welchem Maße die untersuchten Technologien ihren Beitrag zur Reduzierung von CO<sub>2</sub>-Emissionen leisten können.

Zusammenfassend können vor diesem Hintergrund die folgenden übergeordneten Ziele für die vorliegende Studie abgeleitet werden:

1. Die wertvollen Feuchtgrünlandbestände in Bremen sollen durch die Entwicklung ökonomisch und ökologisch sinnvoller Nutzungsalternativen für die Landwirtschaft und den Naturschutz langfristig erhalten werden. Dazu soll die Nutzung über Grasraffinerien und im Vergleich dazu über Biogasanlagen oder die Nutzung von Brennstoffpellets aus Gras in mehreren Varianten dargestellt und bewertet werden.
2. Bei der Nutzung von Gras in Grasraffinerie und Biogasanlagen sind die Möglichkeiten zur Reduzierung von CO<sub>2</sub>-Emissionen als Beitrag zum Klimaschutz darzustellen.

Daraus abgeleitet stehen in Bezug auf die zu untersuchenden Technologien die folgenden Ziele bei der Erstellung der Machbarkeitsstudie im Vordergrund:

- Die Verfügbarkeit von Gras als nachwachsendem Rohstoff am Standort Bremen ist in Bezug auf Qualität, Quantität und die zu erwartenden Rohstoffkosten zu bilanzieren.
- Der Stand der Technik und damit verbundene Produktionsmöglichkeiten für Energie und stoffliche Produkte aus Grasraffinerien oder Biogasanlagen sind übersichtlich darzustellen und ökonomisch zu bewerten.
- Die Nutzung von Brennstoffpellets aus Gras ist als weitere Alternative zu begutachten.
- Vermarktungschancen für die in einer Grasraffinerie zu erzeugenden Produkte (Einblasdämmstoffe, Faserverbundstoffe, Dämmplatten, Proteine, Milchsäure) sind aufzuzeigen und zu bewerten.
- Basisinformationen für potenzielle Investoren und Betreiber von Biogasanlagen und Grasraffinerien sollen durch die Studie übersichtlich und strukturiert zur Verfügung gestellt werden.
- Es ist eine Einschätzung vorzunehmen, in wie weit die Anlagen einen Beitrag zum Erhalt des wertvollen Feuchtgrünlandes über eine dauerhafte Bewirtschaftung leisten können.

Um diesen Ansprüchen gerecht zu werden, beschäftigt sich die Untersuchung mit den gesamten Verarbeitungsketten von der Ernte bis hin zur Vermarktung der Produkte.

In Kapitel 1 wird dargestellt, welche Qualitätsmerkmale des Grases für die spätere Verwertung einzelner Komponenten oder der gesamten Pflanze zur Bewertung der Nutzbarkeit herangezogen werden. Ausgehend von diesen Qualitäten werden die in Bremen vorhandenen Grünlandpotenziale quantitativ ermittelt und in verschiedene Qualitätsklassen eingeteilt. Dann erfolgt eine Empfehlung, welche Qualitätsklassen mit welcher Priorität für die Grasraffinerie oder eine Biogasanlage zu nutzen sind. Das Kapitel 1 schließt mit einer Kalkulation der Rohstoffkosten für jede Qualitätsklasse ab.

Das zweite Kapitel beschäftigt sich mit den aus einer Grasraffinerie zu generierenden Produkten, mit dem technischen Stand der Herstellungsprozesse und einer Bewertung potenzieller Märkte für den Absatz dieser Produkte. Soweit möglich erfolgt hier eine Einschätzung von Preisen bzw. Preisspannen für die Produkte der Grasraffinerie.

Kapitel 3 setzt sich mit den Techniken zur Veredelung des Grases aus stofflicher und energetischer Sicht sowie mit der wirtschaftlichen und ökologischen Beurteilung der betrachteten Nutzungslinien auseinander. Dazu werden sowohl für Biogasanlagen als auch für die Grasraffinerie mehrere typische Varianten berechnet und die Rahmenbedingungen für diese Modellrechnungen erläutert. Nach einer vergleichenden Beurteilung der dargestellten Optionen (Kapitel 4) werden die Schlussfolgerungen aus der vorliegenden Studie gezogen und Empfehlungen (Kapitel 5) für die nächsten Schritte unterbreitet.

# 1 Rohstoffverfügbarkeit

## 1.1 Berücksichtigung von Qualitätsansprüchen

Der in Bremen anfallende Wiesenschnitt ist unter Berücksichtigung der jeweiligen Ansprüche der betrachteten Verwertungspfade in Qualitätsklassen unterteilt worden (siehe Tabelle 1-2). Aus verfügbaren Informationen, die sich aus der traditionellen Verwertung ergeben, war in gewissem Maße ein Rückschluss auf die Eigenschaften des Grasses in den jeweiligen Qualitätsklassen möglich. Bei den höherwertigen Qualitäten handelt es sich um den Ertrag von Flächen, die keinen oder nur geringen Naturschutzauflagen unterworfen sind. Besonders für diese Flächen lassen sich die Eigenschaften der Gräser durch die Wahl des Schnittzeitpunktes und durch eine gezielte Grünlandpflege beeinflussen. Z.B. ist für die Faserherstellung relevant, dass die Fasern möglichst fein sind und sich dadurch leichter im Verarbeitungsprozess trennen lassen. Dies ist der Fall, wenn der Grünlandschnitt zu einem optimalen Zeitpunkt erfolgt. Dieser liegt beim Beginn des Rispenschiebens vor der Gräserblüte (siehe Abbildung 1-1). Überständige Gräser mit Lignineinlagerungen erschweren dagegen die Zerfaserung und führen zu ungenügenden Faserqualitäten. So werden die Qualitätsmerkmale insbesondere von

- dem Schnittzeitpunkt
- der Artenzusammensetzung und
- den Lagerungs- und Transporteigenschaften

beeinflusst.

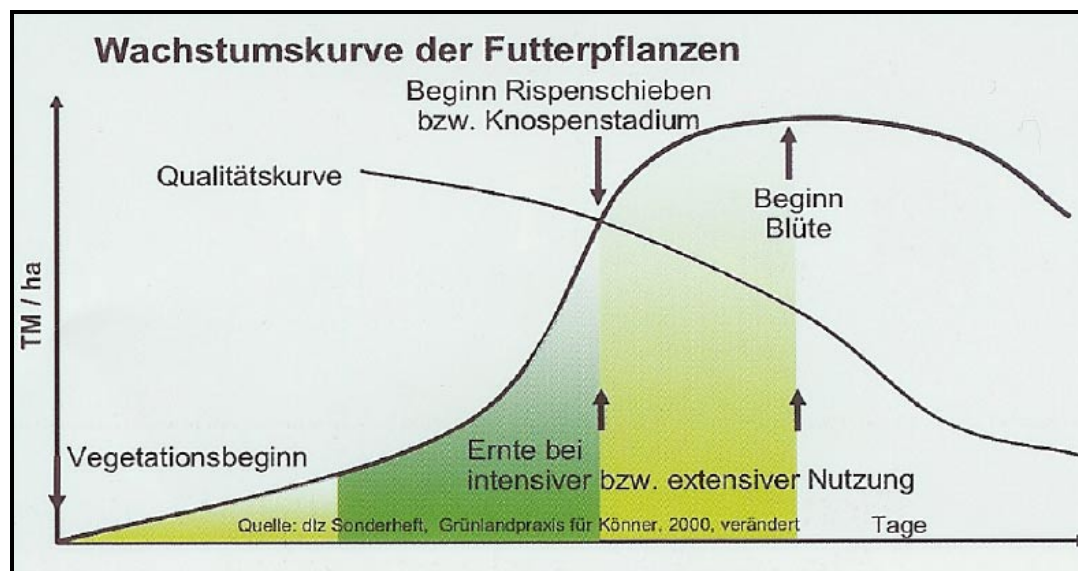


Abbildung 1-1: Wachstumskurve von Futterpflanzen

Die Qualitätsansprüche orientieren sich also an der vorgesehenen Verwertung. Im Rahmen der Untersuchung handelt es sich um die Herstellung von

- Fasern,
- Proteinen,
- Milchsäure,
- Brennstoffpellets sowie
- von Biogas zur Erzeugung von Wärme und Strom .

Bei einer Grasraffinerie bietet es sich an, eine Biogasanlage zur Deckung des Energiebedarfs und zur Verwertung von entstehenden Reststoffen gemäß Abbildung 1-2 in den Prozess zu integrieren. Die Biogaserzeugung aus Gras ist zusätzlich als eigenständige Verwertungsmöglichkeit behandelt worden. Bezüglich einer Verwertung als Brennstoff ist in verkürzter Form auf die Herstellung von Brennstoffpellets eingegangen worden.

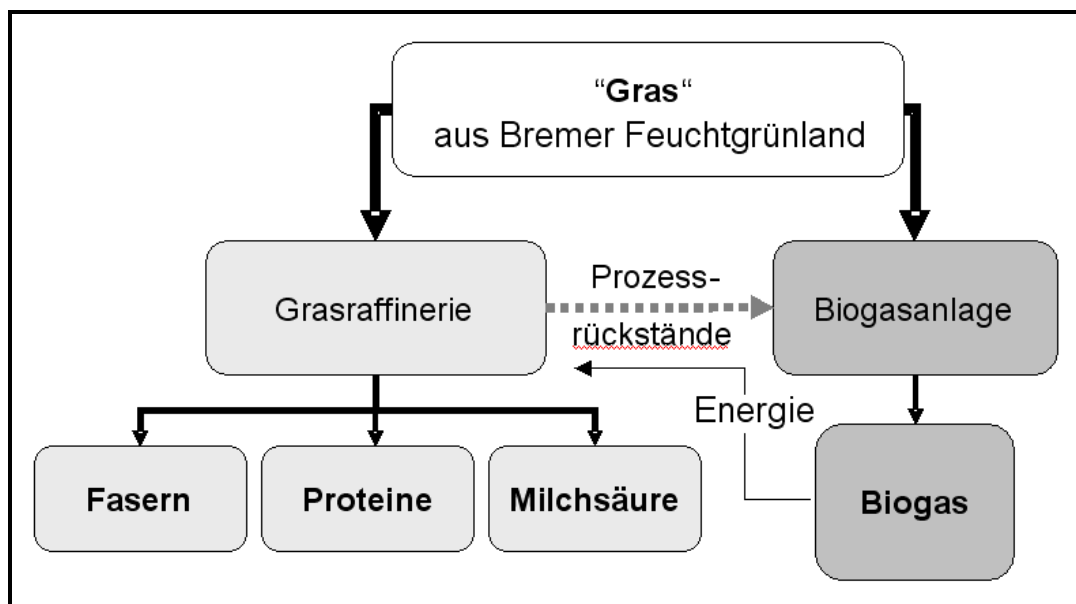


Abbildung 1-2: Grasraffinerie mit angeschlossener Biogasanlage

Die wesentlichen Qualitätsanforderungen an den Rohstoff sind in der nachfolgenden Tabelle aufgeführt:

**Tabelle 1-1: Erwünschte Eigenschaften in Abhängigkeit der vorgesehenen Verwertung**

Grasverwertung zur Herstellung von	Erwünschte Eigenschaften des Grünlandaufwuchses
Fasern	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Rohfasergehalt = 23 % i. d. TM (1. Schnitt)</li> <li>- Trockenmassegehalt maximal 40 %</li> <li>- Kräuteranteil im Aufwuchs unter 20 % des Ertrages</li> <li>- geringer Anteil an Seggen und Binsen</li> <li>- frei von mikrobiellen Rotteprozessen</li> </ul>
Proteinen	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Rohproteingehalt: mind. 15,8 % i. d. TM</li> <li>- toxikologische Unbedenklichkeit des Rohstoffs</li> <li>- frei von mikrobiellen Rotteprozessen</li> </ul>
Milchsäure	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Milchsäuregehalt 9 – 10 % i. d. TM</li> </ul>
Energie (Biogas)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- niedriger Ligningehalt (= optimaler, früherer Schnittzeitpunkt)</li> <li>- frei von mikrobiellen Rotteprozessen</li> </ul>
Brennstoff	<ul style="list-style-type: none"> <li>- TS-Gehalt über 50 %, bei Berücksichtigung der notwendigen Lagerfähigkeit ca. 85 %</li> <li>- niedrige N-Gehalte, also möglichst geringe Proteingehalte, da sonst die Gefahr von Stickoxidemissionen besteht</li> <li>- niedrige Chlorgehalte zur Vermeidung von Korrosionsschäden an den Feuerungsaggregaten und zur Vermeidung von HCl- bzw. Dioxinemissionen</li> <li>- niedrige K-Gehalte bzw. hohe Ca-Gehalte zur Verringerung der Verschlackungsgefahr</li> </ul>

Aus den vorliegenden Informationen lassen sich fünf Qualitätsklassen unterscheiden, deren Eigenschaften in der folgenden Tabelle aufgelistet sind.

**Tabelle 1-2: Qualitätsklassen des Grünlandaufwuchses**

Qualitätsklasse	Rohproteingehalt (%)	Milchsäuregehalt (%)	Faserqualität	Gas-ertrag (l <sub>N</sub> /kg oTM)	Methan-gehalt (%)
C	11	0	minderwertig	550	53
B	12	<6	minderwertig	570	53,1
A	15	7	hochwertig	576	54,4
Ae	16,5	10	hochwertig	594	54,5
Ai	17,5	10	hochwertig	582	54

### Die Qualitätsklassen

- C und B wären aufgrund des geringen Proteingehalts eher für Feuerungszwecke,
- A, Ae und Ai für eine Faserherstellung und
- Ae und Ai für eine Proteinherstellung

geeignet.

## 1.2 Zur Verfügung stehende Verwertungspotenziale

Das Dauergrünland der Stadt Bremen umfasste in 2003 nach Angaben des Statistischen Landesamtes 7.145 ha (Statistisches Landesamt Bremen (2004)).

Die Nutzung teilt sich wie folgt auf:

Dauerwiesen	960 ha
Mähweiden	4.764 ha
Dauerweiden u. a.	1.421 ha

Unterschiede in der Nutzungsintensität werden in Bremen in erster Linie durch standörtliche Unterschiede sowie die geltenden Naturschutzauflagen bestimmt. 28 % der Grünlandflächen werden mit Naturschutzauflagen bewirtschaftet.

Da die Nutzung des Grünlandaufwuchses in einer Grasraffinerie oder Biogasanlage mit einer Verwendung als Grundfutter für Weidetiere konkurriert, wurde zur Ermittlung der Rohstoffpotenziale ein Nutzungsmodell für das Dauergrünland der Stadt Bremen entwickelt. Das Nutzungsmodell basiert auf der Annahme, dass in erster Linie die Aufwuchsmenge des Bremer Dauergrünlandes in der potenziellen Grasraffinerie bzw. Biogasanlage eingesetzt wird, die zum jetzigen Zeitpunkt nicht landwirtschaftlich genutzt wird, d. h. nicht für die Futtermittelversorgung des Bremer Weidetierbestandes notwendig ist. Da in Bremen überwiegend Milchviehhaltung betrieben wird und hierfür qualitativ hochwertiges Grundfutter bereitgestellt werden muss, wurde unterstellt, dass die Futtergewinnung nur auf Grünlandflächen ohne Naturschutzauflagen vorgenommen wird.

Zum gegenwärtigen Zeitpunkt wäre theoretisch bei einer Kombination aus Weide- und Stallhaltung zur Gewinnung dieser Grundfuttermenge eine Fläche von 3.160 Hektar erforderlich.

Unter Berücksichtigung des Nutzungsmodells ergibt sich schließlich folgende Rangfolge für die stoffliche bzw. energetische Verwertung des Grünlandaufwuchses indem den ermittelten Qualitätsklassen die unten angegebenen Prioritätsränge zugeordnet werden :

- 1. Prioritätsrang:** Grünlandaufwuchs aus Naturschutzgebieten, für den eine landwirtschaftliche Nutzung stark gefährdet ist.
- 2. Prioritätsrang:** Grünlandaufwuchs aus Naturschutzgebieten, für den eine landwirtschaftliche Nutzung mittelfristig gefährdet ist und der in begrenztem Umfang zur Faserproduktion geeignet ist.
- 3. Prioritätsrang:** Grünlandaufwuchs aus Naturschutzgebieten, der neben der landwirtschaftlichen Nutzung gut zur Faserproduktion geeignet ist.
- 4. Prioritätsrang:** Grünlandaufwuchs aus extensiver Bewirtschaftung, der qualitativ hochwertig ist und sowohl in der Landwirtschaft als auch in einer Grasraffinerie ohne Einschränkung genutzt werden könnte.
- 5. Prioritätsrang:** Grünlandaufwuchs aus intensiver Bewirtschaftung mit kleinem Artenspektrum, der sowohl in der Landwirtschaft als auch in einer Grasraffinerie ohne Einschränkung genutzt werden könnte.

Unter Berücksichtigung der jeweiligen Erntemengen ergibt sich schließlich das in der folgenden Tabelle nach Qualitätsklassen untergliederte Rohstoffpotenzial für die stoffliche und energetische Verwertung. Wie aus der Tabelle ersichtlich ist, fallen die Potenziale bei einer Nutzung in konservierter Form (Silage oder Heu) etwas niedriger aus als bei direkter Nutzung des frischen Grases zum Zeitpunkt der Ernte.

**Tabelle 1-3: Rohstoffqualitäten und -quantitäten in Bremen**

Prioritäts-rang	Qualitäts-klasse	Grasraffinerie				Biogasanlage		Rohstoff-potential frisch [t TS/a]	Rohstoff-potential konserv. [t TS/a]
		Rohprotein-ausbeute [kg/t TS] (frisch/kons.)	Milchsäure-ausbeute [kg/t TS] (Silage)	max. Anteil in Faser-prod. [%]	Faser-ausbeute [kg/t TS]	Gasertrag [l <sub>N</sub> /kg oTS]	CH <sub>4</sub> -gehalt [%]		
<b>1</b>	C	0 / 0	0	0	0	550	52,7	3.526	3.134
<b>2</b>	B	30 / 54	< 30	30	270	570	53,1	5.098	4.532
<b>3</b>	A	37 / 67	35	100	245	576	54,4	2.300	2.045
<b>4</b>	Ae	41 / 74	50	100	245	594	54,5	22.435	19.954
<b>5</b>	Ai	43 / 78	50	100	245	582	54,0	<sup>1)</sup>	<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup> Vergleichsgröße, nicht für Bremen vorgesehen

### 1.3 Rohstoffkosten

Die Kalkulation der Rohstoffkosten erfolgte als Vollkostenrechnung unter Berücksichtigung von üblichen Pachtzahlungen in Höhe von 130 €/ha/a und dauerhaft erhältlichen Flächenprämien von rund 320 €/ha/a ab 2013. Anders als bei der Deckungsbeitragsrechnung, bei der nur die Material – und Fertigungskosten in die Berechnung eingehen, fließen hier die Maschinenfestkosten mit in die Berechnung ein, da die Rohstoffgewinnung für die oben

beschriebenen Anlagen <sup>1</sup> einen eigenständigen Betriebszweig darstellt, dessen Wirtschaftlichkeit langfristig gegeben sein muss. Die berücksichtigten Einzelposten sind aus der folgenden Tabelle exemplarisch für die Qualitätsklasse Ae (Rang 4) zu entnehmen.

**Tabelle 1-4: Ermittlung der Rohstoffkosten für Grünlandaufwuchs in silierter Form bezogen auf die Qualitätsklasse Ae**

<b>Einnahmen</b>		<b>€/ha</b>	<b>€/t TS</b>	<b>%</b>
<b>Flächenprämie, jährlich</b>		320	42,11	
<b>Kosten für 3 Schnitte</b>				
Pacht		130,00	17,11	11,6
Nachsaat alle 3 Jahre	230 €/dt	30,30	3,99	2,7
Grunddünger (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> / K <sub>2</sub> O)	0,43 / 0,22 €/kg	29,39	3,87	2,6
Ampferbekämpfung (alle 3 Jahre)	43,96 €/ha	14,51	1,91	1,3
Bodenuntersuchung	8,50 €/ha	8,50	1,12	0,8
Schleppen (6 m)	15,98 €/ha	15,98	2,10	1,4
Walzen (6 m)	17,26 €/ha	17,26	2,27	1,5
Düngerstreuen (8 m <sup>2</sup> , 9 t)	7,51 €/ha	15,02	1,98	1,3
Feldspritze 27 m (alle 3 Jahre)	11,34 €/ha	3,74	0,49	0,3
Zinsanspruch allgemein	0,50% / Monat	4,03	0,53	0,4
<b>Summe allgemeine Kosten</b>		<b>268,73</b>	<b>35,36</b>	<b>23,9</b>
Düngemittel: 21 m <sup>3</sup> Rindergülle	1,80 €/m <sup>3</sup>	37,80	4,97	3,4
Folie/Silierhilfsmittel (€/m <sup>2</sup> , €/t FM)	0,23 €/m <sup>2</sup> / 1,45€/t	33,14	4,36	2,9
Gülleausbringung	1,69 €/m <sup>3</sup>	59,29	7,80	5,3
Mahd (Lohn)	30 €/ha	90,00	11,84	8,0
Wenden	18,02 €/ha	54,06	7,11	4,8
Schwaden	19,73 €/ha	59,19	7,79	5,3
Ladewagen mit Häckseleinrichtung (Lohn)	60 €/ha	180,00	23,68	16,0
Transport zum Siloplatz, Ø 1,5 km Entf. (Lohn)	61,30 €/h	11,10	1,46	1,0
Verdichten (Lohn)	50 €/h	147,00	19,34	13,1
Abdecken mit Folie	5 h / Schnitt	9,36	1,23	0,8
Verladen / Transport, 20 km Entfernung (Lohn)	200 €/d / 75€/h	78,41	10,32	7,0
Zinsanspruch	0,50% / Monat	13,49	1,78	1,2
Lagerung: Siloplatte mit Sickersaftgrube	6 €/m <sup>2</sup>	83,72	11,02	7,4
<b>Kosten insgesamt</b>		<b>1.125,41</b>	<b>148,08</b>	<b>100,0</b>
Gewinnaufschlag	5%	56,27	7,40	
Einnahmen./Kosten		-861,68	-113,38	
<b>Rohstoffpreis</b>	<b>€/t TS</b>		<b>113,50</b>	

Der Prämienanspruch ist entkoppelt von der Fläche und der Art der landwirtschaftlichen Nutzung, d. h. der Landwirt kann innerhalb eines groben Rahmens die Art der Bewirtschaftung frei wählen und den Prämienanspruch auch über andere bisher prämienlose Flächen aktivieren oder ihn an Dritte veräußern. Da die Höhe der Prämienansprüche z.Z. uneinheitlich ist, wurde der ab 2013 einheitlich geltende Förderungsbetrag zu Grunde gelegt.

Es ist ein Tariflohn für landwirtschaftliche Facharbeiter von 15,60 € pro Stunde (Arbeitgeber-Brutto), ein Dieselpreis von 0,90 €/l, eine durchschnittliche Entfernung zwischen Feld (durchschnittliche Größe 5 Hektar) und Siloplatz von 1,5 km, eine Transportentfernung von bis zu 20 km zu einer potenziellen Anlage zur stofflichen bzw. energetischen Verwertung und ein Gewinnaufschlag in Höhe von 5 % der Kosten veranschlagt worden. Da das Grünland in den

<sup>1</sup> Grasraffinerie, Biogas- oder Feuerungsanlage

Naturschutzgebieten im Allgemeinen eine hohe Bodenfeuchte und damit eine geringere Tragfähigkeit aufweist, sind um 15 % höhere Bergungskosten berücksichtigt.

In entsprechender Weise sind die Rohstoffkosten für alle Qualitätsklassen für eine Bereitstellung als Frischgras und Heu analysiert worden. Die für die weiteren Betrachtungen relevanten Bedingungen sind aus Tabelle 1-5 ersichtlich. Dabei sind die Daten, die sich in dem Tabellenabschnitt „Grünlandaufwuchs konserviert“ befinden, in die weiteren Wirtschaftlichkeitsberechnungen eingeflossen.

**Tabelle 1-5: Rohstoffpreise und Rohstoffpotenzial in Bremen untergliedert nach Prioritätsrang**

<b>Grünlandaufwuchs konserviert</b>						
<b>TS-Gehalt</b>		<b>Heu 85 %</b>	<b>Silage 35%</b>	<b>Silage 35%</b>	<b>Silage 35%</b>	<b>Silage 35%</b>
Aufwuchs, netto	t TS/a	3.134	4.532	2.045	19.954	9 t TS/ha*a
<b>Rohstoffpreis</b>	<b>€/t TS</b>	<b>58,50</b>	<b>77,00</b>	<b>100,00</b>	<b>113,50</b>	<b>132,50</b>
<b>Grünlandaufwuchs frisch</b>						
<b>TS-Gehalt</b>		<b>20%</b>	<b>20%</b>	<b>20%</b>	<b>20%</b>	<b>20%</b>
Aufwuchs, netto	t TS /a	3.526	5.099	2.300	22.448	10 t TS/ha*a
<b>Rohstoffpreis</b>	<b>€/t TS</b>	<b>50,00</b>	<b>64,50</b>	<b>80,00</b>	<b>91,00</b>	<b>106,50</b>

#### 1.4 Fazit -Rohstoffverfügbarkeit

Abbildung 1-3 stellt den Stoffstrom nach dem Konzept der Grasraffinerie in Schaffhausen dar. Mit dieser Verfahrenstechnik lassen sich die Endprodukte technische Fasern, Proteinkonzentrat und Energie in Form von Biogas, Wärme und Strom herstellen.

Die erzeugbaren Mengen der Endprodukte aus dem Rohstoff Gras bzw. Silage hängen ab von

- der Rohstoffqualität
- den Inhaltsstoffen des Endproduktes und
- der Toleranz des Endproduktes gegenüber sinkenden Rohstoffqualitäten.

Nach diesem Konzept lassen sich aus einer Tonne Trockensubstanz Gras bzw. Silage 450 bis 650 kg Faserprodukte und 110 bis 220 kg Proteinkonzentrat gewinnen. Aus dem Prozesswasser der Grasraffinerie werden zusätzlich 120 bis 220 m³ Biogas freigesetzt. Mit Hilfe eines Blockheizkraftwerkes (BHKW) wird dieses Biogas zur Produktion von Wärme und Strom genutzt.

Ergänzt wurde dieses Schema durch die Möglichkeit der Milchsäureproduktion.

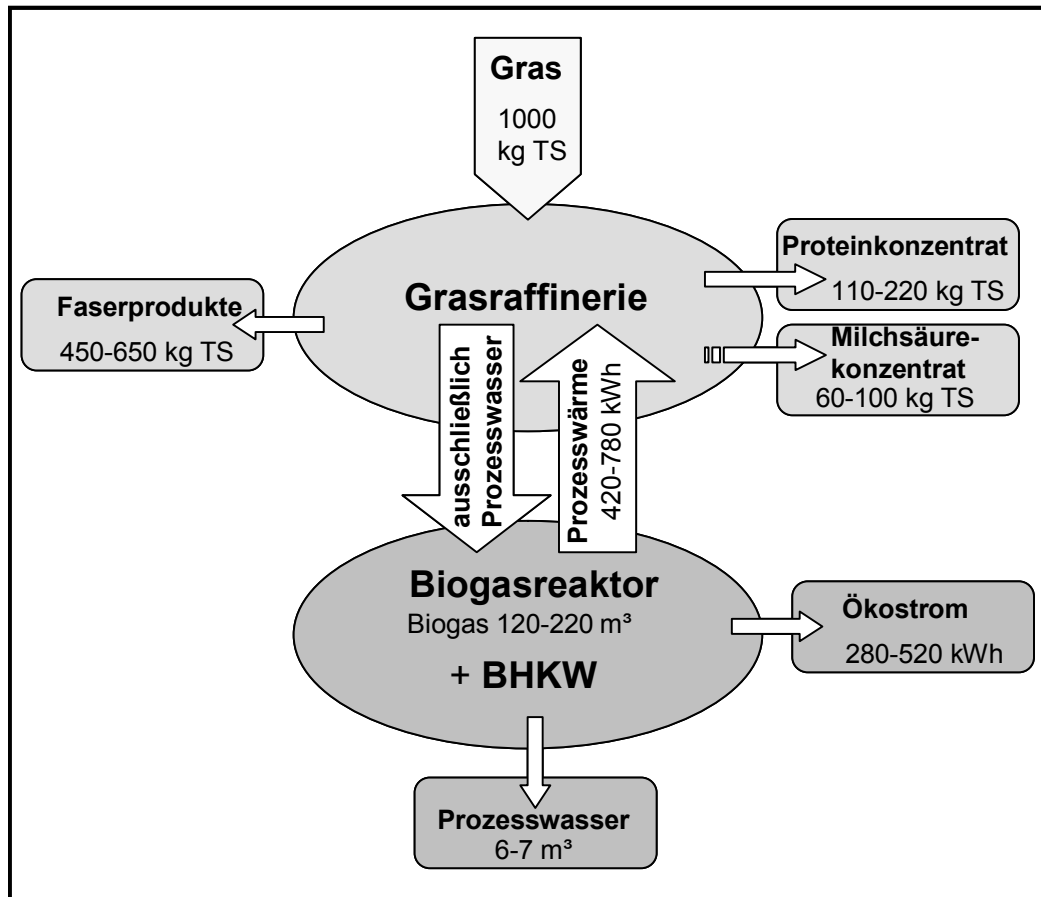


Abbildung 1-3: Stoffstrom einer Grasraffinerie

## 2 Marktchancen der Produktlinien einer Grasraffinerie

In Analogie zu einer Erdölraffinerie basiert das Konzept einer Grasraffinerie, die auch (grüne) Bioraffinerie genannt wird, darauf, einen Rohstoff in einer einzigen Verarbeitungsanlage möglichst vollständig ohne Anfall von Reststoffen in eine Vielzahl verkaufbarer Produktgruppen weiter zu verarbeiten. Die derzeitige Preisentwicklung am Erdölmarkt und die langfristig zu erwartende Verknappung fossiler Ressourcen eröffnet zunehmend Chancen für Produkte aus nachwachsenden Rohstoffen. Gerade bei einer Grasraffinerie geht es überwiegend um die Herstellung von Produkten, die bisher noch aus fossilen Energieträgern hergestellt werden. Die Vielfalt der erzeugbaren Produkte lässt sich sehr gut aus Abbildung 2-1 ablesen.

In Anbetracht der bereits vorhandenen praktischen Erfahrungen steht dabei die Faserherstellung, gefolgt von der Protein- und Milchsäureerzeugung, im Vordergrund.

### 2.1 Marktanalyse Faserstoffe

Die in einer Grasraffinerie anfallende Faserfraktion stellt mengenmäßig den größten Stoffstrom dar. Angesichts dieser Tatsache wird die Wirtschaftlichkeit einer Grasraffinerie wesentlich vom entsprechenden Beitrag der Faserfraktion bestimmt. Prinzipiell eröffnen sich für die Grasfasern die folgenden Produktgruppen:

1. Dämmstoffe (Platten, Matten, Vliese, Stränge, Einblasdämmstoffe).
2. Platten (Span-, Faser-, Mitteldichte Faser (MDF)-, Feuerfestplatten).
3. Materialien für den Garten- & Landschaftsbau (Begrünungs-, Erosionsschutz-, Mulch- und Pflanzensubstratmatten, Torfersatz, Erdmischungen, Anzucht- und Kulturgefäße für Pflanzen).
4. Faserverstärkte Verbundwerkstoffe (z.B. Bio-Composites, Formpressteile für technische Bauteile, z.B. für Automobilindustrie).
5. Verpackungsmaterialien (z.B. Formteile aus Faserguss, Papierschaum).
6. Zuschlagstoff in diversen Bauprodukten (z.B. Ziegel, Putze, Mörtel, Spachtelmassen).
7. Gipsfaserplatten.
8. Papier- & Zellstoff (Pulping aus Einjahrespflanzen).
9. Bioenergie (Brennstoffpellets, Biogas).
10. Futtermittel (Pellets).

Die Eigenschaften der Grasfasern sind hinsichtlich der Zugfestigkeit, Dehnung und linearen Dichte durchaus vergleichbar mit den entsprechenden Werten von Bastfasern wie z.B. Jute und Hanf. Grasfasern haben allerdings eine sehr geringe Biegefestigkeit, d.h. Grasfasern brechen nicht primär bei Zug-, sondern bei Biegebeanspruchung. Aus diesem Grunde sind Grasfasern für textile Verwertungszwecke nicht geeignet. So konzentriert sich die Nutzung mehr auf die Gesamtkomplexe von Grasstängeln und Blättern (z.B. Vliese, Dämmstoffe).

Die Eigenschaften sprechen dafür, primär an eine Verarbeitung zu Wärmedämmstoffen zu denken.

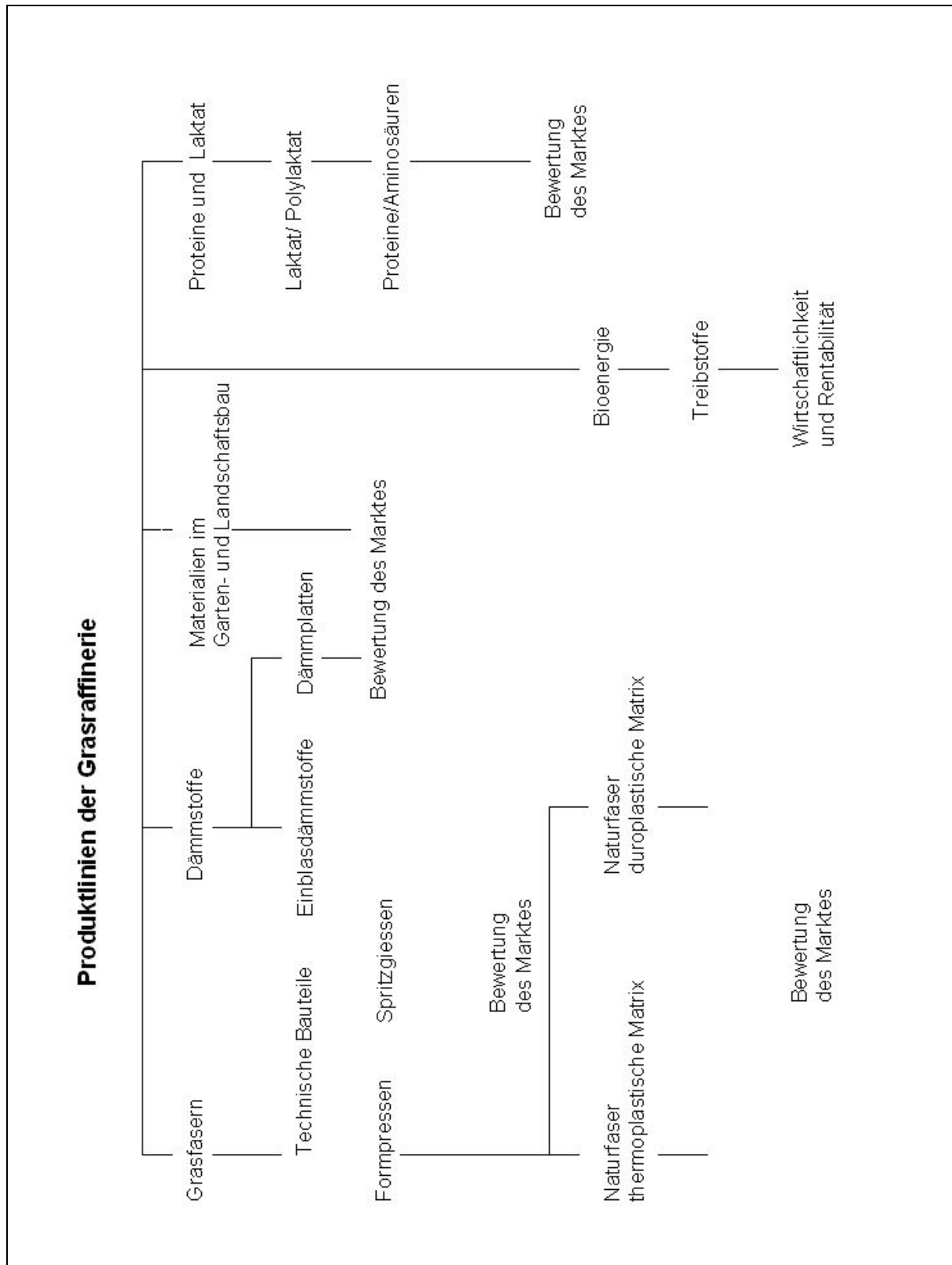
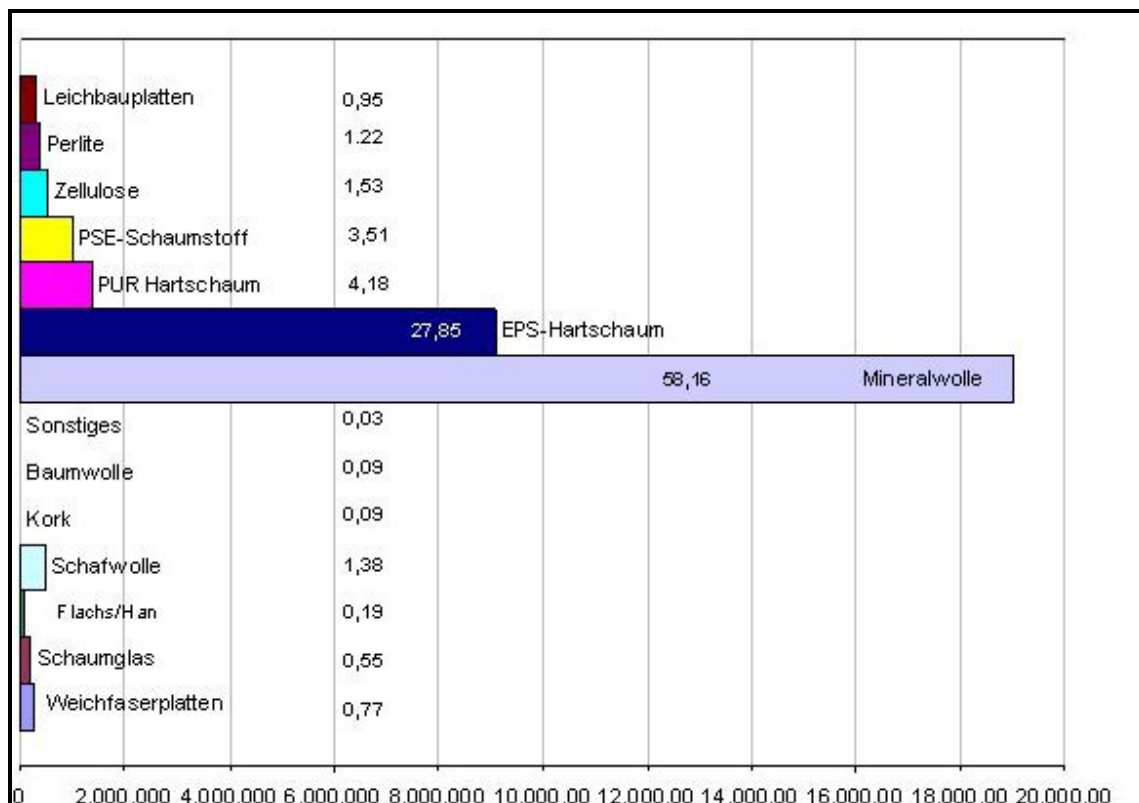


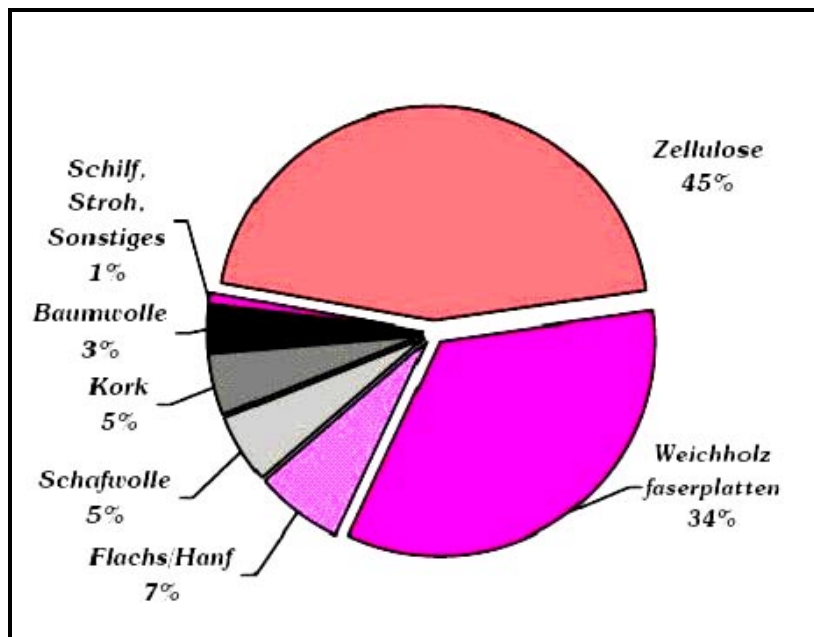
Abbildung 2-1: Produktlinien der Grasraffinerie

### 2.1.1 Herstellung von Dämmstoffen

Mit einem Gesamtumfang für die Dämmstoffproduktion von 32. Mio. m<sup>3</sup> pro Jahr gibt es in Deutschland zwar ein sehr großes Marktvolumen. Aus Abbildung 2-2 wird jedoch ersichtlich, dass es sich bei den auf nachwachsenden Rohstoffen basierenden Dämmstoffen um einen kleinen Nischenmarkt handelt, der zusammen genommen nur einen Marktanteil von ca. 5% ergibt.



**Abbildung 2-2: Der Dämmstoffmarkt in Deutschland (Quelle Abbildung selbst erstellt, Zahlen Dämmstofffachverband, 2000)**



**Abbildung 2-3: Marktanteile am Nischenmarkt „Ökologische Dämmstoffe“ (nachwachsender Rohstoffe – Gesamtmenge in Deutschland 1,65 Mio. m<sup>3</sup>)**

Wie aus Abbildung 2-3 zu entnehmen ist, nehmen im Markt der „Ökologischen Dämmstoffe“ die auf Zellulose basierenden Dämmstoffe und die Weichholzplatten mit zusammen fast 80 % die höchsten Anteile ein. Bei Zellulose handelt es sich vor allem um Einblasdämmstoffe. Ein wichtiger Aspekt ist, dass Grasfasern in ihrem Wärmedämmverhalten mit dem von Zellulosefasern identisch sind und ebenfalls die Dämmstoffklasse WD 40 (Wärmeleitfähigkeit von 0,040 W/(m\*K)) erreichen. Einblasdämmstoffe aus Zellulose, wie beispielsweise „Isoflock“, werden aus Altpapier hergestellt. Der Marktpreis von Altpapier ist großen Schwankungen unterworfen. Die Qualität der Flocke weist durch den Recyclingprozess – insbesondere wenn das Material mehr als einen Aufbereitungsschritt durchlaufen hat – Einbußen auf, die zu Setzungen im eingebauten Zustand führen.

Durch eine Substitution, z.B. durch die Herstellung von Mischungen aus Flocke und Grasfasern bzw. durch den Einsatz von 100 % Grasfasern, würde:

- a) die Produktqualität verbessert und
- b) eine teilweise bis vollständige Abkopplung vom schwankenden Altpapierpreis ermöglicht.

Denkbar ist auch die Herstellung von Dämmplatten mit einem Vlieslegungsverfahren (z.B. Wirrvlieslegung oder Rüttelschichtverfahren) unter Einbringung eines Bindemittels und nachfolgendem Formpressen. Hinsichtlich der Rohdichte, Druckspannung sowie Wärme- und Schalldämmwirkung könnten Dämmstoffplatten aus Grasfasern durchaus mit den im Wettbewerb befindlichen anderen Dämmplatten wie Holzwoleleichtplatten (HWL) konkurrieren. Ein Manko besteht bei den Grasfaserplatten jedoch hinsichtlich der Biegefestigkeit und ihrer Wasserbeständigkeit. Eine weitere Herausforderung stellt die bei Naturfasern bekannte starke Geruchsentwicklung der Grasfaserplatten dar, für die es zwar technische Verfahren wie die vorherige Reinigung der Fasern mit H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> oder enzymatischen Lösungen gibt, die jedoch das Produkt insgesamt wieder verteuern.

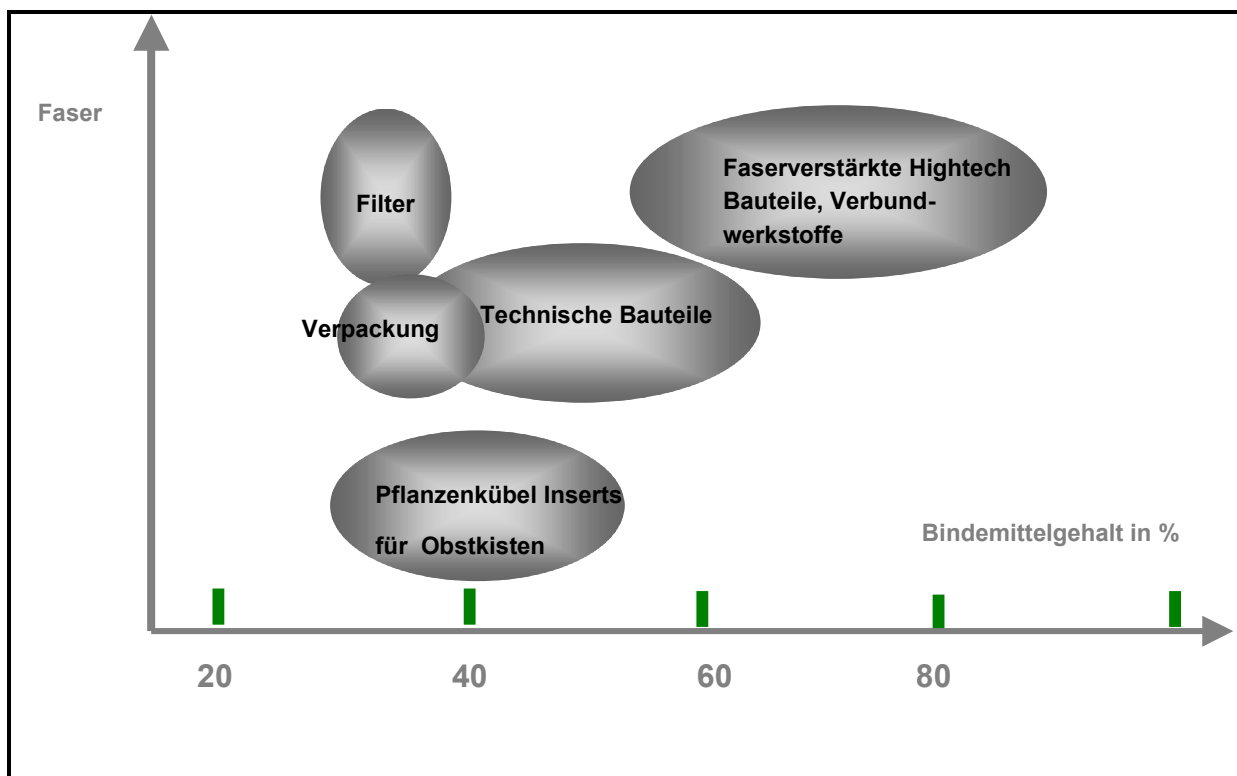
So scheint in erster Linie der Einsatz von Grasfasern als Einblasdämmstoff sinnvoll und wirtschaftlich interessant zu sein. Die Verwendung von Grasfasern als Dämmstoff wird zur Zeit noch durch eine Förderung des Bundeslandwirtschaftsministeriums unterstützt, die 30,- €/m<sup>3</sup> ausmacht. Gleichwohl wäre auch bei den Einblasdämmstoffen aufgrund des oben beschriebenen Mengengerüsts die Abnahme der gesamten Fasermenge, die in einer Grasraffinerie anfallen, eher als unwahrscheinlich anzusehen. Realistisch scheint zunächst eine Größenordnung von maximal ca. 1.000 t/a zu sein.

### 2.1.2 Herstellung anderer Produkte

Analog (Abbildung 2-4) lässt sich der Fasermarkt in eine Herstellung von

- technischen Bauteilen,
- Bauteilen aus Verbundwerkstoffen,
- Formteilen für Gärtnereien,
- Verpackungen und
- Filter

unterteilen. Daneben ergeben sich Ansatzpunkte im Landschaftsbau.



**Abbildung 2-4: Einteilung in Produktgruppen in Abhängigkeit von der Faserqualität und der eingesetzten Menge an Bindemitteln**

### Herstellung technischer Bauteile

Bei den technischen Bauteilen handelt es sich z.B. um Formteile für die Fahrzeugindustrie, die entweder durch

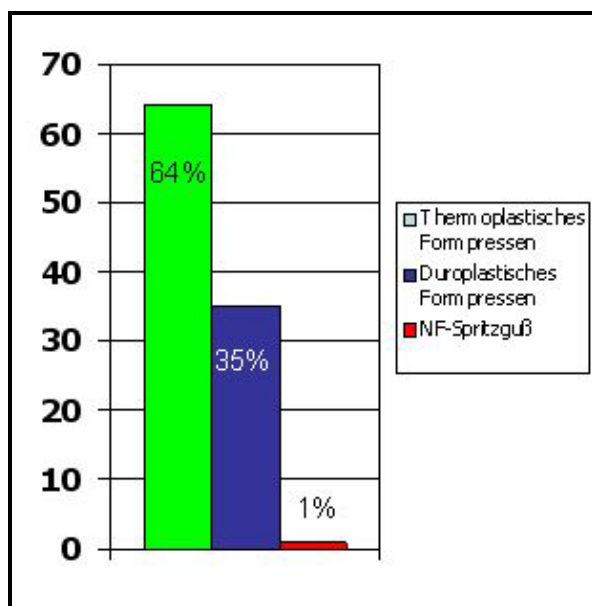
- a) Formpressen oder
- b) im Spritzgussverfahren

hergestellt werden.

Für Formpressen existieren derzeit wiederum zwei Hauptverfahren:

- 1.) Naturfaser + thermoplastische Matrix  
(z.B. Flachs + Polypropylenschmelzfaser im 1:1-Gemisch)
- 2.) Naturfaser + duroplastische Matrix  
Hierzu werden Naturfasermatten hergestellt, die beispielsweise in einem Werkzeug mit Polyurethankomponenten besprüht werden, die in situ reagieren und anschließend in einem heißen Werkzeug zu einem Formteil verpresst werden.

Die derzeitigen Anteile der in der Produktion von Automobilformteilen eingesetzten Herstellungsverfahren, bei denen jährlich 18.000 t Naturfasern (2003) eingesetzt werden, zeigt die Abbildung 2-5.



**Abbildung 2-5: Anteile der in der Produktion von Automobilformteilen eingesetzten Herstellungsverfahren (Quelle, Markterhebung 2002, Nova Institut)**

Erstmalig fand im Jahr 2003 eine neue Verarbeitungstechnik Eingang in die automobilen Serienproduktion: Der Naturfaser-Spritzguss mit Polypropylen-Matrix. Experten halten diese Technik aufgrund mechanischer Eigenschaften, Dichte und Preis für einen schlafenden Riesen – gerade auch außerhalb des Automobilbereichs. Jedoch ist die Grasfaser aufgrund ihrer verminderten Biegefestigkeit gegenüber anderen Naturfasern zu sehr im Nachteil, um in diesem Markt zu einem wesentlichen Beitrag zu kommen.

Der Markt für Naturfaser verstärkten Spritzguss befindet sich aber zur Zeit noch in den Anfängen. Die umgesetzten Mengen liegen derzeit bei ca. 500 t Gesamtmaterial, wovon nur ca. 30 % (150 t) Fasern darstellen.

#### Materialien im Garten- und Landschaftsbau aus Grasfasern

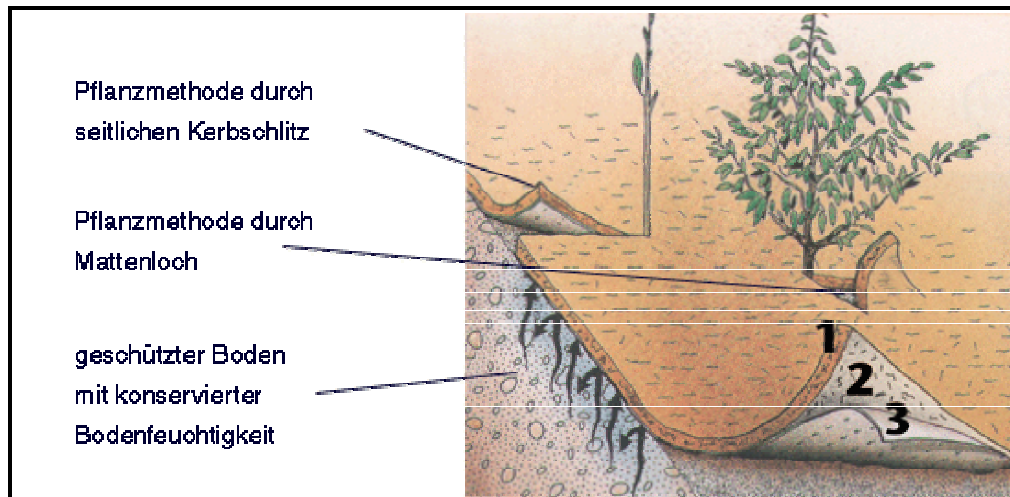
Im gewerblichen Gartenbau sowie im Landschaftsbau (Ingenieurbiologie) sind eine Reihe von Produkten im Einsatz, bei denen grundsätzlich Grasfasermaterialien eine wesentliche Rohstoffkomponente darstellen könnten, z.B. Pflanzentöpfe, Mulchmatten, Begrünungs- und Erosionsschutzmatten, Torfersatzprodukte etc.

Mit einem geeigneten Bindemittel (z.B. Latex) könnten Mulchmatten mit einem 50-60%igen Faseranteil und 40-50 %igen Binderanteil hergestellt werden. Mit einem geeigneten Bindemittel (Anteil 40 – 50 %) könnten auch Pflanzentöpfe hergestellt werden. Die Verwendung der in einer Grasraffinerie anfallenden Grasfaserfraktion als Rohstoff für die Herstellung von Mulchmatten und Pflanzentöpfen scheint prinzipiell machbar. Bei diesen Produkten ist auch eine eventuelle Geruchsemission der Grasfasern eher unproblematisch.

Erosionsschutzmatten werden zur längerfristigen Böschungssicherung in Steillagen eingesetzt. In Fällen, in denen der Erosionsschutz von Haftklebern nicht ausreicht bzw. nicht lange genug anhält, ist der Einsatz dieser Matten sinnvoll. Boden, Saat und Keimlinge werden so vor Abtrag und extremer Witterung geschützt. Die Matten sind biologisch vollständig abbaubar und verrotten je nach Faserart innerhalb 1-5 Jahren.

Erosionsschutzmatten mit eingearbeitetem Saatgut sind organische Fasermatten mit Saatgut und Mulchstoffen. Auf Wunsch könnte jede Saatgutmischung in die Matten eingearbeitet werden.

Mulchmatten sind ein Produkt zur dauerhaften und umweltfreundlichen Bekämpfung von Unkräutern in Pflanzflächen. Die oberste Schicht der Matten besteht aus versteppten Naturfasern z.B. aus Kokosfasern. Darunter befindet sich eine wasser- und luftdurchlässige Mulchfolie, welche die Keimung und Entwicklung von Unkräutern unterbindet. Die Matten werden auf der Pflanzfläche ausgerollt und mit biologisch abbaubaren Stahlhaften befestigt. Dadurch ist von Anfang an ein 100-%iger Erosions- und Unkrautschutz gewährleistet. Zudem verbessern sich das Mikroklima und damit die Wachstumsbedingungen für die Pflanzen.



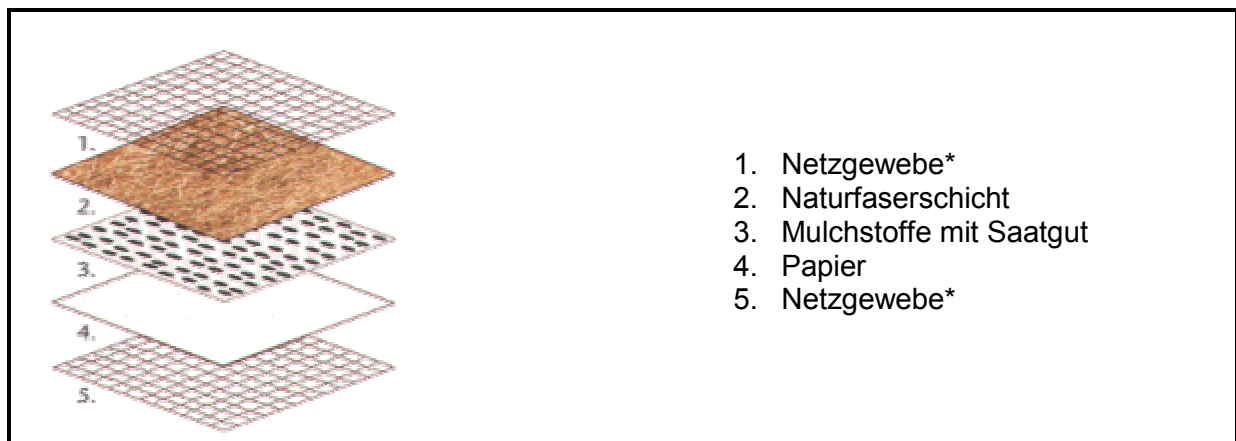
**Abbildung 2-6: Aufbau von Mulchmatten (Quelle: Grünfix GmbH, Achim, Emulsionsschutzmatten)**

### Rasenmatten

Rasenmatten bestehen aus 50 % Kokos und 50 % Stroh/Heu mit Saatgut und Mulchstoffen, die beidseitig mit einem PP-Netzgewebe verstept sind.

- Einsatzgebiet: mittelmäßig erosionsgefährdete Flächen,
- Langzeitschutz durch Zugabe von Kokosfaser, gute Kompostierfähigkeit durch Stroh/Heu.

Für einen Einsatz bei stark erosionsgefährdeten Flächen mit hoher Wasserablaufgeschwindigkeit und bei erwünschter Langlebigkeit würde der Kokosfaseranteil erhöht werden.



**Abbildung 2-7: Aufbau von Rasenmatten (Quelle: Grünfix GmbH, Achim, Emulsionsschutzmatten)**

Biologisch abbaubare Pflanzentöpfe können ein weiterer Ansatzpunkt im Bereich der Gärtnereien sein, da mit deren Verwendung der Arbeitsschritt des Wiederausgrabens der Plastiktöpfe entfällt. Aktuelle Entwicklungen laufen aber mehr auf eine Verwendung von Chinaschilf als Rohstoff hinaus. Der Preis pro Tonne Chinaschilf beträgt zwischen 160,- und 200,- €.

Für den Bereich landschafts- und gartenbaulicher Produkte, die sich aufgrund der Materialbeschaffenheit der Grünlandernten besonders anbieten, wie Erosionsschutzmatten, Mulchmatten oder andere Geotextilien etc., wäre eine umfassendere Marktbewertung nötig, um zu belastbaren Zahlen zu kommen, da die Produkte in diesem low-tech und low-cost Bereich bereits einem höheren Wettbewerb ausgesetzt sind.

Vor einer eventuellen Herstellung von Mulchmatten und Pflanztöpfen aus Grasfasern in einem größeren Maßstab müsste außerdem ein Produktionskonzept erstellt werden. Im Hinblick auf die Wettbewerbsfähigkeit von Produkten aus Grasfasern gilt für Matten dasselbe wie für die Pflanzentöpfe. Setzt man die Fertigungskosten für Matten bzw. von Pflanzentöpfen auf der Basis von Grasfasern mit denen aus anderen Naturfasern als gleich an, so müssten die Grasfasern zu einem Preis zwischen 0,15 bis maximal 0,30 €/kg angeboten werden (vgl. Tabelle 2-1).

**Tabelle 2-1: Marktpreise von Hanf- und Flachskurzfasern und ihren Konkurrenten, Deutschland 2004**

Naturfaser und Einsatzgebiet	Preis in €/kg
Flachsfasern aus der EU, minderwertig, ungereinigt, für Standardzellstoff	ab 0,10
Flachsfasern aus der EU, für Spezialzellstoff	0,25 - 0,30
Flachs-Schwungwerg aus Osteuropa	ab 0,35
Flachsfasern aus der EU, für Trittschalldämmung	0,40 - 0,45
Flachsfasern aus der EU, für Verbundwerkstoffe	0,45 – 0,55
Flachsfasern aus der EU, für Dämmstoffe	0,45 – 0,55
Flachs-Langfasern aus der EU, für Bekleidungstextilien	1,25 – 2,25
Hanffasern aus der EU, für Spezialzellstoff	0,28 - 0,35
Hanffasern aus der EU, für Trittschalldämmung	0,18 - 0,45
Hanfwerg aus Osteuropa, gute Qualität (1998)	ca. 0,50
Hanffasern aus der EU, für Verbundwerkstoffe	0,45 – 0,60
Hanffasern aus der EU, für Dämmstoffe	0,45 – 0,60
Hanf-Langfasern aus Osteuropa (19x8)	1,00 - 3,00
Hanffasern für die Bekleidungstextilindustrie (China 1998)	1,50- 3,50
Jutefasern (neu, Bangladesch), für Verbundwerkstoffe	0,55 – 0,60
Jutefasern (neu, Bangladesch), für Spezialzellstoff	0,40 – 0,45
Sisal (neu, Afrika + Südamerika), für Verbundwerkstoffe	0,55 – 0,75
Sisal (neu, Afrika + Südamerika), für Spezialzellstoff	0,55 – 0,60
Kenaf (neu, Bangladesch), für Verbundwerkstoffe	0,53 – 0,60
Kenaf (neu, Bangladesch), für Spezialzellstoff	0,45 – 0,50
Abaca (Philippinen), für Spezialzellstoff	0,80 – 0,90
Kokosfasern, für Geotextilien	0,20 - 0,30
Kokosfasern, beste Qualitäten	0,35 - 0,40
Chinaschilf	0,16 - 0,20

## 2.2 Protein- und Milchsäureproduktion

Aus dem in einer Grasraffinerie abgepressten Pflanzensaft lassen sich verschiedene Proteine und Milchsäurederivate herstellen. Der Milchsäureanteil lässt sich durch ein Animpfen des Mähgutes mit Milchsäurebakterien vor dem Silieren, das primär der Konservierung des Rohstoffes dient und einen Fermentationsprozess darstellt, maximieren. Proteine und Milchsäureprodukte, wie z.B. Lactate, lassen sich in einem Prozess parallel erzeugen. Grundsätzlich lassen sich folgende für den Markt interessante Produktgruppen gewinnen:

1. Lactat/Poly-Lactat,
2. Ethyl-Lactat,
3. Proteine,
4. Aminosäuren.

### 2.2.1 Lactate (Milchsäureprodukte)

Im letzten Jahrzehnt ist das Interesse an Milchsäureprodukten merklich gestiegen. Mögliche Wachstumsmärkte im Polymerbereich und im Chemikaliensektor haben die Aufmerksamkeit vieler Firmen nach sich gezogen. Sie können genutzt werden, um biologisch abbaubare Kunststoffe, oxygenierte Chemikalien, umweltfreundliche Lösungsmittel, Pflanzenwachstumsregulatoren und andere spezielle Chemikalien herzustellen.

Dabei stellt allerdings die Abtrennung von Milchsäure aus inhomogenen und komplexen Medien, wie Silage, ein Problem dar. Alle Versuche scheiterten bislang an der Notwendigkeit, hochreine Milchsäure für die Weiterverarbeitung zu Polymeren herstellen zu müssen. Die aus geeigneter Milchsäure hergestellten Bio-Polymere weisen ähnliche Eigenschaften wie die Kunststoffe aus der Petrochemie auf. Polylactat ist biokompatibel und wird z. B. in der Medizin als Implantatwerkstoff und Nähmaterial in den Körper eingebracht. Das Polymer wird von Mikroorganismen zu CO<sub>2</sub> und Wasser umgesetzt und ist damit biologisch abbaubar.

Die notwendigen Prozesse zur Herstellung von Milchsäure sind in Abbildung 2-8 dargestellt. Im Presssaft aus Silagen sind neben der Milchsäure auch Proteine und Asche sowie an Zuckern vor allem Glucose und Fructose enthalten. Deswegen müssen zur Gewinnung reiner Milchsäure noch weitere Reinigungsschritte durchgeführt werden.

Wie aus Abbildung 2-8 ersichtlich ist, mündet ein Produktionszweig in die Herstellung von Dilactid. Dilactid ist ein wichtiges Zwischenprodukt bei der Herstellung von Polylactiden. Polylactid kann z. B. zur Erzeugung von Verpackungsmaterial verwendet werden. Derzeit ist eine Entsorgung von biologisch abbaubaren Verpackungen günstiger als von erdölbasierten Kunststoffen. Das Verfahren zur Herstellung von Polylactiden ist jedoch energieaufwendiger als die Verfahren der petrochemischen Konkurrenz, die aber Jahrzehnte Vorsprung an Forschung und Entwicklung haben. So beträgt die Energieeinsparung nur 20 bis 50 % gegenüber der Erzeugung aus fossilen Ressourcen.

Aminiumlactat als eine andere Untergruppe eignet sich auch sehr gut als Basismaterial für weitere chemische Synthesen und könnten außerdem auch als Wirkstoff oder als Matrixmaterial in der pharmazeutischen und kosmetischen Industrie eingesetzt werden. Es ist als Feststoff gut handhabbar und lagerfähig.

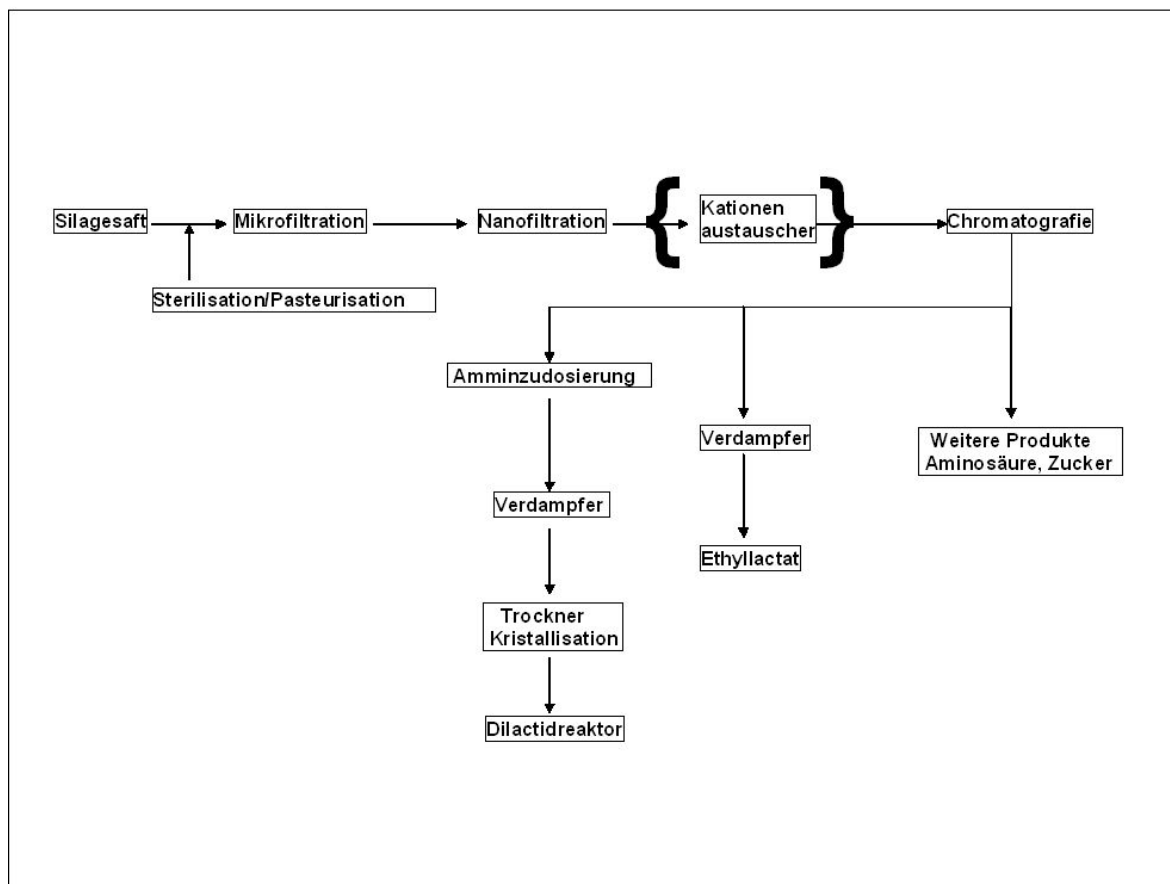


Abbildung 2-8: Schema einer Milchsäurefertigung

Die Herstellung von Kunststoffen stellt einen enormen Wachstumsmarkt dar. Etwa 37 % der Kunststoffe in Westeuropa gehen in den Verpackungsbereich, gefolgt von 20 % für den Baubereich. In Bezug auf die Einsatzgebiete für Bio-Kunststoffe sind insbesondere Anwendungsgebiete interessant, die in einen umweltpolitischen Fokus geraten sind bzw. Entsorgungsprobleme aufweisen:

- Verpackungsbereich insgesamt: Verpackungsverordnung, Bioabfallverordnung,
- Entsorgungs-Verwertungsaufgaben für Kunststoffe: EU-Altautorichtlinie und
- EU- Elektroschrottrichtlinie.

Für die EU sind die in Tabelle 2-2 genannten Wachstumserwartungen für einen Markt an abbaubaren Kunststoffen genannt worden.

Tabelle 2-2: Marktpotential von abbaubaren Kunststoffen (Mio €/a) in der EU

Produkt	1995	2000	2005
Biologisch abbaubare Werkstoffe (BAW)	5	80	200
Abbaubare Kunststoffe Erdölbasis	100	140	275
Polylactate	0	80	100
Summe Marktpotential BAW	<b>105</b>	<b>300</b>	<b>575</b>

Ethyllactat ist ein weiteres interessantes Derivat der Milchsäure mit großem Marktpotential. Es handelt sich um ein ökologisches Lösungsmittel mit hohem Substitutionspotential. Die Herstellung ist bereits seit vielen Jahren erprobt. Jedoch war der hohe Energieeinsatz immer ein Produktionshemmnis. Durch das Gesamtkonzept einer Grasraffinerie könnte dieses Problem gelöst werden, da durch die integrierte Energieerzeugung über Biogas erhebliche Wärmemengen frei werden, welche die benötigte Energie kostengünstig bereitstellen. Für durchschnittliches Ethyllactat kann derzeit ein Preis von ca. 3,50 €/kg kalkuliert werden. Es ist allerdings davon auszugehen, dass genauso wie bei den Polylactaten ein allmählicher Preisrückgang eintreten wird, so dass der Preis in Zukunft unter 1,50 €/kg liegen könnte.

Für eine Marktbewertung ist zu berücksichtigen, dass mit Molke, einem Reststoff aus der Herstellung von Milchprodukten, ein kostengünstiges Konkurrenzprodukt mit enormem Potenzial zur Verfügung steht. Aus 100 000 Tonnen Sauermolke können etwa 4.200 Tonnen Roh-Milchsäure zu einem Preis von ca. 0,80 Euro pro kg hergestellt werden. Derzeit liegt der Marktpreis für Milchsäure bei ca. 1,20 Euro pro kg.

### 2.2.2 Proteine und Aminosäuren

Als Strukturbildner tragen Proteine in komplexen Systemen wesentlich zu deren physiochemischen und physikalischen Eigenschaften bei. Ihre funktionellen Eigenschaften sind deshalb ausschlaggebend für die Verarbeitung in komplexen Systemen, sei es für Zwecke der Ernährung oder aber für technische Anwendungen außerhalb der Ernährung. Letztere gewinnen zunehmend an Bedeutung.

Der Proteingehalt grüner Blätter hängt wesentlich vom Alter der Pflanzenart und den Standortfaktoren ab. Typische Rohproteingehalte in der Trockenmasse liegen in etwa zwischen 16 und 24 % (Luzerne, Kohl, Soja), bei speziellen Pflanzenarten kann dieser Wert noch höher sein. Grünmasseproteine sind hauptsächlich Enzyme und deren Untereinheiten, sie tragen zur Photosynthese bzw. zum Binden des CO<sub>2</sub> aus der Luft bei. Hauptsächlich handelt es sich dabei um Rubisco, dem häufigsten Protein der Welt, da es in jeder Pflanze vorhanden ist. Die Werte variieren bei den verschiedenen Grasarten je nach Genotyp und Vegetationszyklus. 40 % der Proteine in frischem Raygras bestehen aus Rubisco, davon bleibt im Silagegras etwa die Hälfte erhalten (vgl. Kap. 1.2, Tab. 1-3).

Das einfachste Verfahren zur Proteinabtrennung aus dem Grassaft stellt das Zentrifugieren nach einer Koagulation durch Erhitzen dar (Effekt wie bei einem gekochten Ei). Dabei sollte der Frischgrassaft wegen seiner geringen Haltbarkeit so schnell wie möglich weiterverarbeitet werden. Ein mildes Erwärmen führt zunächst zu einer grün gefärbten Fraktion, während weiteres Erhitzen einen fast farblosen Niederschlag ergibt. Das stufenweise Erhitzen des grünen Presssaftes ermöglicht eine fraktionierte Gewinnung von Proteinen unterschiedlicher Zusammensetzung. Bei ca. 60°C fällt zunächst die grüne Fraktion der Chloroplasten aus, während das weiße Rubisco durch weiteres Erhitzen auf 80°C gewonnen wird. Der große Vorteil einer fraktionierten Trennung liegt darin, dass dadurch hochwertiges weißes Protein gewonnen werden kann. Der Nachteil der Fällungsmethoden durch Hitze ist indes die Denaturierung (Verlust der nativen Proteinstruktur). Deshalb ist die Methode der fraktionierten Fällung bei Silage durch die bereits zum Teil erfolgte Hydrolyse der Proteine zu Peptiden und freien Aminosäuren voraussichtlich nicht befriedigend anwendbar.

Die Produkte, die aus Proteinen erhalten werden können, sind sehr mannigfaltig. Da geringfügige chemische Modifikationen bereits große Effekte auf die Wasseraufnahmefähigkeit, die Löslichkeit, das Adsorptionsverhalten, die Schaumbildung etc. haben, sind vielfältige Einsatzmöglichkeiten gegeben.

Auch ohne chemische Modifikationen ist das weiße Protein Rubisco ein hochwertiges Produkt, dessen Wert als Lebensmittel für den Menschen aber stark von der erreichbaren Reinheit abhängt. Das grüne Protein ist hingegen als hochwertiges Futtermittel für die Tierfütterung verwendbar.

Proteine für industrielle Anwendungen werden bislang vor allem aus Soja und Milchprotein (Kasein) gewonnen. Anwendungsbereiche sind z. B. die Herstellung von Papier und Verpackungen, Oberflächenbeschichtungen, die unter anderem die Bedruckbarkeit und die mechanische Belastbarkeit von Papier beeinflussen sowie die Herstellung von Etikettierklebstoffen, Leimen und Lederdeckfarben. Die Gewinnung industriell einsetzbarer Proteine aus Pflanzen kostet heute etwa genauso viel wie die petrochemische Herstellung, sie ist zum Teil sogar günstiger. Die Verwendung pflanzlicher Proteine hängt stark von den funktionellen Eigenschaften ab. Der Anteil an Sojaproteinen für technische Nutzungen beträgt in Deutschland derzeit etwa 175 t pro Jahr, der Anteil an Kasein ca. 6.500 t.

### **3 Wirtschaftliche Perspektiven für Anlagen in Bremen zur Gewinnung von Energie und / bzw. Rohstoffen**

Bereits während der Laufzeit der Studie ist sondiert worden, ob infrastrukturelle Anknüpfungspunkte für die Errichtung einer mit Gras zu beschickenden Biogasanlage oder einer Grasraffinerie in Bremen bestehen. Da dieser Schritt keine konkreten Ansatzpunkte erbracht hat, handelt es sich hier um eine vom Standort unabhängige Betrachtung. Es wird zunächst die Möglichkeit behandelt, Grünlandschnitt zur Energiegewinnung einer Biogasanlage einzusetzen.

#### **3.1 Biogasanlage**

Die Biogasanlage, die mit nachwachsenden Rohstoffen (NaWaRo) beschickt wird, besteht aus den Komponenten:

- Vorbehälter für flüssiges Inputmaterial,
- Silagebehälter,
- Fahrzeugwaage,
- Misch- und Dosiereinrichtung,
- Gärbehälter,
- Gasspeicher,
- Biogasaufbereitung,
- Lager für Reststoffe, die zur Düngung in der Landwirtschaft dienen,
- Blockheizkraftwerk (BHKW),
- Gebäude oder alternativ Container, für die Anlagensteuerung, Messeinrichtungen, als Aufstellungsort für das BHKW sowie für das Personal (Büro, Sanitärraum).
- 

Beispielhaft ist das Verfahrensschema einer Biogasanlage in der folgenden Abbildung (gemäß FH Münster, FB4) dargestellt.

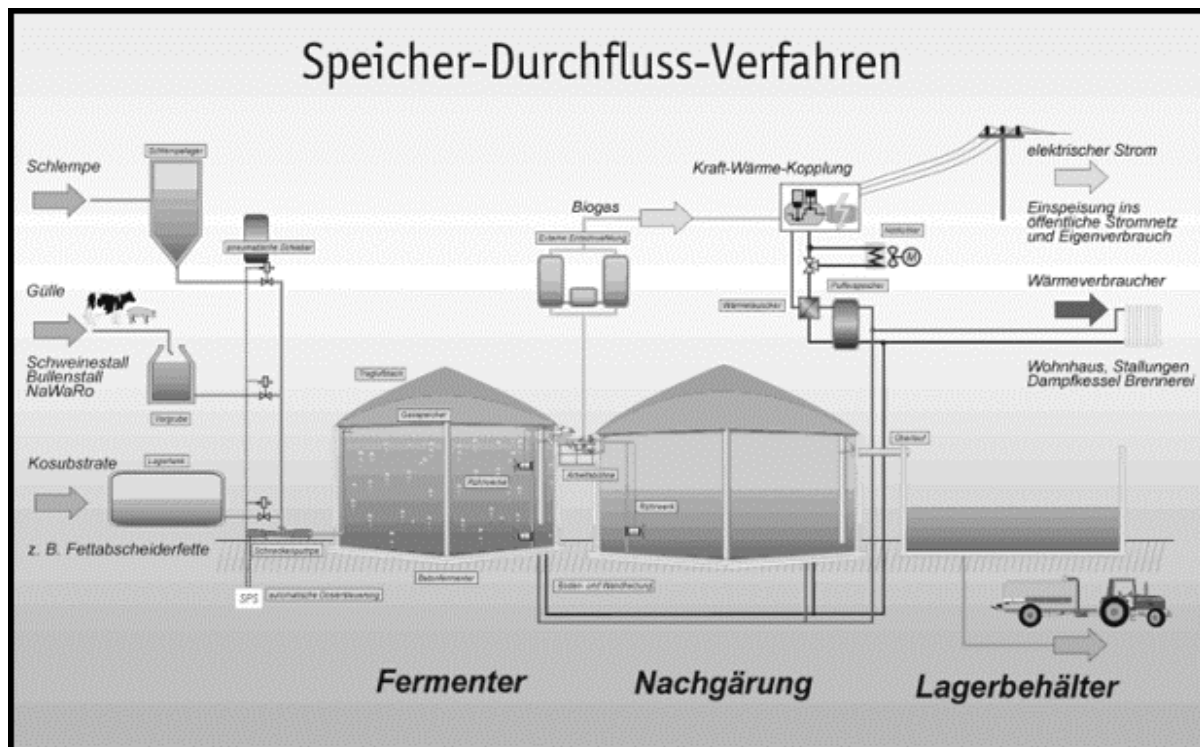


Abbildung 3-1: Biogasanlage

Das erzeugte Biogas wird stetig in dem BHKW zu Strom und Wärme umgewandelt. Entsprechend sollte der Standort der Biogasanlage so gewählt werden, dass eine weitgehende Nutzung der erzeugten Wärme sicher gestellt ist. Gras oder Grassilage stellt ein Gärmaterial dar, das höhere Ansprüche als andere NaWaRo aufweist. Es sollte bereits beim Einsammeln auf der Wiese gehäckselt werden und macht vor der Beschickung eine weitere Zerkleinerung oder einen besonders gestalteten Beschickungsbereich der Biogasanlage erforderlich. Die physikalischen und biologischen Prozessbedingungen werden durch Hinzufügen weiterer Gärmaterialien, wie z.B. Gülle, verbessert.

Der wesentliche Erlös ergibt sich aus einer Einspeisung des erzeugten Stroms in das öffentliche Netz, für die eine nach dem Erneuerbare Energien Gesetz (EEG) geregelte Einspeisevergütung erhältlich ist. Unter den Rahmenbedingungen des EEG und der Praktikabilität ergeben sich von vornherein folgende Varianten:

- 1) eine Biogasanlage, die allein Gras vergärt,
- 2) eine, die zusätzlich zu Gras Gülle
- 3) bzw. noch einen weiteren nachwachsenden Rohstoff (NaWaRo) verarbeitet,
- 4) eine die zusätzlich Rückstände, wie z.B. Presssaft aus einer höherwertigen Grasverarbeitung (Faser-, Protein-, Milchsäureerzeugung) mitbehandelt,
- 5) eine Mitbehandlung von Gras im Rahmen eines Kläranlagenfaulturms.

**Tabelle 3-1: Beurteilung verschiedener Varianten hinsichtlich der Praktikabilität und der Konsequenzen, die sich aus dem EEG ergeben**

Variante	Praxis- erfahrung	Prozess	NaWaRo-Bonus gemäß EEG	EEG- Grundvergütung
1) nur Gras	wenig	empfindlich	erhältlich	hoch
2) auch Gülle		verbessernd	erhältlich	hoch
3) auch andere NaWaRo	viel	etwas bessernd	erhältlich	hoch
4) auch Grasschlempe		unproblematisch	insgesamt nicht er- hältlich	hoch
5) auf Kläranlage	wenig		nicht erhältlich	niedrig

Die Vor- und Nachteile der so unterschiedenen Varianten sind aus Tabelle 3-2 ersichtlich. Darunter ist hervorzuheben, dass es zur reinen Grasvergärung ( Fall 1) bislang wenig Praxiserfahrung gibt und dass durch das Hinzufügen von Reststoffen, wie z. B. Grasschlempe, der Anspruch auf den NaWaRo-Bonus insgesamt verloren geht. Die technisch interessante Lösung der Mitbehandlung des Grases und der Grasschlempe in Kläranlagenfaultürmen (gemäß Fall 5) führt leider zu recht geringen EEG-Vergütungssätzen, weil der Grundsockel niedriger als bei Biogasanlagen ist, zusätzlich der Zuschlag für die Erzeugung in Kraft-Wärme-Kopplung und der NaWaRo-Bonus entfällt. Aus diesem Grunde ist diese Variante nicht weiter betrachtet worden.

Für die Auslegung der Biogasanlage ist als Kriterium berücksichtigt worden, dass die tägliche Belastung mit organischer Substanz pro Kubikmeter Gärvolumen und Tag unter 3 kg oTS/(m<sup>3</sup>·d) bleibt. Dies ergibt hydraulische Aufenthaltszeiten im Gärbehälter von bis zu 45 Tagen. Für die ausschließliche Nutzung des Grases in einer Biogasanlage sind wie aus Tabelle 3-2 ersichtlich sieben Varianten mit unterschiedlicher jährlicher Beschickung und unterschiedlicher Rohstoffzusammensetzung betrachtet worden.

**Tabelle 3-2: Auslegung der Gärbehälter und anderer Hauptkomponenten in den betrachteten Varianten**

<b>Beschickungsvariante</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>D</b>	<b>E</b>	<b>F</b>	<b>G</b>
Grassilage (t TS/a)	10.000	5.000	15.000	8.000	4.000	12.000	4.000
Rindergülle (m <sup>3</sup> /a)				20.000	10.000	30.000	10.000
Schweinegülle (m <sup>3</sup> /a)				20.000	10.000	30.000	10.000
Maissilage (t TS/a)							1.500
<b>Auslegung des Gärbehälters:</b>							
Hydraulische Aufenthaltszeit (Tage)	45	45	45	50	50	50	55
Gärvolumen (m <sup>3</sup> )	9.600	4.700	14.200	9.200	4.500	13.700	5.900
organische Faulraumbelastung (kg oTS/(m <sup>3</sup> *Tag))	2,6	2,6	2,6	2,8	2,9	2,8	2,9
<b>Lagerkapazität für Gärgut (Tage/a)</b>	180	180	180	180	180	180	180
<b>Kapazität der Fahrsilos für Grassilage an der Anlage (Tage/a)</b>	50	50	50	50	50	50	50
<b>BHKW</b>							
Jährliche Betriebsdauer (h/a)	8000	8000	8000	8000	8000	8000	8000
Elektrischer Wirkungsgrad	39 %	39 %	39 %	39 %	39 %	39 %	39 %
Thermischer Wirkungsgrad	41 % <sup>1)</sup>	41 %	41 %	41 %	41 %	41 %	41 %
Elektrische Leistung (kW)	1.320	650	2.030	1.260	620	1.920	880
Thermische Leistung (kW)	1.390 <sup>2)</sup>	680	2.140	1.320	650	2.020	920

<sup>1)</sup> bei Teilentschwefelung 39 %

<sup>2)</sup> bei Teilentschwefelung 1.320 kW<sub>th</sub>

Die Kennwerte der berücksichtigten Substrate sind in Tabelle 3-3 genannt.

**Tabelle 3-3: Kennwerte der berücksichtigten Substrate**

	Grassilage	Rindergülle	Schweinegülle	Maissilage
Trockensubstanz- Anteil (t TS/t)	0,35	0,08	0,06	0,3
Organischer Trockensubstanz-Anteil (oTS) von TS	90 %	80 %	80 %	95 %
spez. Gewicht der Trockensubstanz (t/m <sup>3</sup> )	0,65			0,65
Biogaserzeugung (m <sup>3</sup> /t oTS)	um 560 <sup>1)</sup>	300	350	700
Heizwert (kWh/m <sup>3</sup> )	um 5,3 <sup>1)</sup>	6	6	5,3

<sup>1)</sup> je nach Grasqualität angesetzt

Für die Biogasanlagen inklusive ihrer Peripherie (z.B. auch Fahrzeugwaage und Radlader) ergeben sich die in Tabelle 3-4 genannten Investitionskosten. In der Tabelle sind weiterhin die Kapitalkosten unter Berücksichtigung eines Zinssatzes von 6 % angegeben. Die sparsame Variante A unterstellt eine Containerlösung anstelle fester Betriebsgebäude, eine kostengünstige biologische Entschwefelung des Biogases und kostengünstigere Lager für ausgegrenztes Material.

**Tabelle 3-4: Investitions- und Kapitalkosten für die Gesamtanlagen**

Beschickungsvariante	A	A	B	C	D	E	F	G
	Sparvar.							
Grassilage (t TS/a)	10.000	10.000	5.000	15.000	8.000	4.000	12.000	4.000
Rindergülle (m <sup>3</sup> /a)					20.000	10.000	30.000	10.000
Schweinegülle (m <sup>3</sup> /a)					20.000	10.000	30.000	10.000
Maissilage (t TS/a)								1.500
Investitionskosten (T €)	5.936	5.393	3.547	8.237	6.425	3.752	8.838	4.607
Kapitalkosten (T €)	626	579	371	873	660	383	905	477

Eine Aufstellung der jährlichen Betriebskosten befindet sich in Tabelle 3-5.  
Die Grasbeschaffungskosten orientieren sich nach Tabelle 1-5.

**Tabelle 3-5: Jährliche Betriebskosten in den betrachteten Biogasanlagenvarianten**

Beschickungsvariante	A	A	B	C	D	E	F	G
	Sparvar.							
Angaben in T €/a								
Grassilage (t TS/a)	10.000	10.000	5.000	15.000	8.000	4.000	12.000	4.000
Rindergülle (m <sup>3</sup> /a)					20.000	10.000	30.000	10.000
Schweinegülle (m <sup>3</sup> /a)					20.000	10.000	30.000	10.000
Maissilage (t TS/a)								1.500
Personal	70	40	40	100	70	40	100	50
W + R Fermenter	48	48	26	69	46	26	66	32
BHKW (Betriebsmittel, W+R)	115	115	63	171	110	60	162	81
Entschwefeler (Betriebsmittel, W+R)	28	1	14	43	26	13	40	18
W + R sonstige Technik	4	4	3	6	-	-	-	-
Instandhaltung sonstige Bauwerke	13	9	10	17	20	13	28	14
Radlader (Dieselpreis 1,05 €/l)	10	10	7	13	9	6	11	7
Stromeigenbedarf								
MWh/a	704	704	344	1.082	616	303	945	440
ct/kWh	15,0	15,0	15,0	15,0	15,0	15,0	15,0	15,0
T€/a	106	106	52	162	92	45	142	66
Wärmeeigenbedarf (MWh/a) (wird von der Erzeugung abgezogen)	1.700	1.700	850	2.550	3.350	1.650	5.000	1.950
Versicherung, Verwaltung	89	81	53	124	96	56	133	69
Beschaffungskosten für Gülle (2 €/m <sup>3</sup> )	-	-	-	-	80	40	120	40
Beschaffungskosten für Grassilage								
€/t TS	77	77	66	89	71	63	83	63 <sup>1)</sup>
T€/a	773	773	328	1.341	568	251	1.000	251
Summe	<b>1.256</b>	<b>1.186</b>	<b>594</b>	<b>2.045</b>	<b>1.119</b>	<b>550</b>	<b>1.801</b>	<b>733</b>

<sup>1)</sup> für Maissilage sind 70 €/t TS, ergibt 105 T €/a berücksichtigt worden

Die berücksichtigten spezifischen Gasertragswerte haben unmittelbaren Einfluss auf die Erlöse, die den oben genannten Kosten gegenüber stehen. Sie sind aus den Tabellen 3-6 und 3-7 zu entnehmen.

**Tabelle 3-6: Berücksichtigte Gras- und Biogasertragspotenziale aus Bremer Grünlandflächen**

Rang	Qualitätsklasse	Potenzial t TS/a	Biogasertrag l/kg oTS	Heizwert kWh/m <sup>3</sup>
1	C	3100	550	5,27
2	B	4500	570	5,31
3	a	2000	576	5,44
4	Ae	19900	594	5,45

**Tabelle 3-7: Berücksichtigte Eigenschaften und Gasertragswerte für Gülle und Maissilage**

	Trockensubstanzanteil (TS) Gewichts %	org. Trockensubstanzanteil (oTS) von TS %	Biogasertrag l/kg oTS	Heizwert kWh/m <sup>3</sup>
Rindergülle	8 %	80 %	300	6
Schweinegülle	6 %	80 %	350	6
Maissilage	30 %	95 %	700	5,3

Es wird aber davon ausgegangen, dass die Gasertragserwartungen nicht durchgängig erreicht werden, weil im Laufe der Betriebszeit Störungen auftreten, die zu Gaserzeugungseinbußen führen werden. So ist die effektiv ermittelte Biogasproduktion pauschal um 5 % vermindert worden. Es ist weiterhin zu berücksichtigen, dass das EEG eine Klausel enthält, die von Jahr zu Jahr rückläufige Grundvergütungssätze vorsieht. Entscheidend ist hierbei das Jahr der Inbetriebnahme der Anlage. Die in dem Jahr geltenden Vergütungssätze bleiben dann über 20 Jahre nominal konstant. Wird 2007 als Betriebsbeginn angesetzt, ergeben sich die in Tabelle 3-8 angegebenen Erlöse.

**Tabelle 3-8: Erlössituation in den betrachteten Biogasanlagenvarianten (Inbetriebnahme 2007)**

Beschickungsvariante	A	A Sparvar.	B	C	D	E	F	G
Grassilage (t TS/a)	10.000	10.000	5.000	15.000	8.000	4.000	12.000	4.000
Rindergülle (m <sup>3</sup> /a)					20.000	10.000	30.000	10.000
Schweinegülle (m <sup>3</sup> /a)					20.000	10.000	30.000	10.000
Maissilage (t TS/a)								1.500
Stromeinspeisung								
MWh/a	10.057	10.057	4.913	15.451	8.806	4.331	13.495	6.290
davon MWh/a mit KWK-Zuschlag	8.440	8.357	4.105	13.025	5.619	2.762	8.739	4.435
ct/kWh	16,0	16,0	17,5	15,5	16,2	17,9	15,6	16,9
<b>T€/a</b>	<b>1.576</b>	<b>1.575</b>	<b>846</b>	<b>2.343</b>	<b>1.363</b>	<b>745</b>	<b>2.012</b>	<b>1.025</b>
externe Wärmenutzung								
Netto-Wärmeproduktion in MWh/a	8.873	8.357	4.315	13.693	5.907	2.903	9.187	4.662
externe Wärmeabgabe <sup>1)</sup>	8.873	8.357	4.315	13.693	5.907	2.903	9.187	4.662
unter Ansatz von 3 ct/kWh <b>T€/a</b>	<b>266</b>	<b>251</b>	<b>129</b>	<b>411</b>	<b>177</b>	<b>87</b>	<b>276</b>	<b>140</b>

<sup>1)</sup> Eine vollständige Wärmenutzung stellt sicherlich ein ambitioniertes Ziel dar. In welchem Maße es sich erreichen lässt, hängt sehr vom Einzelfall ab. Der hierfür erhältliche Erlös ist daher vorsichtigerweise mit nur 3 ct/kWh angesetzt worden.

Hieraus ergeben sich für die Biogasanlagenvarianten die in Tabelle 3-9 gezeigten jährlichen Betriebsergebnisse.

**Tabelle 3-9: Jahresbetriebsergebnisse für die betrachteten Biogasanlagenvarianten**

Beschickungsvariante	A	A Sparvar.	B	C	D	E	F	G
Grassilage (t TS/a)	10.000	10.000	5.000	15.000	8.000	4.000	12.000	4.000
Rindergülle (m <sup>3</sup> /a)					20.000	10.000	30.000	10.000
Schweinegülle (m <sup>3</sup> /a)					20.000	10.000	30.000	10.000
Maissilage (t TS/a)								1.500
<b>T€/a</b>	<b>-40</b>	<b>60</b>	<b>11</b>	<b>-164</b>	<b>-238</b>	<b>-101</b>	<b>-418</b>	<b>-45</b>
ohne Beschaffungskosten für Gülle					-158	-61	-298	-5

Die Varianten D bis G, in denen eine Mitvergärung Gülle vorgesehen ist, schneiden demnach ungünstiger ab als die, in denen nur Grassilage als Substrat genutzt wird. Daran ändert sich auch nichts, wenn die Kosten für die Güllebeschaffung weggelassen werden. Gründe hierfür sind insbesondere

- ein erheblich höheres erforderliches Lagervolumen für Gärgut,
- dem zusätzlichen Bedarf an Faulraumvolumen steht eine gegenüber der Grasvergärung reduzierte Gasproduktion gegenüber,
- aus den größeren erforderlichen Behältern resultierende Mehrkosten.

Die Mehrkosten werden nicht durch den Wegfall einer notwendigen Prozesswasseraufbereitung aufgefangen, die für eine reine Grasvergärung einkalkuliert worden ist.

Ein Vergleich der Variante G mit der Variante E zeigt, dass die Zuführung von Maissilage (als besonders gut für den Biogasprozess geeigneten nachwachsenden Rohstoff) das Betriebsergebnis erheblich verbessern kann.

Die vergleichsweise kleine, alleine auf Vergärung von Gras zugeschnittene Anlage in Variante B weist ein schwach positives Ergebnis auf. Das ist im Vergleich zur Variante A, die eine doppelt so hohe Kapazität aufweist, darauf zurückzuführen, dass niedrigere Rohstoffkosten zustande kommen, weil sich der Bedarf mit Gräsern der untersten Qualitätsklassen abdecken lässt. Bei Variante A müssen dagegen auch Ernten der höheren Qualitätsklassen A und Ae einbezogen werden, um 10.000 t TS/a zur Verfügung zu haben. Der Vorteil der kleineren Anlage gilt aber nur in dem Maße, wie die auf Grasqualitäten bezogene Gasproduktion zutrifft, die bisher ja nur über den theoretischen Futterwert eingeschätzt worden ist. Im Zuge einer Realisierungsplanung sollte die Gasproduktion in jedem Fall anhand von Proben analysiert werden.

Die Darstellung einer Sparvariante zu Variante A zeigt, dass Kosteneinsparungsmöglichkeiten bestehen, die in diesem Fall ein negatives Betriebsergebnis in ein positives umwandeln können. Hieran wird deutlich, dass sich die Wirtschaftlichkeit in einem Bereich bewegt, der so nah an der „Plus-Minus-Null“-Linie liegt, dass die konkreten Bedingungen des Einzelfalles ausschlaggebend sein werden.

### 3.2 Grasraffinerie

Es gibt gegenwärtig drei Ansätze für Grasraffinerien in Deutschland:

- a) das Verfahren der Biowert Industrie AG (Hauptakteur Dr. Michael Gass), das in Brensbach im Odenwald einer Fortsetzung der in Schaffhausen begonnenen Konzeptlinie entspricht und bei der es zunächst primär um Herstellung von Einblasdämmstoff gehen wird,
- b) das Verfahren der Biopos, Brandenburg (Hauptakteurin Dr. Birgit Kamm), das eine Verwertung von Milchsäure in den Vordergrund stellt,
- c) das Verfahren von Dr. Stefan Grass, der ursprünglich der Wegbereiter des Schaffhauser Konzepts gewesen ist und nun in Redange in Luxemburg im Rahmen des EU-Programms PROGRASS aus der Faser Plattenware anstelle von Einblasdämmstoff erzeugen möchte.

Am intensivsten ließen sich im Rahmen der Untersuchung die Erfahrungen aus dem Verfahren a) berücksichtigen, zumal es hierzu mehrere Veröffentlichungen gibt und die Biowert mit einem kleinen Unterauftrag einbezogen werden konnte. Deutlich vermindert war dagegen die zur Verfügung stehende Informationsdichte zu Verfahren c). Das Verfahren b), das im Rahmen eines Futtermittelwerkes in Selbelang erprobt wird, konnte dagegen nur in Grundzügen über Literaturangaben studiert werden, so dass hierzu keine Basis für betriebswirtschaftliche Betrachtungen aufgebaut werden konnte.

Das Fazit aus der Beobachtung des Ist-Standes ist, dass die Praxis der stofflichen Verwertung von Gras eigentlich noch nicht in dem Maße gediehen ist, dass der Begriff Grasraffinerie voll gerechtfertigt wäre. Die Praxisansätze basieren bislang entweder auf eine Nutzung des Faseranteiles oder auf einer Nutzung und stofflichen Zerlegung des Presssaftes. Eine simultane Verarbeitung der Grasbestandteile zu mehreren Grundstoffen wird bei allen Ansätzen erst für eine spätere Phase vorgesehen bzw. befindet sich mehr oder weniger im Labormaßstab. Die Veröffentlichungen zur Herstellung bestimmter Proteine oder Milchsäurederivate bieten noch nicht die Orientierung, um auf die verfahrenstechnischen Voraussetzungen und die Wirtschaftlichkeit im Praxismaßstab rückschließen zu können.

Die Grasraffinerie sollte entweder eine Biogasanlage enthalten oder an einer großen Biogasanlage angesiedelt werden. Diese Verknüpfung bietet die Vorteile:

- der hohe Wärme- und Strombedarf der Grasraffinerie lässt sich kostengünstig mit Hilfe einer Biogasanlagen abdecken,
- für die stoffliche Verwertung ungeeignete Rohstoffchargen können der Biogasanlage zugeführt werden und tragen damit zur Energieerzeugungsbasis bei,
- im Rahmen der Grasraffinerie entstehende Reststoffe können von der Biogasanlage mitverarbeitet werden,
- die nach dem Biogasprozess verbleibenden Reststoffe sind gut als Dünger geeignet, so dass sich der gesamte Prozess optimal in bestehende Naturkreisläufe einfügt.

Die angeschlossenen Biogasanlagen unterscheiden sich kaum von denen, die im Abschnitt 3.1 vorgestellt worden sind. Allerdings ist zu beachten, dass die Zuführung von Reststoffen aus der Grasraffinerie auf einen Verzicht auf den im EEG eingeräumten NaWaRo-Bonus hinaus laufen wird. Das spricht dafür

- entweder den Verlust des NaWaRo-Zuschlages dadurch zu kompensieren, indem weitere biogene Abfälle zur Erzeugungsbasis der Biogasanlage beitragen, die Entsorgungserlöse einbringen,
- oder eine getrennte Behandlung der Reststoffe der Grasraffinerie in einer Abwasserbehandlungsanlage vorzunehmen.

Die erstgenannte Möglichkeit lässt sich aber in diesem Stadium noch nicht einplanen und die zweite hat wirtschaftlich ungünstiger abgeschnitten als den Verzicht auf den NaWaRo-Bonus hinzunehmen.

Die Grasraffinerie, die der Faserherstellung dient, besteht aus den Hauptkomponenten

- Flotationswäscher,
- Aufschluss der Grasbestandteile,
- Schneckenpressen,
- Bandtrockner,
- Flugschichttrockner.

Mit Hilfe dieser Aggregate wird im ersten Schritt ein Wasch- und Homogenisierungsschritt, im zweiten eine Abtrennung und Zerlegung der Rohstoffe, im dritten eine Konditionierung (insbesondere Borsalzbehandlung der Fasern) und schließlich im vierten eine Trocknung vollzogen. Für die Produkttrocknung lassen sich Abgase des BHKW direkt nutzen, so dass ein hoher thermische Wirkungsgrad von 56 % einkalkuliert werden kann. Ansonsten sind diverse Pumpen, Förderbänder, Tanks, Absackanlagen etc. sowie eine Produktionshalle als Investitionsposten zu berücksichtigen.

Zur Herstellung denaturierter Proteine kommen insbesondere hinzu:

- Anlagen zur Hitzekoagulation,
- Dekanterzentrifugen und
- ein weiterer Bandtrockner oder Wirbelschichttrockner.

Für die integrierten Biogasanlagen ist vereinfachend unterstellt worden, dass sie allein auf der Basis von Grassilage betrieben werden. Die Auslegung der Lager und die berücksichtigte Effizienz der BHKW entspricht denen des Abschnittes 3.1 (siehe Tabelle 3-2). Es sind drei verschiedene Kapazitäten berücksichtigt worden, wobei sich Untervarianten aufgrund einer Kosteneinsparungsvariante oder aufgrund von Varianten mit einer zusätzlichen Erzeugung von Proteinen ergeben, die zu einer verminderten Beschickung mit Reststoffen führen. Die Biogasanlagen sind so dimensioniert, dass sie den Wärmebedarf der angeschlossenen Grasraffinerien weitgehend abdecken. Die Daten der Biogasanlage und der BHKW sind aus Tabelle 3-10 und die schließlich sich daraus ergebenden Investitions- und Betriebskosten aus Tabelle 3-11 zu entnehmen.

**Tabelle 3-10: Auslegung der Gärbehälter und anderer Hauptkomponenten in den betrachteten Varianten**

<b>Beschickungsvariante</b> auf die Biogasanlage bezogen	<b>H</b> ohne Protein	<b>H Spar</b> mit Protein	<b>K</b> ohne Protein	<b>K</b> mit Protein	<b>M</b> ohne Protein
Grassilage (t TS/a)	5.000	5.000	6.500	6.500	7.500
<b>Auslegung des Gärbehälters:</b>					
Hydraulische Aufenthaltszeit (Tage)	40	35	30	28	30
Gärvolumen (m <sup>3</sup> )	6.800	5.900	9.400	8.700	13.200
organische Faulraumbelastung (kg oTS/(m <sup>3</sup> *d))	2,6	2,8	2,9	2,8	2,6
<b>BHKW:</b>					
Elektrische Leistung (kW)	830	800	1.200	1.130	1.530
Thermische Leistung (kW)	1.200	1.140	1.730	1.620	2.200

**Tabelle 3-11: Kosten und Energieeigenbedarf der in den Grasraffinerievarianten berücksichtigten Biogasanlagen**

<b>Beschickungsvariante</b> auf die Biogasanlage bezogen	<b>H</b> ohne Protein	<b>H Spar</b> ohne Protein	<b>H</b> mit Protein	<b>K</b> ohne Protein	<b>K</b> mit Protein	<b>M</b> ohne Protein
Angaben in T €						
Grassilage (t TS/a)	5.000	5.000	5.000	6.500	6.500	7.500
Investitionskosten (T €)	5.303	4.546	5.078	7.644	7.470	10.101
Kapitalkosten (T €)	532	466	509	757	740	996
Stromeigenbedarf (wird von der Er- zeugung abgezogen) MWh/a	444	444	424	640	600	815
Wärmeeigenbedarf (wird von der Er- zeugung abgezogen) (MWh/a)	3.100	3.100	3.100	5.700	5.700	8.050
Betriebskosten (o.Kap-kosten) (T €/a)	673	618	663	988	976	1.241

<sup>1)</sup> für BHKW, Anlagensteuerung, Messeinrichtungen, Büro, Toilette...; eine Containerlösung wäre in den Kosten für Biogasanlage enthalten)

<sup>2)</sup> Grundstück, Wege, Umzäunung, Trafostation, Anschlüsse, Wärmeeinbindung

Es handelt sich allein bei der integrierten Biogasanlage um Investitionen von mindestens 4,5 Millionen €, wovon ein hoher Anteil auf Lager für Gärgut entfällt, die eine termingerechte Düngung sicher stellen sollen. Es ist darauf hinzuweisen, dass den in Grasraffinerievarianten integrierten Biogasanlagen gegenüber den Biogasanlagen der Varianten A bis G zusätzliche Kostenpunkte zugeordnet sind, wie z. B. zusätzliche Fahrsilokapazität, die der Lagerung von Rohstoff für die Produktionsanlage dient.

Die Kostensituation der eigentlichen Produktionsanlage der Grasraffinerie ist in Tabelle 3-12 dargestellt. Die Tabelle enthält auch Angaben zur Energiebedarfsdeckung der Produktionsanlagen. Der über das Angebot der Biogasanlage hinaus anfallender Strombedarf ist zu 15 ct/kWh als Bezug aus dem Netz und zusätzlicher Wärmebedarf als Einsatz von Heizöl zu 0,40 €/l berücksichtigt worden.

**Tabelle 3-12: Kosten für die Produktionsanlage in den Grasraffinerievarianten**

Beschickungsvariante auf die Produktionsanlage bezogen	H	H Spar	H	K	K	M
	ohne Protein	ohne Protein	mit Protein	ohne Protein	mit Protein	ohne Protein
Grassilage (t TS/a)	5.000	5.000	5.000	10.000	10.000	15.000
Investitionskosten (T€)	2.605	2.530	3.305	3.473	4.290	4.103
Kapitalkosten	309	299	397	412	519	488
<i>Strombedarf in kW (ges. Produktionsanlage)</i>	700	700	820	1.400	1.640	2.100
<i>Stromverbrauch in MWh<sub>el</sub> (ges. Produktionsanlage)</i>	3.500	3.500	4.100	7.000	8.200	10.500
Stromkosten für verbleibenden Bezug aus dem Netz (T€/a)	-	-	-	-	35	-
<i>Summe Wärmebedarf in MWh<sub>th</sub> Netto-Wärmeproduktion</i>	3.750	3.750	5.633	7.500	11.265	11.250
<i>Biogasanlage in MWh<sub>th</sub></i>	6.003	6.003	5.594	7.421	6.602	8.666
<i>Rest Wärmebedarf in MWh<sub>th</sub></i>	-	-	39	79	4.663	2.584
Heizölkosten (T€/a)	-	-	2	4	219	122
Betriebskosten (o. Kap-K.) (T€/a)	1.020	1.079	1.094	1.562	2.009	2.594

Den jährlichen Betriebskosten (inkl. Kapitalkosten) stehen Erlöse gegenüber aus

- der verbliebenen Stromeinspeisung aus der Biogasproduktion unter Berücksichtigung des EEG,
- evtl. der Nutzung/dem Absatz der verbliebenen Wärmeüberschüsse,
- der Dämmfaserherstellung und
- evtl. der Proteinherstellung.

Die Perspektiven für die erzielbaren Erlöse sowohl aus der Dämmfaserherstellung als auch aus der Herstellung denaturierter Proteine werden recht unterschiedlich gesehen. So wird gemäß der Machbarkeitsstudie für Redange ein Preis für den Einblasdämmstoff von 0,80 €/kg angesetzt. Dr. Gass (Biowert) geht von einem Preis von 0,55 bis 0,68 €/kg aus, wobei es sich um Vorabsprachen mit Abnehmern für das Brensbacher Projekt handeln soll. In unseren Berechnungen ist zunächst von 0,68 €/kg ausgegangen worden.

In Bezug auf die Proteine ist vorstellbar, dass der erzielbare Preis sehr von der erreichten Qualität abhängig ist. In der Machbarkeitsstudie für Redange sind nur 0,25 €/kg einkalkuliert worden. Dr. Gass, Biowert, hat dagegen 0,53 bis 0,67 €/kg genannt. In unseren Berechnungen ist ein Preis von 0,60 €/kg angesetzt worden. Die erzielbare Produktionsmenge ist von vornherein gegenüber Angaben aus der Literatur herabgesetzt worden, weil bei einer simultanen Erzeugung von Faserprodukten und Proteinen aus beliebigen Grassorten und enthaltenen Verkräutungen keine besonders hohen Proteinerträge zu erwarten sind.

**Tabelle 3-13: Erlöse in den Grasraffinerievarianten**

<b>Beschickungsvariante</b> Angaben in T €/a	<b>H</b> ohne Protein	<b>H Spar</b> ohne Protein	<b>H</b> mit Protein	<b>K</b> ohne Protein	<b>K</b> mit Protein	<b>M</b> ohne Protein
Grassilage zur Biogasanlage (t TS/a)	5.000	5.000	5.000	6.500	6.500	7.500
Grassilage zur Produktion (t TS/a)	5.000	5.000	5.000	10.000	10.000	15.000
Jährliche Erlöse aus						
- Stromerzeugung	295	295	196	192	-	42
- Wärmeerzeugung	60	60	-	-	-	-
- Faserherstellung	1.836	1.836	1.836	3.672	3.672	5.508
- Proteinherstellung	-	-	270	-	540	-
- Summe	2.191	2.191	2.302	3.864	4.212	5.550

Die Wirtschaftlichkeit der betrachteten Grasraffinerievarianten lässt sich schließlich an den in Tabelle 3-14 dargestellten Betriebsergebnissen ablesen.

**Tabelle 3-14: Jährliche Betriebsergebnisse der Grasraffinerievarianten**

<b>Beschickungsvariante</b> Angaben in T €/a	<b>H</b> ohne Protein	<b>H Spar</b> ohne Protein	<b>H</b> mit Protein	<b>K</b> ohne Protein	<b>K</b> mit Protein	<b>M</b> ohne Protein
Grassilage zur Biogasanlage (t TS/a)	5.000	5.000	5.000	6.500	6.500	7.500
Grassilage zur Produktion (t TS/a)	5.000	5.000	5.000	10.000	10.000	15.000
Jährliches Betriebsergebnis in T€/a:						
a) ohne NaWaRo-Bonus	-342	-271	-362	144	-32	232

Beim Vergleich der Varianten H, K und M fällt auf, dass eine Kapazität von 5.000 t TS/a sowohl für die Faserherstellung als auch für die Proteinherstellung zu klein ist. Wirtschaftlichkeit tritt unter den berücksichtigten Randbedingungen erst im Bereich von 10.000 t TS/a (Variante K) auf. Sie verbessert sich nicht so sehr, wenn die Produktionskapazität auf 15.000 t TS/a analog zu Variante M ausgedehnt wird. Dies ist auf gewisse gegenläufige Effekte zurückzuführen, d.h. die mit zunehmender Anlagengröße eintretende Degression der spezifischen Kosten wird vor allem durch einen Anstieg der Rohstoffpreise mit zunehmender Ausschöpfung des Angebotes gedämpft. Ein günstiges Kapazitätsverhältnis zwischen Biogasanlage und Produktionsanlage ist offenbar gegeben, wenn die Beschickungsmenge der Biogasanlage um rund ein Drittel niedriger als die der Raffinerie ist.

Die für die Biogasanlage möglichen Kosteneinsparungen wirken sich auch, wie aus dem Vergleich der Varianten H und H Spar ersichtlich ist, in beachtlichem Maße auf das Ergebnis der gesamten Anlage aus. Entsprechende Kosteneinsparungspotenziale ließen sich auch im Rahmen der Varianten K und M mobilisieren.

Die zusätzliche Proteinherstellung wirkt sich unter den berücksichtigten Rahmenbedingungen nicht positiv auf das Ergebnis aus. Das hängt aber sehr von dem Ansatz der spezifischen Erlöse für das erzeugte Protein ab. Diese Sensibilität ist jedoch auch in Bezug auf die erzielten Preise für Einblasdämmstoff zu verzeichnen.

Bereits wenn der Erlös von 0,68 €/kg auf 0,65 €/kg absinkt, gerät das Betriebsergebnis für die Varianten K und M in den negativen Bereich. Vielleicht besteht ja auf der Rohstoffseite, das heißt bei den Silagekosten eine gewisse Flexibilität. Aber um beispielsweise in Variante K den Einnahmenverlust von 3 ct/kg auszugleichen (d.h. zu einem gleich guten Betriebsergebnis wie im Ausgangsfall zu kommen), müssten die Silagekosten um 12 % sinken.

Die Gesamtinvestition liegt in den betrachteten Grasraffinerievarianten zwischen 7 und 14 Millionen €. Das ergibt einen Anteil der Kapitalkosten an den Betriebskosten von rund 30 %, was auf ein relativ hohes Betreiberrisiko hindeutet. Zwei Drittel der Investition entfällt allerdings direkt oder indirekt (heißt zum Beispiel für Lagerkapazitäten) auf die Biogasanlage. Für diesen Teil ist von einer höheren Planungssicherheit auszugehen und es lassen sich im ungünstigen Fall zumindest aus der Stromerzeugung stabile Erlöse erzielen.

### Variante Herstellung von Dämmstoffplatten

Der im Rahmen des PROGRASS-Projektes gewählte Ansatz unterscheidet sich von dem hier betrachteten, indem anstelle von Einblasdämmstoff Dämmplatten hergestellt werden. Herr Dr. Grass hat die wichtigsten Kenndaten der für Redange vorgesehenen Produktlinie übermittelt. Allerdings hat er zugleich darum gebeten, die Angaben vertraulich zu behandeln. Dieser Aufforderung wird Folge geleistet, indem hier lediglich ein Vergleich der wesentlichen Daten vorgenommen wird. Hierzu ist eine Variante der Einblasdämmstoff-Linie so umdimensioniert worden, dass sich anschließend gleiche Verarbeitungskapazitäten vergleichen lassen. Die enthaltene Biogasanlage würde entsprechend identisch sein.

Folgende Unterschiede ergeben sich dann bezüglich der Produktionsanlage (d.h. ohne Biogasanlage) vom Typ Redange zum Typ Brensbach/Schaffhausen (dabei ist zu beachten, dass sich die Angaben zu Redange vollständig auf Angaben von Herrn Dr. Grass stützen und nicht durch eigene Einschätzungen überprüft werden konnten):

- um 46 % höhere Investition,
- um 22 % höhere Betriebskosten,
- um 58 % höhere Erlöse.

Für die für Redange gewählte Auslegung ergibt sich bei der von Herrn Dr. Grass gewählten Auslegung von 5.200 t TS/a für die Plattendämmstoffherstellung ein positives jährliches Betriebsergebnis von ca. 250.000 € und für die Einblasdämmstoffherstellung von minus 460.000 €. Dieser Unterschied ist vor allem darauf zurückzuführen, dass der Erlös für die Plattenware zu 1 €/kg eingeschätzt und im Fall der Einblasdämmstoffherstellung nur zu 0,68 €/kg angesetzt worden ist. Wahrscheinlich wird erst nach der Inbetriebnahme der Dämmplattenherstellung darüber Klarheit herrschen, ob die 1 €/kg realistisch sind. Aus der Betrachtung der Marktsituation ist zumindest hervorgegangen, dass es sehr ambitioniert sein würde, ein völlig neues Produkt Grasdämmstoffplatte zu dem veranschlagten Preis am Markt zu etablieren. Falls sich dieser Schwachpunkt als überwindbar erweisen würde, wäre die Dämmplattenherstellung eine interessante Perspektive, zumal sie offenbar auch in kleineren Produktionseinheiten wirtschaftlich sein kann als die Herstellung von Einblasdämmstoff. Möglicherweise ist auch die Toleranz gegenüber der Grasqualität etwas höher. Jedoch sollten hier erst Erfahrungen aus der Praxis abgewartet werden, die diese Einschätzungen untermauern.

### 3.3 Primärenergieeinsparung der Biogas- und der Grasraffinerievarianten

Die Wirtschaftlichkeit einer Anlage stellt sicherlich das vorrangige Kriterium dar. Aber auch das Maß der Primärenergieeinsparung ist in Anbetracht der Problematik begrenzter fossiler Energiequellen von hohem Interesse. Bei den Biogasanlagen führt die Stromerzeugung zur Verminderung der notwendigen Erzeugung aus konventionellen Kraftwerken und die ausgekoppelte, in vollem Umfang genutzte Wärme ersetzt Erdgas- und Heizöleinsatz. Es handelt sich in diesem Fall angesichts des annähernd permanenten BHKW-Betriebes um eine Grundlasterzeugung. Die Frage wird entsprechend sein, welche konventionelle Stromerzeugungsart entsprechend in der Kapazität reduziert werden würde. Einige stellen sich auf dem Standpunkt, es würde eine geringere Braunkohlekraftwerkskapazität gebaut werden. Andere sagen, der gesamte Kraftwerkspark wird entsprechend zurückgefahren, so dass der Stromerzeugungsmix als Referenzfall herangezogen werden kann. Ohne diese beiden Auffassungen zu bewerten, sollen hier beide Ergebnisse dargestellt werden. Die Primärenergieeinsparungen werden um den Primärenergieeinsatz reduziert der mit der Erzeugung und der Anlieferung des Grasses verbunden ist. Die Einzeldaten und die schließlich sich ergebenden Ergebnisse sind in Tabelle 3-15 genannt.

**Tabelle 3-15: Primärenergieeinsparung der Biogasvarianten**

<b>Beschickungsvariante</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>D</b>	<b>E</b>	<b>F</b>	<b>G</b>
Grassilage (t TS/a)	10.000	5.000	15.000	8.000	4.000	12.000	4.000
Rindergülle (m <sup>3</sup> /a)				20.000	10.000	30.000	10.000
Schweinegülle (m <sup>3</sup> /a)				20.000	10.000	30.000	10.000
Maissilage (t TS/a)							1.500
<b>Primärenergieeinsatz zur Erzeugung und zur Anlieferung von Gras</b>							
- Verbrauch für Bereitstellung in MWh:	2.521	904	4.141	1.580	722	3.169	<b>722</b>
Primärenergieeinsparung bei Strom in MWh:							
<b>Bewertung der Netto-Stromerzeugung auf der Basis eines modernen Braunkohle-Kraftwerks</b>							
- Nutzungsgrad 44,5 %	21.018	10.269	32.291	18.403	9.052	28.203	13.145
<b>Bewertung der Netto-Stromerzeugung auf der Basis des aktuellen Stromerzeugungsmixes</b>							
- Nutzungsgrad 37 %	25.279	12.350	38.836	22.133	10.886	33.919	15.810
Primärenergieeinsparung bei Wärme in MWh:							
Bewertung der Netto-Wärmeerzeugung							
- 1/3 Heizöl	3.480	1.692	5.370	2.317	1.139	3.603	1.828
- 2/3 Erdgas	6.959	3.385	10.740	4.633	2.277	7.205	3.657
Primärenergieeinsparung in MWh:							
gegen modernes Braunkohle-Kraftwerk	<b>28.937</b>	<b>14.442</b>	<b>44.260</b>	<b>23.773</b>	<b>11.745</b>	<b>35.842</b>	<b>17.909</b>
gegen Strommix	<b>33.197</b>	<b>16.523</b>	<b>50.805</b>	<b>27.503</b>	<b>13.580</b>	<b>41.559</b>	<b>20.573</b>

Hervorzuheben ist, dass sich die Primärenergieeinsparung unter den berücksichtigten Rahmenbedingungen in den Varianten A Spar und B ergibt, ohne Kosten zu verursachen. In Variante A werden jährlich ungefähr 3 Millionen Liter Heizöl ersetzt.

Die entsprechenden Betrachtungen für die Grasraffinerievarianten, bei denen Primärenergieeinsparung durch Erzeugung von Dämmstoffen hinzu kommt (bei denen aber auch ein geringerer Strom- und Wärmeoutput übrig bleibt), wird in Tabelle 3-16 dargestellt.

Für die Herstellung von Proteinen, die in Untervarianten von H und K hinsichtlich ihrer Wirtschaftlichkeit geprüft worden sind, konnten keine Referenzwerte ermittelt werden. So sind diese Varianten aus der Primärenergieanalyse ausgeklammert geblieben.

**Tabelle 3-16: Primärenergieeinsparung in den Grasraffinerie-Varianten (ohne Proteinherstellung)**

<b>Beschickungsvariante</b>	<b>H</b>	<b>K</b>	<b>M</b>
Grassilage zur Biogasanlage (t TS/a)	5.000	6.500	7.500
Grassilage zur Produktion (t TS/a)	5.000	10.000	15.000
Primärenergieeinsatz zur Erzeugung und zur Anlieferung von Gras in MWh:			
- Verbrauch für Bereitstellung	2.521	4.627	6.571
Primärenergieeinsparung bei Strom in MWh:			
Bewertung der Netto-Stromerzeugung auf der Basis eines modernen Braunkohle-Kraftwerks			
- Nutzungsgrad 44,5 %	5.384	3.367	734
Bewertung der Netto-Stromerzeugung auf der Basis des aktuellen Stromerzeugungsmixes			
- Nutzungsgrad 37 %	6.476	4.050	883
Primärenergieeinsparung bei Wärme in MWh:			
Bewertung der Netto-Wärmeerzeugung			
- 1/3 Heizöl	789	-	-
- 2/3 Erdgas	1.578	-	-
Primärenergieaufwand für Betriebsmittel in MWh:			
- Heizöl	-	93	3.040
Primärenergieeinsparung durch Dämmstoffherzeugung, Basis:			
- Mineralwolle in kWh/m <sup>3</sup> und Rohdichte 50kg/m <sup>3</sup>	250	250	250
- Styropor in kWh/m <sup>3</sup> und Rohdichte 15kg/m <sup>3</sup>	387	387	387
bei Verdrängung von 2/3 Mineralwolle und 1/3 Polystyrol in MWh:	22.452	44.904	67.357
Primärenergieeinsparung in MWh:			
- gegen modernes Braunkohle-Kraftwerk	<b>27.683</b>	<b>43.552</b>	<b>58.480</b>
- gegen Strommix	<b>28.774</b>	<b>44.235</b>	<b>58.629</b>

Die wirtschaftlichsten Varianten K und M bewirken demnach eine erhebliche jährliche Primärenergieeinsparung, die etwa dem Energieinhalt von 4,4 Millionen bzw. 5,8 Millionen Liter Heizöl entspricht. Wenn Biogasvariante A mit Grasraffinerievariante H verglichen wird, in denen gleich viel Gras eingesetzt wird, dann ergibt sich eine geringfügige Anhebung der Primärenergieeinsparung durch eine gleichzeitige energetische und stoffliche gegenüber der reinen energetischen Verwertung.

### 3.4 CO<sub>2</sub>-Minderung der Biogas- und der Grasraffinerievarianten

Analog zur Primärenergieeinsparung bietet die Energieerzeugung aus biogenen Rohstoffen eine Minderung der CO<sub>2</sub>-Emissionen, weil im Zuge dieser Umwandlung nur soviel CO<sub>2</sub> freigesetzt wird wie vorab von den Pflanzen gebunden worden ist. Die Vergleichsbasis entspricht der primärenergetischen Betrachtung. Die Einzeldaten sind inklusive der berücksichtigten Faktoren sowie der Ergebnisse für die Biogasvarianten in Tabelle 3-17 und für die um eine Einblasdämmstoffherzeugung erweiterten Varianten in Tabelle 3-18 angegeben.

**Tabelle 3-17: CO<sub>2</sub>-Bilanzen der betrachteten Biogasvarianten**

Beschickungsvariante	A	B	C	D	E	F	G
Grassilage (t TS/a)	10.000	5.000	15.000	8.000	4.000	12.000	4.000
Rindergülle (m <sup>3</sup> /a)				20.000	10.000	30.000	10.000
Schweinegülle (m <sup>3</sup> /a)				20.000	10.000	30.000	10.000
Maissilage (t TS/a)							1.500
CO <sub>2</sub> -Ausstoß in t CO <sub>2</sub> zur Erzeugung und zum Antransport von Gras							
- Verbrauch für Bereitstellung	1087	390	1787	680	312	1367	312
CO <sub>2</sub> -Ausstoß bei Strom in t CO <sub>2</sub> /a							
Bewertung des CO <sub>2</sub> -Ausstoßes							
- auf der Basis eines modernen Braunkohle-Kraftwerks							
- 0,9 t CO <sub>2</sub> je MWh <sub>el</sub>	-8418	-4113	-12932	-7370	-3625	-11295	-5265
- auf der Basis des aktuellen Stromerzeugungsmixes							
- 0,6 t CO <sub>2</sub> je MWh <sub>el</sub>	-5612	-2742	-8622	-4914	-2417	-7530	-3510
CO <sub>2</sub> -Ausstoß bei Wärme in t CO <sub>2</sub> /a, Bewertung der Netto-Wärmeerzeugung							
- 1/3 Heizöl (0,26 t CO <sub>2</sub> je MWh <sub>th</sub> )	-905	-440	-1396	-602	-296	-937	-475
- 2/3 Erdgas (0,2 t CO <sub>2</sub> je MWh <sub>th</sub> )	-1392	-677	-2148	-927	-455	-1441	-731
Summe CO <sub>2</sub> -Ausstoß (minus = CO <sub>2</sub> Einsparung) in t CO <sub>2</sub> /a							
-gegen modernes Braunkohle-Kraftwerk	<b>-9628</b>	<b>-4839</b>	<b>-14690</b>	<b>-8219</b>	<b>-4065</b>	<b>-12306</b>	<b>-6159</b>
-gegen Strommix	<b>-6822</b>	<b>-3469</b>	<b>-10379</b>	<b>-5762</b>	<b>-2856</b>	<b>-8541</b>	<b>-4404</b>

**Tabelle 3-18: CO<sub>2</sub>-Bilanzen der betrachteten Grasraffinerievarianten (ohne Proteinherstellung)**

Beschickungsvariante	H	K	M
Grassilage zur Biogasanlage (t TS/a)	5.000	6.500	7.500
Grassilage zur Produktion (t TS/a)	5.000	10.000	15.000
CO <sub>2</sub> -Ausstoß in t CO <sub>2</sub> zur Erzeugung und zur Anlieferung von Gras			
- Verbrauch für Bereitstellung	1087	1997	2837
CO <sub>2</sub> -Ausstoß bei Stromerzeugung in t CO <sub>2</sub> /a			
- Bewertung des CO <sub>2</sub> -Ausstoßes auf der Basis eines modernen Braunkohle-Kraftwerks			
- 0,9 t CO <sub>2</sub> je MWh <sub>el</sub>	-2156	-1348	-294
- Bewertung des CO <sub>2</sub> -Ausstoßes auf der Basis des aktuellen Stromerzeugungsmixes			
- 0,6 t CO <sub>2</sub> je MWh <sub>el</sub>	-1438	-899	-196
CO <sub>2</sub> -Ausstoß bei Wärme in t CO <sub>2</sub> /a, Bewertung der Netto-Wärmeerzeugung			
- 1/3 Heizöl (0,26 t CO <sub>2</sub> je MWh <sub>th</sub> )	-174	0	0
- 2/3 Erdgas (0,2 t CO <sub>2</sub> je MWh <sub>th</sub> )	-268	0	0
CO <sub>2</sub> -Ausstoß für Betriebsmittel			
- Heizöl (0,26 t CO <sub>2</sub> je MWh <sub>th</sub> )	0	24	790
CO <sub>2</sub> -Einsparung durch Dämmstoffherzeugung, Basis:			
- Mineralwolle in kg CO <sub>2</sub> und Rohdichte 50kg/m <sup>3</sup>	65,00	65,00	65,00
- Styropor in kg CO <sub>2</sub> und Rohdichte 15kg/m <sup>3</sup>	100,6	100,6	100,6
bei Verdrängung von 2/3 Mineralwolle und 1/3 Polystyrol	-5837	-11674	-17511
Summe CO <sub>2</sub> -Ausstoß (minus = CO <sub>2</sub> Einsparung) in t CO <sub>2</sub> /a			
- gegen modernes Braunkohle-Kraftwerk	<b>-7349</b>	<b>-11002</b>	<b>-14178</b>
- gegen Strommix	<b>-6631</b>	<b>-10552</b>	<b>-14080</b>

Die wirtschaftlich interessanteste Biogasvariante B bietet demnach eine CO<sub>2</sub>-Minderung von 3.500 bis 4.800 t CO<sub>2</sub>/a, die Variante A, die in der Sparversion ebenfalls zu einem positiven Betriebsergebnis kommen kann, von etwa 6.800 bis 9.600 t CO<sub>2</sub>/a – je nach gewählter Vergleichsbasis bei der Stromerzeugung. Bei den wirtschaftlichsten Grasraffinerievarianten K und M ergeben sich mit 11.000 bzw. 14.000 t CO<sub>2</sub>/a noch höhere CO<sub>2</sub>-Einsparungen.

Wenn allerdings wiederum die Grasraffinerievariante H mit der Biogasvariante A, deren Grasinput identisch ist, verglichen werden, zeigt sich, dass bei einer Bewertung der Stromerzeugung auf der Basis eines Braunkohlekraftwerks die reine Energieproduktion zu einer höheren CO<sub>2</sub>-Minderungen führt.

### 3.5 Erzeugung von Brennstoffpellets

#### 3.5.1 Wirtschaftlichkeit

Insbesondere für das überständige, bereits fortgeschritten verholzte Gras aus Naturschutz- und Landschaftsschutzgebieten könnte sich eine Nutzung für Feuerungszwecke als sinnvoll erweisen. Diese Nutzungsmöglichkeit weist auch aus Naturschutzsicht gegenüber anderer Verwertung einige Vorteile auf, weil das gemähte Gras länger auf den Wiesen liegen bleiben kann. Um diesen Brennstoff dezentral einsetzen zu können, bietet sich eine Verarbeitung zu Brennstoffpellets an.

Für Holzpellets entwickelt sich aktuell ein stetig wachsender Markt. Pellets aus Stroh rücken mit zunehmenden Ölpreisen ebenfalls immer stärker in den Blickpunkt. Die dafür geeigneten Feuerungssysteme haben hinsichtlich der Umwelteigenschaften und des Komforts selbst in der unteren Leistungsklasse einen hohen Entwicklungsstand erreicht. Aber nicht alle für Holzpellets entwickelten Öfen eignen sich auch für Stroh- und Graspellets. Stroh weist gegenüber Holz einen um den Faktor 5 höheren Anteil an mineralischen Bestandteilen auf, die bei Temperaturen um 1000°C zu Verschlackungsproblemen führen, wenn nicht dafür gesorgt wird, dass die entstehende Asche laufend aus dem heißen Brennraum entfernt wird oder der Bereich der primären Feuerung gekühlt wird. Vermutlich ist Gras in dieser Hinsicht nah bei Stroh anzusiedeln, weil der mineralische Anteil bei Gras ähnlich ausfällt. Weiterhin ist zu beachten, dass die Erzeugung formstabiler Pellets mit Holz als Rohstoff durch natürliche Bindemittel unterstützt wird. In diesem Punkt befindet sich Stroh im Nachteil und vermutlich liegt Gras in dieser Hinsicht zwischen Holz und Stroh, weil die enthaltenen Proteinanteile eine gute Bindewirkung aufweisen müssten.

Die Graspellettierstation besteht aus folgenden Komponenten:

- Ballenauflöser
- Heuzerkleinerung (Hammermühle)
- Matrizenflach- oder Ringmatrizenpresse
- Fördereinrichtungen (Schnecken, Gebläse)
- Zwischenlager für Pellets etc.
- Halle inkl. Zwischenlager für Heu mit Nachrocknungsmöglichkeiten
- Fahrzeugwaage
- Dosiereinrichtung
- Stromerzeuger 150 kW bei 0,9 t TS/h

Die hierfür anfallende Investition wird mit 500.000 € eingeschätzt. Für die Betriebskosten wird von den in Tabelle 3-19 aufgeführten Annahmen ausgegangen.

**Tabelle 3-19: Berücksichtigte Betriebskosten der Pelletierungsanlage**

bei einem Heizölpreis (€/l) von	0,40	0,50	0,60
- Personal bei 25 € Stundensatz (T€/a)		60	
- Wartung und Reparatur (T€/a)			
Bauliches		3	
Maschinenbau		13	
Stromerzeuger		4	
- Betriebsmittel			
- Treibstoff für Stromerzeuger (T€/a)	28	35	42
- Frontlader			
Preis €/l	1,00	1,10	1,20
T€/a	8	9	10
sonst. Kosten(€/h)		8	
Summe pro Jahr (T€/a)		22	
- Versicherung, Verwaltung (T€/a)		8	

Eine in Hilgermissen (Landkreis Nienburg) bestehende Strohpressstation beweist, dass dem gegenüber günstigere Betriebsbedingungen denkbar sind:

- eine Halle zur Aufstellung der Anlage stand dort bereits zur Verfügung,
- sowohl die Herstellungsaggregate als auch ein Stromerzeuger konnten gebraucht erworben werden, so dass die gesamten Investitionskosten mit 70.000 € recht niedrig gehalten werden konnten,
- die beteiligten Landwirte übernehmen selbst die damit verbundenen Arbeiten und rechnen sich niedrigere Personalkosten ein als wenn sie auf festes Personal (das evtl. nicht immer ausgelastet sein würde) zurückgreifen müssten,
- es werden vorhandene Traktoren als Transport- und Ladegeräte eingesetzt,
- es sind bei der Erstellung der Anlage hohe Eigenleistungsanteile eingeflossen.

Fazit: eine bislang noch bestehende Teilauslastung der Anlage wirkt sich finanziell nicht sehr belastend aus. Eine komplett neue Anlage würde dagegen erheblich höhere Anlaufverluste bewirken. Eine Übertragung des Ansatzes aus dem Landkreis Nienburg ist trotzdem vorstellbar.

Zur Kennzeichnung der Wirtschaftlichkeit der Herstellung von Brennstoffpellets sind die zulässigen Preise für das angelieferte Gras ermittelt worden, die gerade noch zu einem positiven Betriebsergebnis der Pelletierungsanlage führen. Die zulässigen Graspreise hängen sehr von der Annahme des Heizölreferenzpreises ab, der durchschnittlich für die hier angesetzte zehnjährige Betriebszeit erwartet wird. Dabei ist davon auszugehen, dass die Pelletnutzer von vornherein einen Preisvorteil gegenüber dem Heizölpreis erwarten, der mit 10 Cent pro Liter Heizöl angesetzt worden ist.

Für eine voll ausgelastete Neuanlage, die pro Stunde 1 t und pro Jahr 1.800 t Pellets erzeugt, betragen die zulässigen Heukosten pro t TS für eine Bewertung des Heizölpreises

- mit 30 Cent/Liter 30 €/t TS,
- mit 40 Cent/Liter 75 €/t TS,
- mit 50 Cent/Liter 120 €/t TS.

Falls die Bedingungen, die in Hilgermissen realisiert worden sind, berücksichtigt werden, dann ergibt sich bei voller Auslastung und gleicher Pressleistung folgendes Bild:

- mit 30 Cent/Liter 60 €/t TS,
- mit 40 Cent/Liter 108 €/t TS,
- mit 50 Cent/Liter 150 €/t TS.

Wenn bedacht wird, dass für die untere Grasqualitätsklasse C, die für Bremen ein Potenzial von rund 3.000 t TS/a aufweist, ca. 60 €/t TS frei Anlage zu veranschlagen ist, ergeben sich recht interessante Perspektiven. Bei der Preisentwicklung des Ölpreises der letzten Monate könnte sogar an die Investition in eine Neuanlage gedacht werden. Die nächst bessere Qualitätsklasse B ist gemäß Tabelle 1-5 mit einem Potenzial von ca. 4.500 t TS/a für 77 €/t erhältlich, so dass zumindest für eine teilweise aus gebrauchten Komponenten bestehende Pelletieranlage auch diese Fraktion interessant sein könnte. Vor einem Einstieg in diese Technik sollten in jedem Fall mit Hilfe vorhandener Anlagen Versuche gefahren werden, um die gesamte Kette von der Erzeugung bis zur Verwertung zu erproben und zu optimieren. Außerdem ist zu beachten, dass Graspellets, ebenso wie Strohpellets, nicht zu den nach der 1. BImSchV zugelassenen Brennstoffen gehören, so dass Sondergenehmigungen erforderlich werden. Diese werden jedoch nicht von den einzelnen Anlagenbetreibern, sondern von den Anbietern für entsprechende Spezialfeuerungsanlagen zu beantragen sein.

### 3.5.2 Primärenergieeinsparung, CO<sub>2</sub>-Minderung bei einer Nutzung von Gras in Form von Brennstoffpellets

Der Heizwert einer t Pellet wird etwa 4,5 MWh betragen. Pro t TS sind damit unter der Annahme eines Trockensubstanzgehalts von 90 % 5 MWh zu veranschlagen. Es soll wiederum (wie in Abschnitt 3.4) davon ausgegangen werden, dass durch den Einsatz als Brennstoff zu zwei Drittel Erdgas und zu einem Drittel Heizöl ersetzt werden. Die Feuerungsnutzungsgrade der Pelletspezialfeuerungssysteme dürften um 5 % niedriger als bei dem Mix aus Erdgas- und Ölheizkesseln liegen. Damit würde allein das für die untere Qualitätsklasse C bestehende Graspotenzial unter Berücksichtigung von 48 l Heizöl pro t TS an Anlageneigenbedarf und 18 l Dieselöl pro t TS für die Bereitstellung des Heus 11.300 MWh (entsprechend dem Heizwert von 1,1 Millionen l Heizöl) an fossiler Energie einsparen. Wenn die Qualitätsklasse B hinzugenommen wird, handelt es sich um 27.700 MWh (entsprechend dem Heizwert von 2,8 Millionen l Heizöl).

Mit den genannten Primärenergieeinsparungen korrespondiert unter Ansatz der in Tabelle 3-18 enthaltenen CO<sub>2</sub>-Faktoren bei einer Ausschöpfung des Potenzials der Qualitätsklasse C eine Minderung der CO<sub>2</sub>-Emissionen von 2.400 t/a und mit zusätzlicher voller Einbeziehung der Qualitätsklasse B von 5.900 t/a.

#### 4 Vergleich aller betrachteten Optionen

Das Investitionskostenniveau, das erforderlich ist, um in eine wirtschaftlich interessante Zone zu kommen, ist bei der Strohpelletierung fast um eine Zehnerpotenz niedriger als bei der rein energetischen Verwertung in Biogasanlagen (analog Variante B). Bei einer Grasraffinerie müssen hierfür noch mal doppelt soviel (analog Variante K) gegenüber einer Biogasanlage (analog Variante B) aufgebracht werden.

Mit zunehmenden Investitionen steigt auch das Risiko, von vornherein Fehleinschätzungen zu unterliegen oder veränderte Rahmenbedingungen nicht mehr verkraften zu können. Die Verschiebung des Betriebsergebnisses aufgrund höherer Rohstoffpreise bzw. niedrigerer Erlöse lässt sich für die interessantesten Biogasvarianten und die drei rein auf Faserproduktion ausgerichteten Grasraffinerien aus Tabelle 4-1 ablesen (die für Erlösminderungen verzeichneten Effekte gelten gleichermaßen für eine entsprechende Erhöhung der Betriebskosten). Die Tabellenwerte verdeutlichen die hohe wirtschaftliche Sensitivität der Grasraffinerievarianten.

**Tabelle 4-1: Sensitivität der Betriebsergebnisse auf veränderte Rohstoffpreise und die Erlöse**

Beschickungsvariante	Biogasanlagenvarianten				Grasraffinerievarianten		
	A	B	E	G	H	K	M
Grassilage zur Biogasanlage (t TS/a)	10.000	5.000	4.000	4.000	5.000	6.500	7.500
Grassilage zur Produktion (t TS/a)					5.000	10.000	15.000
Rindergülle (m <sup>3</sup> /a)			10.000	10.000			
Schweinegülle (m <sup>3</sup> /a)			10.000	10.000			
Maissilage (t TS/a)				1.500			
Veränderung des jährlichen Betriebsergebnisses in T €/a:							
- bei einer 10 %-igen Erhöhung der Grassilagepreise: Verschiebung um	-77	-33	-25	-25	-77	-151	-219
- bei einer 10 %-igen Verminderung der Erlöse: Verschiebung um	-184	-98	-83	-116	-219	-386	-555

Allerdings bewirkt die aufgrund ihrer etwas günstigeren Wirtschaftlichkeit hervorgehobene Grasraffinerievariante K auch mit einer jährlichen Personalkostensumme von 670.000 € einen erheblichen direkten Arbeitsplatzeffekt, der im Rahmen der Biogasanlage gemäß Variante B mit nur 40.000 € Personalkosten eher bescheiden ist. Hinzu kommen auf beiden Seiten selbstverständlich erhebliche indirekte Arbeitsplatzeffekte, die mit der Errichtung der Anlagen sowie Fremdleistungen während des Betriebes zusammenhängen und im Allgemeinen mit den Investitionskosten korrelieren. Weiterhin werden mit Hilfe der Schaffung neuer Absatzmöglichkeiten Arbeitsplätze in der Landwirtschaft gesichert – und zwar um so mehr, je höher der Rohstoffbedarf der zustande kommenden Anlage ist. Die Pelleterzeugung ist mit Personalkosten von 60.000 €/a bei einer Verarbeitungskapazität von etwas mehr als 1.600 t TS/a auch relativ personalintensiv. In Anbetracht des in Bremen vorhandenen Potenzials an minderwertigen Gräsern könnten fast fünf Anlagen diesen Typs realisiert werden.

Hinsichtlich der Primärenergieeinsparung liegen die Biogas- und die Grasraffinerievarianten eng beieinander, falls die verarbeitete Grasmenge als Bezug genommen wird. Die wirtschaft-

lich interessante Grasraffinerievariante K spart aber mit jährlich 44.000 MWh (entsprechend dem Heizwert von 4,4 Millionen l Heizöl) gegenüber der Biogasvorzugs-variante B mit 14.500 bis 16.500 MWh/a etwa die dreifache Primärenergie ein. Dagegen bleibt die Primärenergieeinsparung bei der Pelleterzeugung und -nutzung, falls nur eine Anlage entstehen würde, mit 5.900 MWh/a auf relativ niedrigerem Niveau. Aber wenn das Potenzial der minderwertigen Gräser auf diesem Wege voll ausgeschöpft wird, sind es immerhin 27.700 MWh/a.

Die CO<sub>2</sub>-Minderung ist in den Biogasvarianten effektiver als bei den Grasraffinerievarianten. Dennoch ist auch hier Variante K mit ca. 11.000 t CO<sub>2</sub>/a Minderung gegenüber Variante B mit 3.500 bis 5.000 t CO<sub>2</sub>/a im Vorteil. Eine einzelne Anlage des betrachteten Typs zur Pelleterzeugung und -nutzung würde 1.250 t CO<sub>2</sub>/a einsparen. Die Nutzung des gesamten Potenzials kostengünstiger Gräser sogar 5.900 t CO<sub>2</sub>/a.

## 5 Schlussfolgerung und Empfehlung

In der vorliegenden Studie wurde die Nutzung von Gras in Grasraffinerien, Biogasanlagen und über die Erzeugung von Brennstoff-Pellets untersucht. Der Schwerpunkt lag dabei auf der Grasraffinerie. Nachfolgend sind die Ergebnisse der Studie zusammen geführt und mit Empfehlungen für die Verwertung von Gras als Rohstoff erweitert worden.

### 5.1 Biogasanlagen

Bezüglich der Möglichkeiten zur Umwandlung von Gras in Wärme und Strom sind vor allem die folgenden Ansätze näher betrachtet worden:

- die reine Grasvergärung
- eine Grasvergärung kombiniert mit Gülle
- eine Grasvergärung kombiniert mit Mais.

Im Vergleich der genannten Prozessvarianten stellte sich heraus, dass die reine Grasvergärung den ökonomisch günstigsten Ansatz bietet. Sie gilt jedoch als technisch anspruchsvoll, da das Gras zu so genannten Verzopfungen und zur Bildung von Schwimmdecken neigt, die den Betrieb einer Anlage erschweren. Zu diesem Anlagentyp liegen daher noch wenig Erfahrungen in der Praxis vor. Eine gewisse Unsicherheit lässt sich diesbezüglich überwinden, indem das zugeführte Gras einem relativ hohen Aufbereitungsaufwand (mechanische Zerkleinerung) unterzogen wird. Durch die Zerkleinerung der Grashalme wird die Durchmischung in der Anlage erleichtert und der Aufschluss der Gräser für die Vergärung verbessert. Hierdurch entstehen zusätzliche Kosten, die sich negativ auf die Wirtschaftlichkeit der Anlage auswirken. Es wäre finanziell günstiger, wenn die Substratführung und -vermischung in der Anlage stärker an die Eigenschaften von Gras angepasst werden könnte und das Gras vor der Vergärung lediglich ein Mal beim Ladevorgang zu häckseln wäre. Dazu liegt jedoch noch keine ausgereifte Technik vor.

Die Entwicklung der Anlagentechnik auf jeden Fall aufmerksam verfolgt werden. Als aktiver Schritt könnte, vor dem Hintergrund der großen Bedeutung der Grasverwertung für die Grünlandgebiete in ganz Norddeutschland, die technische Entwicklung u. a. im Bereich der Substratführung und -vermischung in einer Biogasanlage zur reinen Grasvergärung am Forschungsstandort Bremen stellvertretend oder in Kooperation mit anderen Bundesländern in Angriff genommen werden.

Eine Vermischung mit Gülle würde bei hauptsächlich auf Gras basierenden Gärprozessen dazu führen, dass der Gärprozess stabiler verlaufen kann. Allerdings ist nach den Ergebnissen aus Kapitel 3.1 mit der Zuführung von Gülle lediglich ein negatives Betriebsergebnis zu erzielen. Da in Bremen kaum landwirtschaftliche Betriebe mit ganzjährig hohem Gülleanfall existieren, ergeben sich zudem kaum Anknüpfungspunkte für eine große landwirtschaftliche Biogasanlage in Kombination mit Gülle.

Für eine Grasvergärung mit einem weiteren nachwachsenden Rohstoff, es kommt vor allem Mais in Frage, gelten ähnliche Rahmenbedingungen wie für die Gülle. So kann das Betriebsergebnis durch die Zufuhr von Maissilage zwar verbessert werden, erreicht jedoch ebenfalls nicht die Gewinnzone.

Unter den gegebenen Bedingungen ergibt sich somit für die Vergärung von Gras in Biogasanlagen bei der Kombination von Gras/Gülle bzw. von Gras/Maissilage zur Zeit keine wirtschaftlich attraktive Perspektive.

Sollte es aus anderen Erwägungen zur Realisierung von großen Biogasprojekten kommen, dann sollte bei der Planung der Anlage berücksichtigt werden, dass diese mit einer energetischen Verwertung von Gras verknüpft und so die Mitvergärung von Gras bei Bedarf umgesetzt werden kann.

Die Initiative zum Bau einer Biogasanlage könnte beispielsweise aus dem Bereich der Abfallwirtschaft kommen. Grund dafür ist ein Erlöszuschlag, der nach dem neuen EEG nur für Anlagen gewährt wird, die ausschließlich nachwachsende Rohstoffe vergären. Viele NAWARO-Anlagen verzichten seitdem auf die Mitvergärung von Abfällen.

Deshalb sind seit der Novelle des erneuerbare Energien Gesetzes vermehrt energiereiche biogene Abfälle, wie z.B. Altfette und Nahrungsreste auf dem Markt, für die ein Entsorgungsbedarf besteht und entsprechende Vergärungskapazitäten gesucht werden.

In solchen Anlagen scheint eine Zumischung von bis zu 20 Gewichtsprozent Frischgras oder Grassilage kein Problem zu sein. Es könnte sich demnach zukünftig die Möglichkeit bieten, den Rohstoff Gras zum Teil über freie Vergärungskapazitäten vorhandener Anlagen zur Erzeugung von Wärme und Strom Gewinn bringend mit zu nutzen.

Aus Sicht des Naturschutzes kann der Schluss gezogen werden, dass ausschließlich mit Gras betriebene Biogasanlagen bei entsprechender Weiterentwicklung der Anlagentechnik in Zukunft durchaus ein Potenzial für die Verwertung von Gras aus Naturschutzflächen darstellen können. Bei der Errichtung solcher Anlagen kann, wie die Erfahrungen mit anderen Biogasanlagen zeigen, auf die bestehenden landwirtschaftlichen Strukturen zurück gegriffen werden und somit auch die Wertschöpfung in der Landwirtschaft bleiben.

Einschränkend ist anzumerken, dass die Betreiber von Biogasanlagen den Einsatz von früh geschnittenem Gras auf Grund des geringeren Lignin-Gehaltes bevorzugen würden (siehe Tabelle 1-1), auf Naturschutzflächen jedoch in der Regel Gräser aus später Mahd anfallen.

## **5.2 Grasraffinerie**

Die Grundidee einer Grasraffinerie liegt in der stofflichen Verwertung des Rohstoffes Gras, indem dieser in einzelne Komponenten zerlegt und auf unterschiedlichen Wegen vermarktet werden kann. Die Herausforderung bei einer solchen Anlage liegt darin, alle für den wirtschaftlichen Betrieb notwendigen Arbeitsschritte zu optimieren und sinnvoll aufeinander abzustimmen. Dies betrifft u. a. die Rohstoffgewinnung mit einer hohen Grasqualität zu möglichst niedrigen Preisen, die Feinabstimmung und das technische Know How im eigentlichen Produktionsprozess, die richtige Einschätzung der jeweiligen Marktpotenziale und letztendlich die Gewinn bringende Vermarktung der Produkte. Ein wesentliches Bauteil der Grasraffinerie ist die integrierte Biogasanlage.

Biogasanlage und Grasraffinerie stellen in jedem Fall eine vorzügliche Symbiose dar. Die Biogasanlage würde den Energiehaushalt der Produktionsanlage decken, stofflich nicht verwertbare Schlämme, Abwässer und ungeeignete Grasanteile beseitigen bzw. zu einem gut verwertbaren Dünger umformen. Die Grasraffinerie würde ein idealer Abnehmer für die erzeugte Energie – und zwar sowohl der Strom- als auch der Wärmeezeugung darstellen. Bei

den meisten großen Biogasanlagen mangelt es sonst an hinreichenden Wärmeabsatzmöglichkeiten.

Für die Grasraffinerie sind die folgenden Produktionslinien näher untersucht und bewertet worden:

- die Produktion von Grasfasern als Einblasdämmstoff (Anlagen in Schaffhausen bzw. Brensbach)
- die Verwertung von Milchsäure (Futtermittelwerk in Selbelang)
- die Produktion von Dämmplatten aus Grasfasern (Anlage in Redange)

Da für die Ansätze der Milchsäureproduktion und der Herstellung von Dämmplatten nur wenige konkrete Informationen vorliegen, konnten diese nur in einem ersten Ansatz begutachtet und bewertet werden.

Die umfangreichsten Informationen und Praxiserfahrungen liegen zu der Produktion von Grasfasern als Einblasdämmstoff vor. Zu dieser Produktlinie sind daher alle in Kapitel 3.2 aufgeführten Berechnungsvarianten erstellt worden. Wenn man die Ergebnisse vergleicht, so ist festzustellen, dass bei einem angesetzten Erlös von 0,68 €/kg Grasfasern lediglich eine Variante ein positives Betriebsergebnis erzielt. Schon wenn für den Einblasfaserdämmstoff nur 0,65 €/kg oder weniger erhältlich sind, ist die Erlösbasis insgesamt als zu schwach zu beurteilen. Andererseits lässt sich die Toleranz etwas erhöhen, indem im konkreten Fall bestehende Einsparungsmöglichkeiten konsequent ausgenutzt werden. Dies hängt u. a. von einer guten Projektvorbereitung ab, bei der die Prozessbedingungen vorab im labor- oder halbertechnischen Maßstab erprobt werden. Die Sensibilität der Rohstoffkosten sowie der Erlöse bleibt in ihrer Wirkung auf das Betriebsergebnis dennoch sehr hoch. Zudem verursachen die umfangreichen Investitionen einer Grasraffinerie hohe Kapitalkosten. Zusammenfassend ist deshalb insgesamt von einem sehr hohen Betreiberrisiko auszugehen. Die Realisierung einer Grasraffinerie für Bremen kann nach diesem Ergebnis zur Zeit nicht empfohlen werden.

Für die stoffliche Verwertung von Gras ist es sinnvoll, zunächst die Erfahrungen aus Brensbach, Redange und Selbelang abzuwarten. Interessant könnte diese Art der Grasverwertung werden, wenn es tatsächlich gelänge, unter Praxisbedingungen zu einer wirtschaftlichen Zerlegung der Gräser zu verschiedenen gut vermarktbareren Endprodukten zu kommen und damit dem Begriff Grasraffinerie voll gerecht zu werden. Nach der Literatur und der im Rahmen der Machbarkeitsstudie vorgenommenen Marktanalyse zu urteilen besteht diesbezüglich noch ein erheblicher Spielraum.

Hier sollte der Kontakt zu den Akteuren in Brensbach, Redange und Selbelang weiter gehalten werden, um die Entwicklung dort intensiv mit zu verfolgen. Bei der erfolgreichen Umsetzung einer der Anlagen könnte dann in Bremen eine der nächsten Grasraffinerien entstehen. Allemal handelt es sich bei der Grasraffinerie um einen Ansatz, der das Nachhaltigkeitsprinzip in vielfältiger Weise wahr:

- Einsatz nachwachsender Rohstoffe,
- Einsparung fossiler Energien,
- Klimaschutz,

- Wirtschaftsbelebung,
- positive Arbeitsplatzeffekte,
- Beitrag zur Erhaltung einer Kulturlandschaft.

Sollte es zukünftig zum Bau einer Grasraffinerie kommen, so kann den Kalkulationen aus Kapitel 3.2 entnommen werden, dass dafür aus ökonomischen Erwägungen voraussichtlich eine auf die Größenordnung von rund 10.000 t/TS/a ausgelegte Anlage in Frage kommen wird. Die Dimension einer solchen Anlage und das geschätzte Investitionsvolumen, je nach Variante zwischen 7 und 14 Millionen €, entspricht einem großindustriellen Maßstab. Eine Investition aus dem landwirtschaftlichen Bereich setzt demnach voraus, dass sich die vor Ort ansässigen Betriebe in größeren wirtschaftlichen Einheiten, z. B. in Form von Genossenschaften oder anderen Kooperationsformen zusammen schließen.

Eine direkte Beteiligung der Landwirtschaft ist vor allem bei der Rohstoffproduktion und -zulieferung vorstellbar. Aus den praktischen Erfahrungen mit der Grasraffinerie in Schaffhausen lässt sich ableiten, dass ein potenzieller Betreiber aus Gründen des besseren Managements und der Qualitätssicherung daran interessiert sein wird, seine Rohstoffe von wenigen Zulieferern und in möglichst homogener Zusammensetzung geliefert zu bekommen. Die Betriebsstruktur in Bremen besteht jedoch aus einer Vielzahl einzelner Grünlandbetriebe, die zwangsläufig unterschiedliche Grasqualitäten produzieren. Dies könnte sich am Beispiel Bremens als Hemmnis für die Errichtung einer Grasraffinerie erweisen, wäre jedoch für andere Regionen ggf. günstiger zu beurteilen. Vorteilhaft für die Landwirtschaft wäre es demnach, mit der Errichtung einer Grasraffinerie möglichst große Erzeugergemeinschaften zu gründen. Diese könnten einen einheitlichen Qualitätsstandard sicher stellen und als direkte Ansprechpartner für den Betreiber einer Grasraffinerie fungieren.

Die industrielle Verarbeitung von Gras ist technisch anspruchsvoll und stellt hohe Anforderungen an den Rohstoff. Ein geringer Kräuteranteil, geringe Verschmutzungsgrade, eine homogene Artenzusammensetzung sowie ein optimaler (früher) Schnitzeitpunkt sind dabei die immer wieder angeführten Kriterien. Diese sprechen deutlich gegen eine Nutzung von Gras aus Naturschutzflächen, da das dort gewonnene Material den genannten Anforderungen nur begrenzt gerecht werden kann. Bei der im Bau befindlichen Grasraffinerie in Brensbach ist deshalb geplant, die Rohstoffgewinnung u. a. über den Feldgrasanbau (Anbau einzelner Grassorten auf Ackerstandorten) den genannten Qualitätsanforderungen anzupassen.

Sollte eine Grasraffinerie zukünftig trotzdem Mischqualitäten Gewinn bringend mit verarbeiten können, so wäre eine Wertschöpfungskette für Rohstoffe vom Grünland geschaffen, die auch eine dauerhafte Bewirtschaftung von Naturschutzflächen sicher stellen könnte. Die Entwicklung der Anlagentechnik sowie zugehöriger Produktlinien ist demnach aus Sicht des Naturschutzes in den nächsten Jahren auch unter diesen Aspekten aufmerksam zu begleiten.

### 5.3 Die Herstellung von Graspellets

Als eine weitere Nutzungsmöglichkeit wurde die Verarbeitung von Heu zu Pellets und deren Verwertung in Kleinf Feuerungsanlagen untersucht. Grundidee dabei ist, insbesondere mit den überständigen Gräsern aus Naturschutzflächen an die erfolgreiche Etablierung von Holzpellets am Markt anzuknüpfen. Damit tritt der nachwachsende Rohstoff Gras in Konkurrenz zu fossilen Brennstoffen wie Öl und Gas. Die Pelletnutzer legen sich mit ihrer Entscheidung für eine Graspelletheizung nicht zu eng fest, weil die am Markt vorhandenen Feuerungssysteme auch sehr gut für Holzpellets geeignet sind.

Ein großer Vorteil einer Pelletieranlage sind die im Vergleich zu Biogasanlage und Grasraffinerie geringen Investitionskosten, die eine Finanzierbarkeit und flexible Umsetzungschancen für den Verarbeitungsprozess in enger Verzahnung mit dem landwirtschaftlichen Betrieb erlauben. So könnte die Wertschöpfung bei den Landwirten vor Ort erhalten bleiben und als alternative Einkommensquelle für den Ersatz oder die Erweiterung von Betriebszweigen dienen.

Zudem kann eine Anlage bei gutem Management je nach Bedarf nur soviel Brennmaterial erzeugen, wie Absatz vorhanden ist bzw. wie Feuerungsgeräte für Gras- oder Strohpellets hinzukommen. Das abgeschöpfte Graspotenzial bleibt mit einer Pelletierungsanlage zudem noch so gering, dass in Bremen ohne weiteres Raum für eine große Biogasanlage oder eine Grasraffinerie mit integrierter Biogasanlage bleiben würde.

Im Bezug auf den Naturschutz könnten sich durch die Nutzung von Graspellets zahlreiche Synergieeffekte einstellen. Spät geschnittenes Gras kann als Heu geerntet werden und ist durch die fortgeschrittene Einlagerung von Lignin (Verholzung) von den Verbrennungseigenschaften her ggf. deutlich besser zu verwerten als früh geschnittenes Gras (siehe Kapitel 3.5). Die Trocknung des Grases auf der Fläche bietet demnach sowohl für die Verbrennung als auch für den Naturschutz Vorteile wie z.B. Rückzugsmöglichkeiten für Insekten und Amphibien direkt nach der Mahd.

### 5.4 Ausblick für eine Realisierung von Anlagen in Bremen

Die Empfehlung aus der Machbarkeitstudie lautet, die mit einer Grasraffinerie verbundenen Perspektiven fest im Auge zu behalten und sich dieser Technologie zunächst schrittweise anzunähern. Zur Zeit ist es nicht sinnvoll, unmittelbar in eine Realisierungsplanung überzugehen. Es sollten erst die praktischen Erfahrungen der zur Zeit entstehenden Anlagen in Brensbach und Redange sowie die weitere Entwicklung in Selbelang abgewartet werden.

Sollten sich Produktionsverfahren und Produkte dieser Raffinerien am Markt etablieren und wirtschaftlich erfolgreich sein, könnte sich die Anlagentechnik bei entsprechenden Rahmenbedingungen, wie z.B. einem adäquaten Flächenangebot, einem passenden Standort etc. auch auf Bremen übertragen lassen. Sollten die angestrebten Verfahren vorerst nicht zu einem wirtschaftlichen Durchbruch gelangen, wäre eine Analyse der Ursachen und eine Neuausrichtung notwendig. Eine intensive Forschung und Entwicklung im Bereich der Anlagentechnik einer Grasraffinerie sowie auf der Produktseite bietet die Möglichkeit, analog zur Biogastechnik in einigen Jahren zu ausgereiften Anlagen zu kommen.

Für mit Gras betriebene Biogasanlagen gilt es ebenfalls, die technische Entwicklung im Auge zu behalten. Hier könnte der nächste aktive Schritt zur Realisierung einer konkreten Anlage in der Entwicklung einer verbesserten Substratführung und -vermischung innerhalb der Anlagen liegen. Mittelfristig ergeben sich ggf. Chancen zu einer Mitvergärung von Gras z.B. in Anlagen zur Abfallvergärung. Bei der Neuerrichtung von Anlagen sollte die Option der Grasvergärung bereits mit berücksichtigt werden.

Eine kurzfristig realisierbare Nutzungsstrategie für Gras als nachwachsendem Rohstoff scheint über die energetische Verwertung in Form von Brennstoffpellets gegeben zu sein. Hier ergeben sich offensichtlich wirksame Synergieeffekte zwischen Naturschutz, Klimaschutz und der guten Einbindung in die vorhandenen landwirtschaftlichen Strukturen. Zudem stellen sich bei einer ersten Betrachtung die wirtschaftlichen Rahmenbedingungen und der Stand der Anlagentechnik so dar, dass Planung, Bau und wirtschaftlicher Betrieb solcher Anlagen sich als sinnvolle Investition in die Stärkung der Wertschöpfungskette aus der Feuchtgrünlandnutzung anbieten würden.

Damit könnte ein weiterer konkreter Schritt für die Entwicklung von ökonomisch und ökologisch sinnvollen Nutzungsalternativen für die Landwirtschaft, den Naturschutz und für die Erreichung von Klimaschutzzielen in Bremen getan werden, der eine Signalwirkung in andere Bundesländer hinein haben wird.