

ABGAL

## **Pflichtenheft Energiegrasfeuerung**

---

ausgearbeitet durch  
die Arbeitsgemeinschaft (ARGE) 'Energiegras'

**Jean-Louis Hersener**, Ingenieurbüro HERSENER, 8542 Wiesendangen  
**Dr. Fredy Dinkel**, CARBOTECH AG, 4051 Basel  
**Dr. Thomas Nussbaumer**, Verenum, 8006 Zürich

im Auftrag des  
**Bundesamtes für Energie**

März 1998

---

Schlussbericht

---

## Inhaltsverzeichnis

---

<b>VORWORT</b>	<b>5</b>
<b>1 EINLEITUNG</b>	<b>7</b>
1.1 Ausgangslage, Zielsetzung	7
1.2 Vorgehen	7
<b>2 ANFORDERUNGEN AN DIE BRENNSTOFFPRODUKTION</b>	<b>9</b>
2.1 Definition Energiegras, Landschaftspflegematerial	9
2.2 Anbau und von Energiegras, Anfall von Landschaftspflegematerial	9
2.3 Anbautechnik und Logistik	9
2.4 Verwertung von Biomasse aus Naturschutz- und Landschaftspflegeflächen	10
<b>3 PFLICHTENHEFT ENERGIEGRASFEUERUNG</b>	<b>11</b>
3.1 Einleitung technische Anforderungen	11
3.2 Anforderungen an die Wärmeversorgung	12
3.3 Anforderungen für Energiegrasfeuerungen	12
3.2 Zusammensetzung von Energiegras	13
3.5 Anforderungen an Rost, Wärmetauscher und Abgasreinigung	16
3.5.1 Anforderungen an den Verbrennungsrost und Feuerraum	16
3.5.2 Anforderungen an den Wärmetauscher	16
3.5.3 Anforderungen an die Abgasentstaubung	17
3.5.4 Anforderungen an die Abgasentstickung	17
3.6 Wirtschaftlichkeit	17
<b>4 ANFORDERUNG AN DIE PILOTANLAGE AUS ÖKOLOGISCHER SICHT</b>	<b>21</b>
4.1 Einleitung	21

<b>4.2 Ökologische Relevanz der Ergebnisse</b>	<b>23</b>
<b>4.3 Toxische Emissionen in die Luft</b>	<b>26</b>
<b>4.4 Weitere relevanten Emissionen</b>	<b>27</b>
<b>4.5 Relevanz der Transporte</b>	<b>29</b>
<b>4.6 Anforderungen an einen Standort aus ökologischer Sicht</b>	<b>30</b>
<b>5 REGIONALER BIOMASSEANFALL UND STAND DER VERWERTUNG</b>	<b>31</b>
<b>5.1 Umfrage</b>	<b>31</b>
<b>5.2 Auswertung des Fragebogens</b>	<b>31</b>
<b>6 SCHLUSSFOLGERUNGEN</b>	<b>33</b>
<b>7 ZUSAMMENFASSUNG</b>	<b>35</b>
<b>8 LITERATUR</b>	<b>37</b>
<b>ANHANG 'FRAGEBOGEN'</b>	<b>39</b>

## **Vorwort**

Für die freundliche Unterstützung bei der Ausarbeitung dieser Studie möchten wir uns bei allen Beteiligten herzlich bedanken. Namentlich hervorheben möchten wir das Bundesamt für Energie, die Fachstellen für Ackerbau, Energie sowie Natur- und Landschaftsschutz der Kantone Aargau, Appenzell Inner- und Ausserrhoden, Basel Stadt, Basel Land, Bern, Luzern, St. Gallen, Schaffhausen, Solothurn, Thurgau und Zürich.



# 1 Einleitung

## 1.1 Ausgangslage, Zielsetzung

Im Naturschutz, der Landschaftspflege wie auch in der Landwirtschaft fällt Biomasse an, die, sofern sie nicht über das Tier verwertet wird, für die energetische Nutzung zur Verfügung steht. Mit den technischen, ökologischen und ökonomischen Aspekten hat sich das Projekt 'Energiegras/Feldholz' befasst. Eine Schlussfolgerung dieses Forschungsprojektes, das mit Hilfe des Bundesamtes für Energiewirtschaft von 1992 bis 1996 durchgeführt wurde, ist die praktische Umsetzung der gewonnenen Erkenntnisse mittels einer Energiegras-Feuerung.

Der vorliegende Bericht soll ein erster Schritt in Richtung Umsetzung sein und mithelfen, einen Standort für eine Pilotanlage zu finden.

Ziel ist es, die wichtigsten Kriterien bezüglich Brennstoffproduktion, Ökologie und Technik nach den neuesten Erkenntnissen zu vervollständigen bzw. zusammenzufassen. Zielpublikum sind zukünftige Betreiber, Planer, Feuerungshersteller und Entscheidungsträger, die an der Realisierung einer solchen Anlage beteiligt sind.

## 1.2 Vorgehen

Der vorliegende Bericht basiert auf Erfahrungen aus dem Projekt Energiegras/Feldholz (Schlussbericht 'Energiegras/Feldholz' zuhanden des Bundesamtes für Energiewirtschaft, J.-L. Hersener et al., 1996), aktuellen Erkenntnissen und auf einer Umfrage, welche bei ausgewählten Mittelland-Kantonen durchgeführt wurde. Die Umfrage ist weder repräsentativ noch statistisch abgesichert, die Auswahl der Kantone wurde aus Kostengründen eingeschränkt. Sie spiegelt jedoch die Meinung der Experten aus den befragten Regionen wieder. Das Ergebnis dient der *groben* Abschätzung der Bedürfnisse der einzelnen Kantone bzw. des allfälligen Biomassepotentials, welches unter den heutigen ökonomischen und politischen Bedingungen energetisch nutzbar ist.



## 2 Anforderungen an die Brennstoffproduktion

### 2.1 Definition Energiegras, Landschaftspflegematerial

Unter dem Begriff 'Energiegras' versteht man im Sinne des Energiegras-Projektes *landwirtschaftlich* angebaute Gräser zur energetischen Nutzung. Im Mittelpunkt stehen Grünlandflächen insbesondere extensive sowie wenig intensive Wiesen. Chinaschilf und einheimische Gräser auf Ackerflächen werden ebenfalls zum Energiegras gezählt.

Im weiteren Sinn fallen auch nicht landwirtschaftlich angebaute Gräser, z.B. von Naturschutzflächen oder aus der Landschaftspflege unter den Begriff Energiegras, sofern sie energetisch genutzt werden.

### 2.2 Anbau und von Energiegras, Anfall von Landschaftspflegematerial

Der landwirtschaftliche Anbau von Energiegras erfolgt bevorzugt auf Grünland als Heuwiesen, die einen wichtigen Beitrag zur Landschaft und zur Artenvielfalt leisten. Auf Ackerland sind Chinaschilf sowie Reinsaaten einheimischer Gräser möglich. Aufgrund der hohen Nutzungskosten ist der Anbau nur dort wahrscheinlich, wo die Veredelung übers Tier unter heutigen Bedingungen nicht möglich ist (z.B. viehlose Betriebe, marginale Futterflächen, Naturschutzgebiete, Böschungen, Riede, etc.) Der gezielte Anbau von Pflanzen für die energetische Nutzung ist unter den heutigen landwirtschaftlichen Bedingungen nicht wirtschaftlich.

Im Mittelpunkt stehen somit Grünlandflächen mit geringem Futterwert, die primär dem ökologischen Ausgleich dienen bzw. durch Pflege vor der Vergandung geschützt werden sollen. Diese Flächen nehmen aufgrund der gesetzlichen Rahmenbedingungen (Agrarpolitik 2002) ständig zu.

### 2.3 Anbautechnik und Logistik

Die Produktion bzw. der Anbau von landwirtschaftlicher Biomasse auf Grünland erfolgt mit konventioneller Technik wie in der Futterproduktion. Der Schnittzeitpunkt wird meist durch Auflagen vorgegeben, bei wenig intensiven bzw. extensiven Wiesen kann der erste Schnitt frühestens am 15. Juni ausgeführt werden.

Die Düngung darf nur sehr zurückhaltend (wenig intensiv) bzw. gar nicht (extensiv) erfolgen.

Die Ernte erfolgt bei Gräsern mit den aus der Landwirtschaft bekannten Maschinen und Geräten.

Die Trocknung kann ausschliesslich auf dem Feld (Bodenheu) erfolgen. Zusätzliche Heutrocknung wie beim Futterbau ist nicht nötig, da diese für die Brennstoffeigenschaften keinen Vorteil liefert. Auch ein 'Verregnen' des Erntegutes hat, abgesehen von einem mikrobiellen Abbau keinen Nachteil auf die Verbrennungseigenschaften. Im Gegenteil, gewisse Verbindungen (Chloride, Kalium etc.) können dadurch ausgewaschen werden und somit die Verschlackungstendenzen im Feuerraum verringern. Wichtig für Lagerfähigkeit ist das Erreichen eines hohen Trockensubstanzgehaltes (TS) von über 85%.

Die Aufbereitungform hängt stark von der Feuerung ab. Grundsätzlich sind zwei Aufbereitungsformen möglich: Ballen und Schüttgut (z.B. Pellets).

Bei der Ballenlinie erfolgt die Brennstoffbergung direkt mit einer Ballenpresse. Die Quaderballen oder Grossballenpressen sind in der Landwirtschaft weit verbreitet. Bei der Schüttgutlinie muss das Material nach der Bergung (Ballenpresse oder Ladewagen) in einer stationären Anlage zu Pellets gepresst werden. Diese Pelletpressen sind in Kombination mit Grastrocknungsanlagen ebenfalls weit verbreitet in der Schweiz. Der zusätzliche Energiebedarf für die Pelletierung beläuft sich auf höchstens 5% vom Heizwert der Biomasse.

Soll Chinaschilf energetisch genutzt werden, erfolgt die Ernte bei der Ballenlinie entweder mit einer selbstfahrenden oder gezogenen Ballenpresse. Für die Schüttgutlinie kann bei geringen Transportdistanzen ein selbstfahrender Häcksler zu Einsatz kommen. Die Transportdistanz wird durch die geringe Schüttdichte ( $80\text{kg/m}^3$ ) jedoch stark eingeschränkt. Sinnvoller ist beim Einsatz der Schüttgutlinie, das Material in Ballen in eine stationäre Pelletieranlage zu führen.

Die Lagerung des Brennstoffes kann entweder bei der Feuerungsanlage oder beim Landwirt erfolgen. Um die Brennstoffkosten möglichst gering zu halten, ist die Lagerung beim Landwirt und die zeitgerechte (just in time) Lieferung vorzuziehen [Hersener, J.-L., 1997].

Der Transport kann ebenfalls durch die Landwirte erfolgen, da die zeitliche Belastung auf den Landwirtschaftsbetrieben während der Heizperiode geringer ist.

## **2.4 Verwertung von Biomasse aus Naturschutz- und Landschaftspflegeflächen**

Für die Ernte dieser Biomasse gilt grundsätzlich das gleiche wie bei landwirtschaftlichen Materialien. Die Schwierigkeit liegt jedoch bei der Trocknung und der damit verbundenen Lagerfähigkeit, da die Ernte oftmals Ende Herbst bzw. Ende Winter erfolgt. Hier muss von Fall zu Fall entschieden werden, wie der erforderliche TS-Gehalt erreicht werden kann. Denkbar sind Verfahren wie die direkte Verbrennung ohne Zwischenlagerung, Mischung mit trockenem Material und geringe Nachrocknung etc.

## 3 Pflichtenheft Energiegrasfeuerung

### 3.1 Einleitung technische Anforderungen

Eine Feuerungsanlage zur energetischen Nutzung von Energiegras muss in der Lage sein, Halmgutbrennstoffe vollautomatisch und mit hoher Zuverlässigkeit zu verwerten, einen hohen Wirkungsgrad zu erreichen und die Emissionsgrenzwerte der Luftreinhalteverordnung (LRV) sicher einzuhalten. Die zu verarbeitenden Brennstoffe sind abhängig von regionalen Verhältnissen. Zudem kommen verschiedene Ernte- und Aufbereitungsverfahren zum Einsatz. In der Schweiz stehen vor allem Heu von wenig intensiv bewirtschafteten Wiesen und Naturschutzflächen, Hanf, verschiedene Reinsaaten und Chinaschilf als Brennstoffe zur Diskussion. Für eine Verwertung in Feuerungsanlagen werden die Brennstoffe entweder in Ballenform angeliefert oder zu einem förderbaren Schüttgut, zum Beispiel Briketts, aufbereitet.

Für eine ausgewählte Feuerungsanlage muss in der Planungsphase die Form des Brennstoffs festgelegt werden. Bei Grossanlagen (ab 2 bis 3 MW<sub>th</sub>) ist der Einsatz von Ballen vorteilhaft, da dann die Aufbereitung zu Pellets entfällt. Es ist jedoch zu prüfen, ob die Aufbereitung zu Ballen für die zur Verfügung stehenden Brennstoffe möglich ist, da eine herkömmliche Ballenaufbereitung bei sehr starken, mehrjährigen Halmgütern wie Chinaschilf problematisch sein kann. Bei kleineren Anlagen führt eine vollautomatische Beschickungsanlage für Ballen zu unverhältnismässig hohen Investitionen, weshalb eine Feuerungsanlage für Schüttgutbrennstoffe vorteilhaft ist. Bei schwachen Halmgütern wie Wiesengras ist dann eine Pelletierung notwendig, während für mehrjähriges Chinaschilf eine Aufbereitung mit einem Häcksler geprüft werden kann. Allerdings ist zu beachten, dass Pellets eine mehrfach höhere Schüttdichte aufweisen als Häcksel von Chinaschilf. Die Brennstoffwahl sollte sich deshalb auf eine der beiden Brennstoffformen beschränken, oder es ist durch entsprechenden Mehraufwand bei Beschickung und Regeltechnik ein Betrieb mit unterschiedlicher Schüttdichte zu ermöglichen. Eine Lagerung von halmgutartigen Brennstoffen setzt in der Regel einen geringen Wassergehalt voraus, da sonst Fäulnis auftreten kann. Aus diesem Grund sind die Halmgutbrennstoffe in der Regel trocken, d.h. mit einem Wassergehalt < 15 Gew.-%. Die Hauptprobleme mit Halmgutbrennstoffen im Vergleich zu naturbelassenem Energieholz betreffen folgende Bereiche:

1. Verschlackung der Asche auf dem Rost und Ascheanbackungen im Feuerraum, was durch die hohen Temperaturen infolge des trockenen Brennstoffs noch unterstützt wird.  
Massnahmen: Wasserkühlung für Rost und Feuerraum und evtl. weitere Massnahmen.
2. Deutlich höherer Aschegehalt und dadurch erhöhte Partikelfracht.  
Massnahmen: Effizienter Asche- und Brennstofftransport auf Rost.

3. Hoher Brennstoffstickstoffgehalt führt zu erhöhten Stickoxidemissionen.

Massnahmen: Für einen Zielwert von  $250 \text{ mg/Nm}^3$  bei 11 Vol.-%  $\text{O}_2$  sind sekundäre  $\text{NO}_x$ -Minderungsmassnahmen notwendig. Primärmassnahmen durch Luftstufung sind erschwert durch die Problematik der Verschlackung, welche durch die bei Luftstufung erzielten Spitzentemperaturen noch verstärkt wird.

4. Hohe Gehalte an Schwefel, Chlor und Kalium führen zu hohen Staubemissionen bedingt durch Salze, HCl-Emissionen im Abgas sowie zu Ablagerungen in Brennkammer und Kessel. Massnahmen: hohe Strömungsgeschwindigkeiten im Wärmetauscher und automatische Abreinigung der Kesselzüge, Feinstaubabscheidung mit Gewebe- oder Elektrofilter sowie mit HCl-Abscheidung durch Additive.

### 3.2 Anforderungen an die Wärmeversorgung

- Leistungsbereich der Energiegrasfeuerung mindestens  $1 \text{ MW}_{\text{th}}$
- Betrieb mit mindestens 2000 Vollbetriebsstunden pro Jahr. Zur Verbesserung der Wirtschaftlichkeit ist vorzugsweise ein Betrieb bei über 3000 Vollbetriebsstunden anzustreben, zum Beispiel als Grundlastfeuerung in einer bivalenten Anlage
- Keine raschen Leistungsschwankungen (ohne Speicher ungeeignet zum Beispiel für Anwendungen wie Pressenbeheizung).
- Gute Zufahrtmöglichkeiten für Traktor mit Ladewagen sowie Lastwagen.

### 3.3 Anforderungen für Energiegrasfeuerungen

- Leistungsbereich von  $1 - 5 \text{ MW}_{\text{th}}$
- Lastbereich variabel von 30% – 100% der Nennlast
- Emissionsgrenzwerte:
  - CO <  $250 \text{ mg/Nm}^3$  bei 11 Vol.-%  $\text{O}_2$
  - $\text{NO}_x$  <  $250 \text{ mg/Nm}^3$  bei 11 Vol.-%  $\text{O}_2$  (angegeben als  $\text{NO}_2$ )
  - Staub <  $150 \text{ mg/Nm}^3$  bei 11 Vol.-%  $\text{O}_2$
  - $\text{SO}_2$  <  $250 \text{ mg/Nm}^3$  bei 11 Vol.-%  $\text{O}_2$
  - HCl <  $30 \text{ mg/Nm}^3$  bei 11 Vol.-%  $\text{O}_2$
  - Pb + Zn <  $2 \text{ mg/Nm}^3$  bei 11 Vol.-%  $\text{O}_2$
  - Cd <  $0.2 \text{ mg/Nm}^3$  bei 11 Vol.-%  $\text{O}_2$
- C-Gehalt der festen Rückstände:
  - Rostasche < 1 Gew.-%
  - Zyklon- und Filterasche < 5 Gew.-%.

- Feuerungstechnischer Wirkungsgrad > 90%
- Luftüberschuss < 2
- Abgastemperatur < 150°C
  
- Anlagenverfügbarkeit > 98% (Silo, Beschickung, Feuerung, Kessel, Abgasreinigung)
- Kesselreinigung maximal 1 x pro Woche (mindestens 100 Betriebsstunden vor Reinigung)
- Personalaufwand für Betrieb und laufenden Unterhalt der Anlage maximal 1/2 Arbeitstag pro Woche für 1 MW-Anlage bzw. maximal 1 Arbeitstag pro Woche für 5 MW-Anlage
- Sicherheit gewährleistet (bewegte Teile, Brandschutzvorschriften usw.)
  
- Brennstoff: Eigenschaften und Zusammensetzung von Energiegras gemäss nachfolgender Beschreibung (Kapitel 3)
  
- Für Ballenfeuerungen:  
 Ballengrösse 1.4 x 1.4 x 2.5 m, Schüttdichte der Ballen: 80 – 120 kg/m<sup>3</sup>  
 Wassergehalt < 15 Gew.-%
  
- Für Schüttgutfeuerungen:  
 Briketts:                    Abmessungen: Durchmesser 50 – 70 mm, Länge 1 – 10 cm  
                                   Schüttdichte: 400–500 kg/m<sup>3</sup> (bei einer Dichte von 700–800 kg/m<sup>3</sup>)  
                                   Wassergehalt < 15 Gew.-%  
 Häckselgut (Option):    Abmessungen: ca. 10 x 10 x 40 mm  
                                   Schüttdichte 50 – 100 kg/m<sup>3</sup>.  
                                   Wassergehalt < 15 Gew.-%  
                                   Bemerkung: Neigt zu Brückenbildung

### 3.2 Zusammensetzung von Energiegras

Um Fäulnis zu vermeiden, dürfen Gras, Miscanthus und ähnliche Brennstoffe für die Lagerung einen Wassergehalt von ca.15 Gew.-% nicht überschreiten. Es ist somit von einem trockenen Brennstoff mit hohen Verbrennungstemperaturen auszugehen. Durch die Volumenkompaktierung weisen Grasbriketts im Vergleich zu Waldhackschnitzeln eine deutlich höhere Energiedichte pro Schüttkubikmeter auf. Die Bandbreite der Zusammensetzung von Holz, Gras, Miscanthus und Stroh zeigt Tabelle 1. Messungen an Feuerungen haben gezeigt, dass bei der Verbrennung von Gras und Miscanthus Partikelkonzentrationen nach Zyklon zwischen 300 mg/Nm<sup>3</sup> – 1200 mg/Nm<sup>3</sup> (bei 11 Vol.-% O<sub>2</sub>) auftreten, so dass zur Einhaltung des Staubgrenzwertes eine zusätzliche Partikelab-

scheidung notwendig ist. Als Orientierungshilfe zeigt Tabelle 2 typische Abgaswerte bei der Verbrennung nach einem Multizyklon und Abbildung 1 das qualitative Verhalten der Komponenten Kalium, Chlor und Schwefel in einer Feuerungsanlage.

Tabelle 1: Brennstoffeigenschaften und Zusammensetzung von "Energiegras". Aufgeführt sind die schwierigsten zu erwartenden Bedingungen für Heu, Chinaschilf und ähnliche Brennstoffe, also z.B. maximaler Stickstoffgehalt und minimale Erweichungstemperatur. \* bestimmt nach DIN 53170

Brennstoffkenngrösse	Einheit	Energiegras
Aschegehalt	[Gew.-%]	< 10
Wassergehalt	[Gew.-%]	5 – 20
Heizwert $H_u$	[MJ/kgatro]	15 – 18
Sinterbeginn*	[°C]	> 800
Erweichungstemperatur*	[°C]	> 850
Halbkugelpunkt*	[°C]	> 1000
Fliesspunkt*	[°C]	> 1100
N	[Gew.-%]	< 4
Summe (K, Cl, S)	[Gew.-%]	< 5
S	[Gew.-%]	< 0.5
Cl	[Gew.-%]	< 1.5
K	[Gew.-%]	< 3
Si	[Gew.-%]	< 3
Ca	[Gew.-%]	< 1
Pb	[ppm]	< 5
Cd	[ppm]	< 0.2
Cu	[ppm]	1,9
Mo	[ppm]	< 0.2
Hg	[ppm]	< 0.05
Zn	[ppm]	< 100

Tabelle 2: Typische Werte der Abgaszusammensetzung aus der Verbrennung nach Multizyklon

Brennstoffkenngröße	Einheit	Energiegras
Staubemissionen	[mg/Nm <sup>3</sup> ] bei 11 Vol.-% O <sub>2</sub>	300 – 1500
NO <sub>x</sub>	[mg/Nm <sup>3</sup> ] bei 11 Vol.-% O <sub>2</sub>	250 – 800
HCl	[mg/Nm <sup>3</sup> ] bei 11 Vol.-% O <sub>2</sub>	10 – 150
SO <sub>2</sub>	[mg/Nm <sup>3</sup> ] bei 11 Vol.-% O <sub>2</sub>	< 100
CO (abhängig von Verbrennungsbedingungen)	[mg/Nm <sup>3</sup> ] bei 11 Vol.-% O <sub>2</sub>	< 100
Summe Pb + Zn für Gesamtstaub < 150 mg/Nm <sup>3</sup>	[mg/Nm <sup>3</sup> ] bei 11 Vol.-% O <sub>2</sub>	< 2
Cd für Gesamtstaub < 150 mg/Nm <sup>3</sup>	[mg/Nm <sup>3</sup> ] bei 11 Vol.-% O <sub>2</sub>	< 0.2

\* Ablagerung, Kondensation, Kristallisation

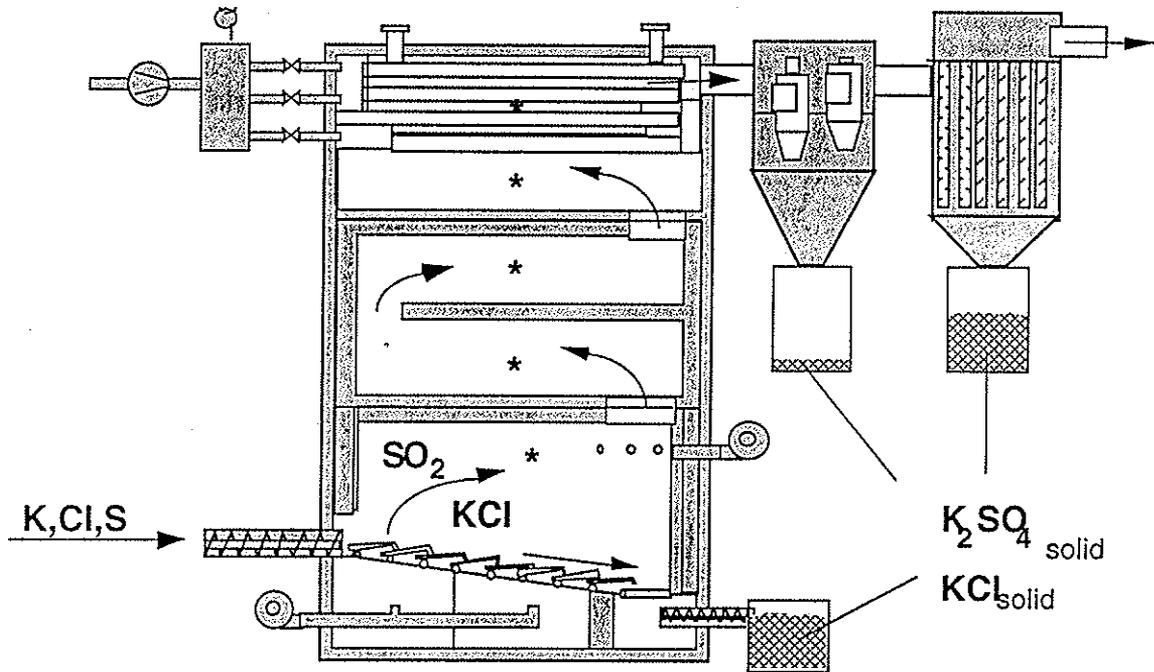


Abbildung 1: Pfad von Kalium, Chlor und Schwefel im Brennstoff in der Feuerungsanlage.

### **3.5 Anforderungen an Rost, Wärmetauscher und Abgasreinigung**

#### **3.5.1 Anforderungen an den Verbrennungsrost und Feuerraum**

Zur Auslegung von Rostfeuerungen für Energiegras können aufgrund der bisherigen Erfahrungen folgende Mindestanforderungen abgeleitet werden:

- Gleichmässige Beschickung des Brennstoffs ohne Rückbrandgefahr
- Homogenes Brennstoffbett auf dem Rost mit geringer Schichtdicke (einige cm)
- Gleichmässige Luftverteilung im Brennstoffbett
- Die Versinterungen müssen vom Bewegtrost erfasst und aus dem Brennraum herausgefördert werden. Dazu dürfen sie eine kritische Grösse nicht überschreiten.

Die Asche darf keinen Temperaturspitzen ausgesetzt sein, die durch lokalen Luftzutritt oder durch unzulässig starke Rückstrahlung der Flamme auf die auf dem Brennstoffbett liegende Asche auftreten können. Daraus ergeben sich folgende weiteren Massnahmen für Feuerung und Betrieb:

- Ungestörter Materialtransport auf dem Rost ohne Totzonen und kontinuierlicher Abtransport der Asche sowie allfälliger lokaler Versinterungsstücke
- Stetes Bewegen des Brennstoff-/Aschebetts zur Verhinderung von lokalen Versinterungserscheinungen und lokalen Luftdurchbrüchen im Brennstoffbett
- Über den ganzen Rost gleichmässig verteilte Luftzuführung
- Geeignetes Grössenverhältnis der Rostelemente zur Brennstoffbetthöhe
- Ausreichende Rostlänge
- Sekundärluftzugabe örtlich von Glutbett getrennt (gestufte Verbrennung)

#### **3.5.2 Anforderungen an den Wärmetauscher**

Bei der Halmgutverbrennung muss voraussichtlich ein signifikanter Anteil der Energie bereits im Feuerraum und allenfalls in der Nachbrennkammer abgeführt werden. Der restliche Teil der Wärme wird in der Regel in einem Rauchrohrkessel genutzt, wobei liegende und stehende Kessel zur Anwendung kommen. Bei der Verbrennung von Halmgütern werden im Wärmetauscher Salze abgelagert, welche innert kurzer Zeit einen Belag bilden. Um eine hohe Anlagenverfügbarkeit und hohe Wirkungsgrade zu erzielen, muss dieser Belag während des Feuerungsbetriebs automatisch abgereinigt werden. Dazu kommen Systeme mittels Druckstossabreinigung mit Pressluft und abrasive Abreinigung zum Beispiel mit Kugelregen zum Einsatz.

### **3.5.3 Anforderungen an die Abgasentstaubung**

Bei der Verbrennung von Halmgütern ist mit hohen Staubfrachten zu rechnen. Da sich die Kristalle erst in der Gasphase bilden, entsteht ein feiner, hygroskopischer Staub. Ein Zyklon wird in der Regel zur Vorabscheidung und gegen Funkenflug eingesetzt. Zur Feinabscheidung kommen Elektrofilter, Gewebefilter und Gewebefilter mit Additivzudosierung zur HCl-Abscheidung zum Einsatz. Bei Strohfeuerungen werden bisher mehrheitlich Gewebefilter eingesetzt. Da die Abgasfeuchtigkeit mit den Salzen eine klebrige, pastöse Masse bilden kann, darf eine minimale Filtertemperatur nicht unterschritten werden.

### **3.5.4 Anforderungen an die Abgasentstickung**

Ausgehend von Rohgaswerten zwischen 250 und 800 mg/Nm<sup>3</sup> muss durch geeignete Sekundärmassnahmen ein Grenzwert von 250 mg/Nm<sup>3</sup> sicher gewährleistet werden können. Der Betrieb der Abgasentstickung darf dabei durch die aus der Energiegrasverbrennung herrührenden Salzverbindungen nicht behindert werden. Im weiteren ist durch geeignete Einbindung in die Anlage zu verhindern, dass ein signifikanter zusätzlicher Energieverlust durch die Abgasentstickung resultiert. Bei Anwendung eines katalytischen Abreinigungsverfahrens bedeutet dies, dass bei einer Katalysatortemperatur von wesentlich über 150°C ein Wärmetauscher nach dem Katalysator nachzuschalten ist.

## **3.6 Wirtschaftlichkeit**

Da der technische Aufwand für Grasfeuerungen grösser ist als für Holzfeuerungen, ist mit entsprechend höheren (40-70%) Investitionskosten zu rechnen. Bei gleichem Brennstoffpreis ist deshalb für Grasfeuerungen mit höheren Wärmegestehungskosten zu rechnen oder um mit Gras gleiche Wärmegestehungskosten wie für Holz zu erzielen, muss für Gras ein niedrigerer Brennstoffpreis eingesetzt werden. Die entsprechenden Zahlen sind in Tabelle 3 für das Beispiel einer monovalenten Einkesselanlage mit 2000 Vollbetriebsstunden dargestellt. Für Holz ist dabei ein Brennstoffpreis von 4,25 Rp./kWh eingesetzt, was dem 1995 ausgewiesenen Mittelwert für Laubholzschnitzel von Fr. 40.-/Sm<sup>3</sup> entspricht. Der Unterschied zwischen Grasballen und -pellets ergibt sich durch die Zusatzkosten von rund Fr. 110.-/t für die Pelletierung, was in Tabelle 4 dargestellt ist. Die genauen Angaben zur Wirtschaftlichkeitsberechnung sind in [Nussbaumer, 1997] aufgeführt.

Tabelle 3: Vergleich der Investitions- und Wärmegestehungskosten einer monovalenten Einkesselanlage für Holz, Graspellets und Grasballen mit den Brennstoffkosten gemäss obiger Tabelle. In den letzten Zeilen ist der Äquivalenzwert von Gras vor und nach der Pelletierung angegeben, welcher für eine Grasfeuerung die gleichen Wärmegestehungskosten wie für eine Holzfeuerung ergibt.

Brennstoff		Holz			Gras Ballen			Gras Pellets		
		1	2	4	1	2	4	1	2	4
Anlagengrösse (Kesselleistung)	[MW <sub>th</sub> ]	1	2	4	1	2	4	1	2	4
Investitionskosten für Wärmerezeuger und Gebäude	[kFr.]	779	991	1352	1302	1660	2283	1088	1422	2014
Kapitalkosten	[Rp./kWh]	3,50	2,20	1,51	6,10	3,90	2,69	4,94	3,24	2,30
Brennstoffkosten	[Rp./kWh]	6,07	6,07	6,07	6,07	6,07	6,07	9,39	9,39	9,39
Betriebsnebenkosten	[Rp./kWh]	2,00	1,35	0,91	3,87	2,48	1,71	3,09	2,04	1,46
Wärmegestehungskosten ab Heizwerk	[Rp./kWh]	11,6	9,6	8,5	16,0	12,5	10,5	17,4	14,7	13,2
Äquivalenzwert von Gras bei Wärmegestehungskosten wie Holz Grasballen bzw. vor Pelletierung Graspellets	[Fr./t] [Fr./t]				46,-	92,-	117,-	-3,- 107,-	21,- 131,-	33,- 143,-

Tabelle 4: Brennstoffpreis für Holz und Gras

Brennstoffpreis	Holz	Grasballen	Graspellets
Preis in Fr./Sm <sup>3</sup> bzw. Fr./t	40.- Fr./Sm <sup>3</sup> für Laubholz	173.- Fr./t	Gras 173.- Fr./t Pelletierung 110.- Fr./t = 283.- Fr./t
Brennstoffpreis in Rp./kWh	4,25	4,25	6,57

Die Abschätzungen der Wirtschaftlichkeit von Grasfeuerungen zeigen folgende Tendenzen:

- Bei einer Kesselleistung von 1 MW<sub>th</sub> sind die Wärmegestehungskosten für eine Pelletfeuerung rund 9 % höher als für eine Ballenfeuerung. Bei 2 MW<sub>th</sub> sind sie rund 18 % und bei 4 MW<sub>th</sub> rund 26 % höher. Bei Anlagen mit 1 MW<sub>th</sub> Leistung kann somit der Bau einer Schüttgutfeuerung sinnvoll sein, da die Schüttgutfeuerung bei Bedarf auch mit

Holzschnitzeln mit niedrigem Wassergehalt betrieben werden kann. Bei Anlagen ab 2 MW<sub>th</sub> ist aus Kostengründen eine Ballenfeuerung vorzuziehen.

- Bei Brennstoffkosten für Holz und Gras (ohne Pelletierung) von 4,25 Rp./kWh sind die Wärmegestehungskosten für Grasfeuerungen mit Ballen rund 25 % – 40 % bzw. mit Pellets rund 50 % – 55 % höher als für Holzfeuerungen.



## 4 Anforderung an die Pilotanlage aus ökologischer Sicht

### 4.1 Einleitung

Im Rahmen des Projektes "Energiegras/Feldholz" [Dinkel, F. et al, 1997] wurde abgeklärt, ob es aus ökologischer Sicht wünschbar ist, wenig intensiv angebaute nachwachsende Rohstoffe (NWR), im speziellen Gräser und Feldholz, energetisch zu nutzen und damit den Verbrauch an nicht erneuerbaren Energieträgern (Erdöl) zu reduzieren. Der Vergleich wurde jeweils für 1 ha angebaute Fläche durchgeführt und umfasst sämtliche Prozesse vom Anbau der Gräser und Hölzer inklusive der benötigten Hilfsstoffe und Infrastrukturen bis zur Gewinnung der Energie. Es wurden verschiedene Anbaumöglichkeiten und die Konversionsarten Verbrennung und Vergasung untersucht. Dabei hat es sich gezeigt, dass durch die energetische Nutzung von Gräsern durch Verbrennung bezüglich verschiedener Aspekte relevante Reduktionen der Umweltbelastung erreicht werden können (s. Abb. 2). Aufgrund dieser Vorteile und da im Gegensatz zur Vergärung in der Schweiz noch keine weitergehenden praktischen Erfahrungen bei der Verbrennung von Gräsern bestehen, wurde beschlossen, eine Pilotanlage zur Verbrennung von Gräsern zu realisieren. Im Folgenden wird abgeklärt, auf welche Aspekte bei der Standortwahl Rücksicht genommen werden muss. Zu diesem Zweck wird auf die folgenden Varianten eingegangen:

- Variante 1: Anbau extensive Wiese, Verbrennen des Grases zur Wärmegewinnung
- Variante 2: Anbau extensive Wiese (Futter), Wärmeerzeugung durch Heizöl
- Variante 3: Anbau mittel intensive Wiese (Futter), Wärmeerzeugung durch Heizöl

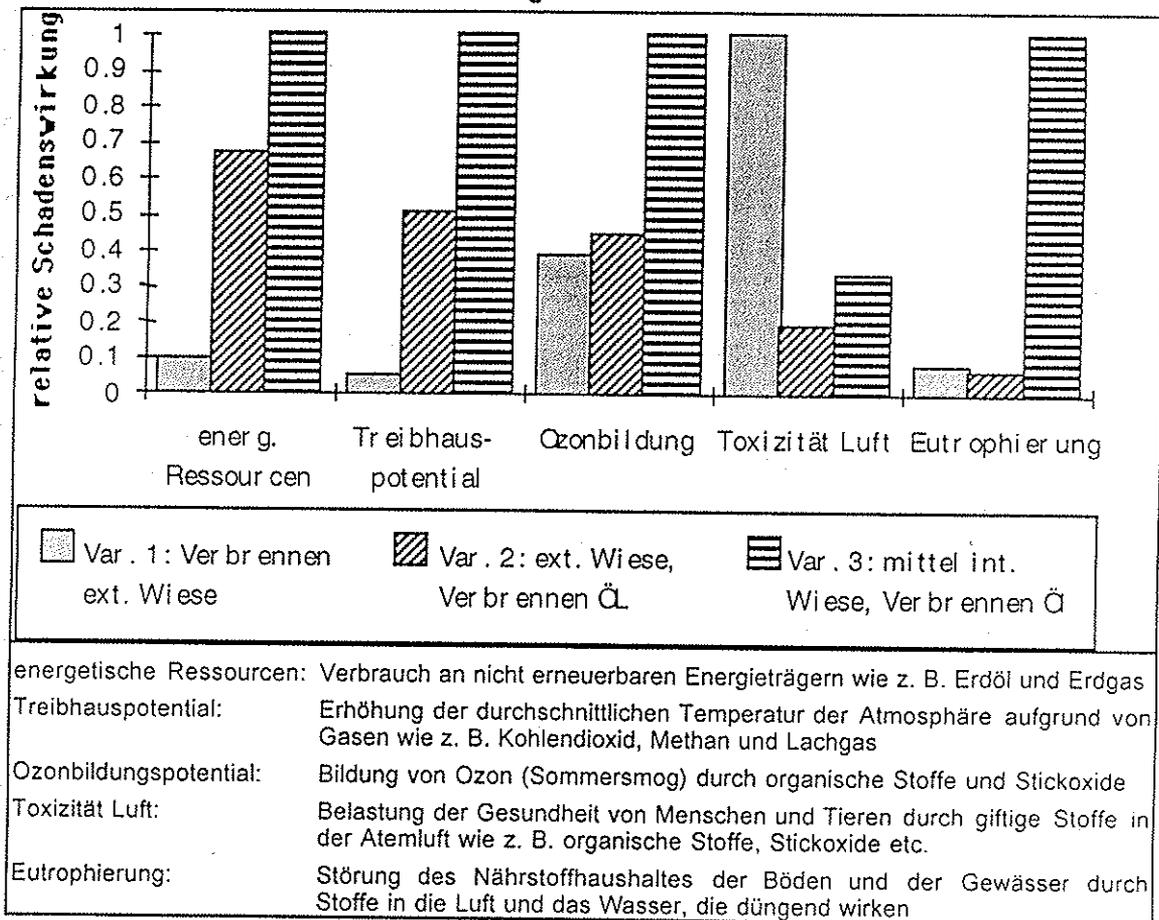
Die 3. Variante stellt dabei im wesentlichen die heute gültige Praxis dar. Die 2. Variante zeigt den Effekt der Extensivierung der Landwirtschaft auf, während die 1. Variante zusätzlich die Einsparung an fossilen Brennstoffen anstrebt. Vor dem Hintergrund der politischen Absichtserklärung, Überschüsse zu reduzieren und die Landwirtschaft zu extensivieren (Agrarpaket 2002), wurde die Nutzung der Vergleichswiesen als Futter nicht mitberücksichtigt.

In der Abbildung 2 sind die relativen Umweltauswirkungen der drei Szenarien dargestellt. Der Vergleich von Variante 2 und 3 zeigt, dass durch die Extensivierung der Landwirtschaft eine deutliche Reduktion (zwischen 30 % bis 50 %) der verschiedenen Umweltbelastungen eintritt, bei der Eutrophierung sogar um 90 %. Zusätzlich ergeben sich daraus wesentliche ökologische Verbesserungen bezüglich der Artenvielfalt bei Flora und Fauna.

Durch die Nutzung des Grases als Brennstoff bei der Variante 1 ergeben sich gegenüber Variante 2 nochmals wesentliche Reduktionen des Verbrauches an energetischen Ressourcen.

den und des Treibhauspotentials um 85 % bis 90 %. Höhere Belastungen ergeben sich dagegen bei der Toxizität Luft.

Abbildung 2: Vergleich der Umweltwirkungen des Anbaus von 1 ha Wiese und der Erzeugung von 40.2 GJ Nutzwärme, normiert jeweils auf die maximale Wirkung



Insgesamt ergeben sich folgende Vor- und Nachteile für die energetische Nutzung von Gräsern bei extensivem Anbau:

Vorteile:

- Hohe Reduktion des Verbrauchs an nicht erneuerbaren energetischen Ressourcen
- Hohe Reduktion bei der Emission von treibhauswirksamen Stoffen (CO<sub>2</sub>)
- Reduktion an gewässerbelastenden Stoffen

- Eine Abschätzung ergab, dass die vermiedenen externen Kosten wesentlich höher sind als die Mehrkosten gegenüber der Nutzung von Heizöl und daher eine Förderung aus volkswirtschaftlicher Sicht sinnvoll ist.

Vergleichbar sind folgende Umweltauswirkungen:

- Ozonbildung
- Eutrophierung
- Säurebildung

Nachteil:

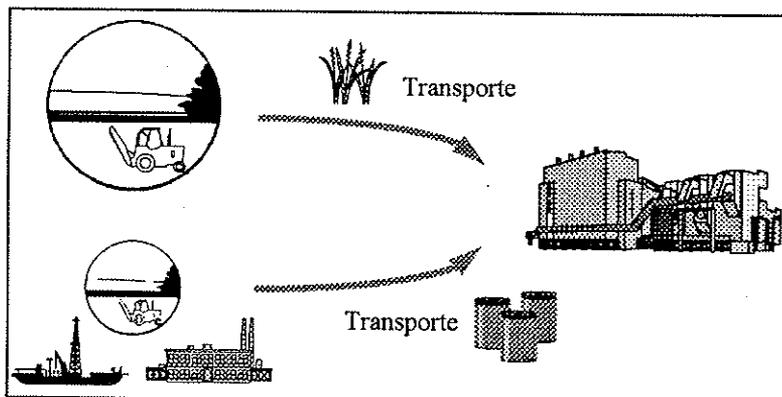
- Höhere Belastung der Luft mit toxischen Stoffen

## 4.2 Ökologische Relevanz der Ergebnisse

Sowohl der Verbrauch an nicht energetischen Ressourcen als auch die Erwärmung der Erdatmosphäre sind globale Probleme und somit unabhängig von der Wahl des Standortes der Verbrennungsanlage. Dasselbe gilt für die Emission gewässerbelastender Stoffe, da diese bei den untersuchten Szenarien bei der Förderung und beim Transport des Erdöls und damit nicht in der Schweiz anfallen. Demgegenüber sind die Toxizität Luft, die Säure- und Ozonbildung sowie die Eutrophierung ein lokales bzw. regionales Problem und sollten daher für die Standortwahl genauer betrachtet werden.

Zusätzlich ergeben sich je nach Grösse der Verbrennungsanlage unterschiedlich lange Transportwege der Gräser, die ebenfalls mit Belastungen der Umwelt verbunden sind.

Abbildung 3: Bei der Nutzung von nachwachsenden Rohstoffen ist die Transportdistanz abhängig von der Anlagengrösse



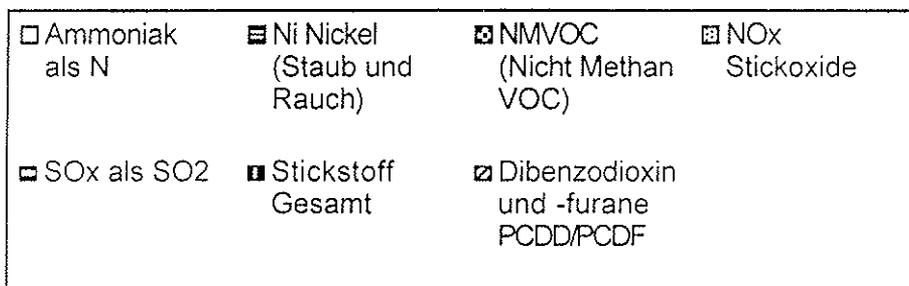
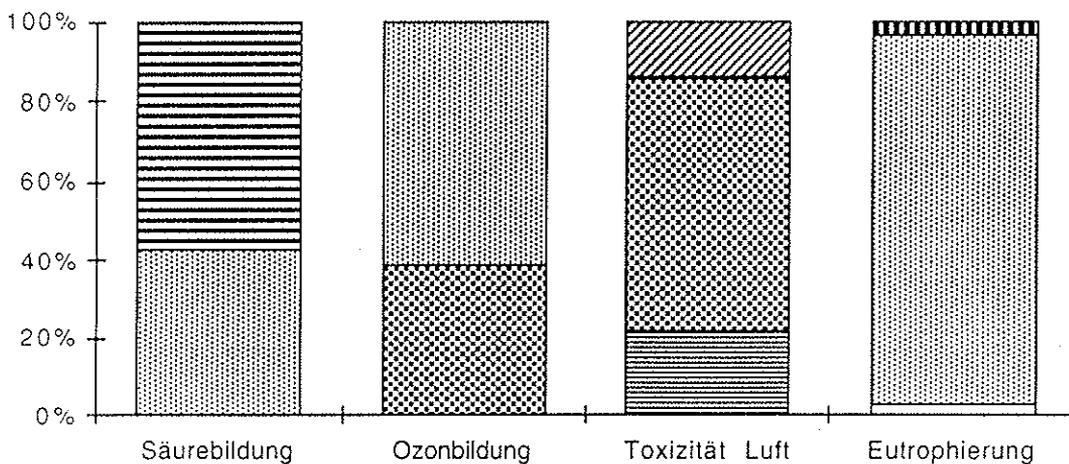
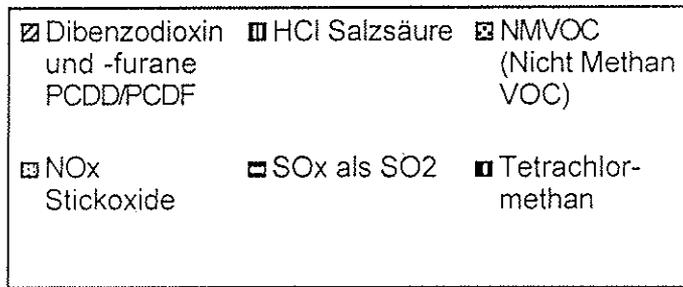
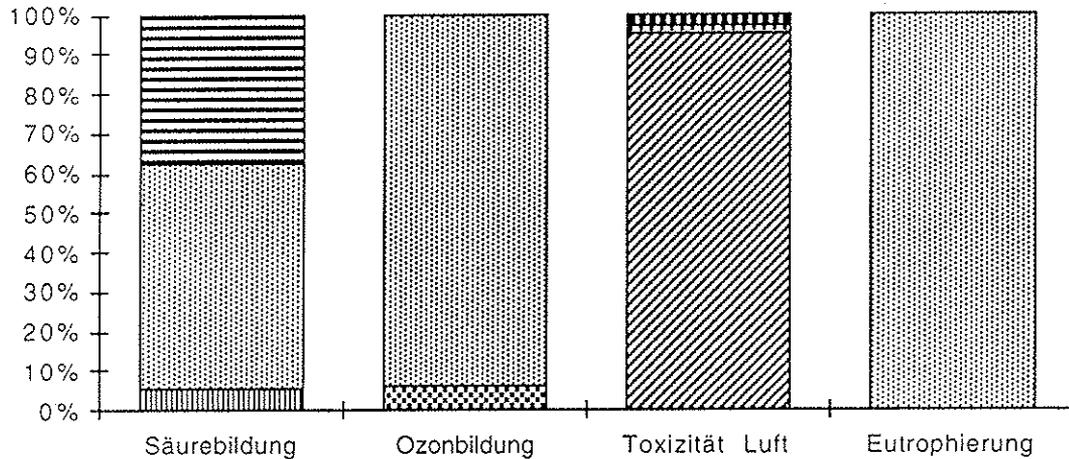
Daraus ergeben sich die folgenden offenen Fragen:

1. Wie relevant sind die toxischen Emissionen in die Luft?
2. Welche anderen relevanten Emissionen treten auf und wo fallen diese an?
3. Wie relevant sind die Transporte der Gräser?
4. Wie gross darf das Einzugsgebiet der Brennstoffe sein, damit sich keine relevanten Auswirkungen durch die Transporte ergeben?
5. Welche Anforderungen ergeben sich daraus für die Standortwahl?

Auf die Fragen 1 bis 4 wird in Kapitel 4.3 bis 4.5 eingegangen. Mit den Anforderungen an die Standortwahl beschäftigt sich Kapitel 4.6.

Da die Extensivierung bei der energetischen Nutzung von Gräsern ein erklärtes Ziel ist, wird im Folgenden nur Variante 1 und 2 miteinander verglichen, um den grossen Einfluss der Art des landwirtschaftlichen Anbaus auszuschliessen.

Abbildung 4: Darstellung der relevanten Schadstoffe  
 oben Variante 1: Verbrennung extensive Wiese,  
 unten Variante 2: ext. Wiese, Verbrennen Öl



### 4.3 Toxische Emissionen in die Luft

Wie Abbildung 2 zeigt, weist die Toxizität Luft bei der Verbrennung von Gräsern eine um 80 % höhere Luftbelastung auf als bei der Nutzung von Erdöl. Dabei tritt der wesentliche Anteil bei der Verbrennung auf. Hierbei ist jedoch zu beachten, dass der grosse Unterschied im Ergebnis nur auf eine Schadstoffgruppe (vgl. Abbildung 4 oben, Dibenzodioxine/-furane, Einzelbestimmung im Nanogramm Bereich) zurückzuführen ist und somit sehr unsicher ist. Für die Berechnung der toxischen Emissionen in die Luft wurden neuere Messdaten für die Verbrennung von Gräsern verwendet. Diese neuen Messungen zeigen wesentlich tiefere Werte bezüglich den Emissionen von chlorierten Kohlenwasserstoffen als diejenigen, welche im Projekt Energiegras / Feldholz verwendet wurden. Leider lagen keine Dioxinmessungen vor, daher wurde der Wert aus dem Energiegras / Feldholzprojekt verwendet ( $0.1 \text{ ng} / \text{Nm}^3$ ). Dieser Messwert ist mit hohen Unsicherheiten behaftet.

Wie Abbildung 4 zeigt, sind die Dioxin-Emissionen für die schlechte Bewertung der Auswirkung 'Toxizität Luft' verantwortlich. Ohne die Berücksichtigung dieser Schadstoffgruppe würde sich das Ergebnis umkehren. Tabelle 5 zeigt, dass der verwendete Wert von  $0.1 \text{ ng} / \text{Nm}^3$  im Bereich der Dioxin-Grenzwerte für Abfallverbrennungsanlagen verschiedener Länder liegt. Es wird daher empfohlen, Dioxin-Messungen durchzuführen und gegebenenfalls Massnahmen zu ergreifen.

Tabelle 5: Stand der internationalen Reglementierungen betreffend Dioxin- und Furan-Emissionen, 1991

Land / Organisation	Emissionsgrenzwerte für Dioxine und Furane aus Abfallverbrennungsanlagen
Schweiz	In der Schweiz existieren zur Zeit keine Emissionsgrenzwerte. Eine Ausnahme bildet der Sondermüllöfen der Novartis AG in Basel, in dessen Baubewilligung ein Dioxin-Emissions-Richtwert von $0.1 \text{ ng}/\text{Nm}^3$ festgeschrieben wurde.
Bundesrepublik Deutschland	$0.1 \text{ ng TEQ}/\text{m}^3$
Niederlande	$0.1 \text{ ng TEQ}/\text{m}^3$
Österreich	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Müllverbrennungsanlagen: <math>0.1 \text{ ng TEQ}/\text{m}^3</math></li> <li>• Sonderabfallverbrennungsanlagen: keine Grenzwerte</li> </ul>

Dänemark	keine Grenzwerte
Schweden	<ul style="list-style-type: none"> <li>• bestehende Anlagen: 0.5-2.0 ng TEQ/m<sup>3</sup></li> <li>• neue Anlagen : 0.1 ng TEQ/m<sup>3</sup></li> </ul>
Norwegen	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kehrlichtverbrennungsanlagen: 0.5-2.5 ng TEQ/Nm<sup>3</sup></li> </ul>

TEQ = Toxische Äquivalenzen

Nm<sup>3</sup> = Norm Kubikmeter

#### 4.4 Weitere relevanten Emissionen

In Abbildung 4 sind neben den Belastungen der Toxizität Luft die relevanten Emissionen für die Säure- und Ozonbildung sowie für die Eutrophierung aufgeführt.

Dabei sind die folgenden Stoffe für diese Auswirkungen verantwortlich:

Auswirkung	Verbrennungslinie Gras	Verbrennungslinie Erdöl
Säurebildung	NO <sub>x</sub> zu über 50 %	SO <sub>2</sub> zu 60 % NO <sub>x</sub> zu 40 %
Ozonbildung	NO <sub>x</sub> zu über 90 %	NO <sub>x</sub> 60 % NMVOC 40 %
Eutrophierung	NO <sub>x</sub>	NO <sub>x</sub> zu über 90 %

NO<sub>x</sub> Emissionen tragen praktisch zu allen drei Auswirkungen relevant bei. Für die Wahl des Standortes ist wesentlich, ob diese Emissionen bei der Verbrennung, d. h. in der Schweiz, oder bei den vorgelagerten Prozessen, d. h. vor allem bei der Erdölkette zu einem grossen Teil ausserhalb der Schweiz, anfallen.

Die Abbildungen 5a und 5b zeigen, dass im Falle von Gras diese Auswirkungen praktisch alle am Standort auftreten, während im Falle von Erdöl ein wesentlicher Teil der Emissionen bei der Bereitstellung des Erdöls anfallen. Somit ist die Belastung bei den regionalen Auswirkungen wie Ozonbildung (Sommersmog), Eutrophierung und Säurebildung zwei bis drei Mal höher am Standort der Anlage als bei einer Ölfeuerung. In Ballungsgebieten ist vor allem der Sommersmog ein Problem (Grenzwertüberschreitungen in den Sommermonaten). Aus diesem Grunde kann eine Grasfeuerung in Gebieten mit Ozon-Grenzwert-überschreitungen nicht empfohlen werden.

Abbildung 5a: Auswirkungen am Standort bei der Grasverbrennung

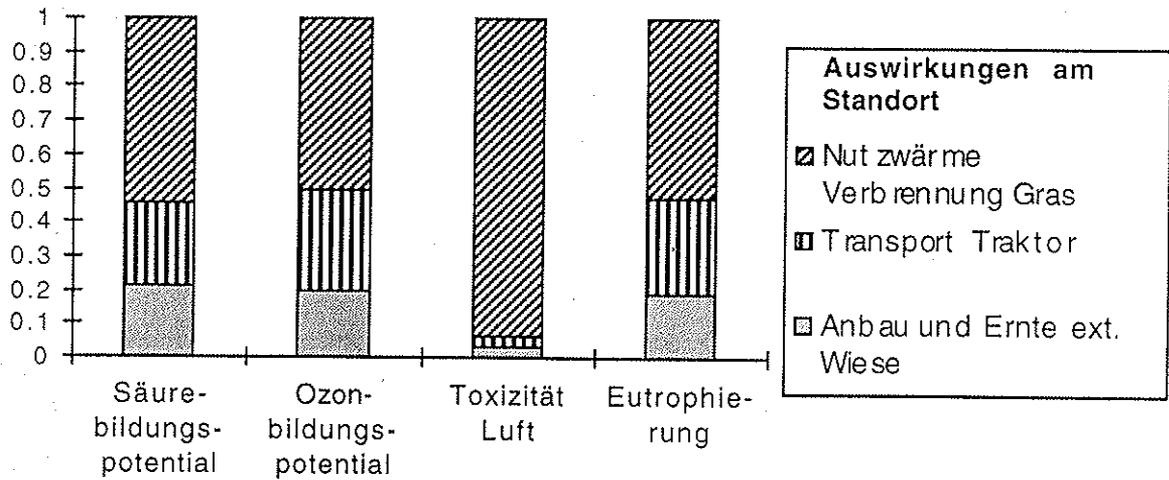
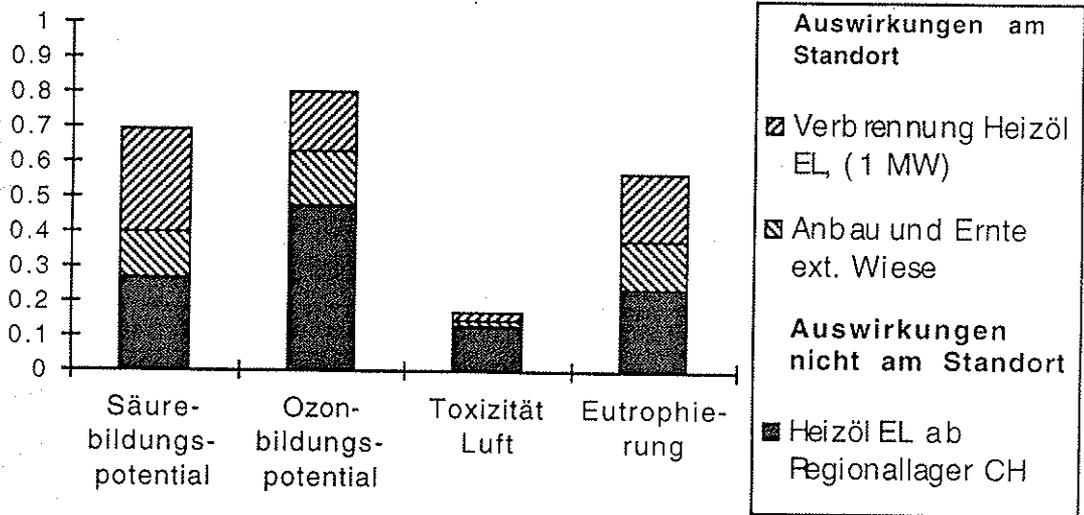


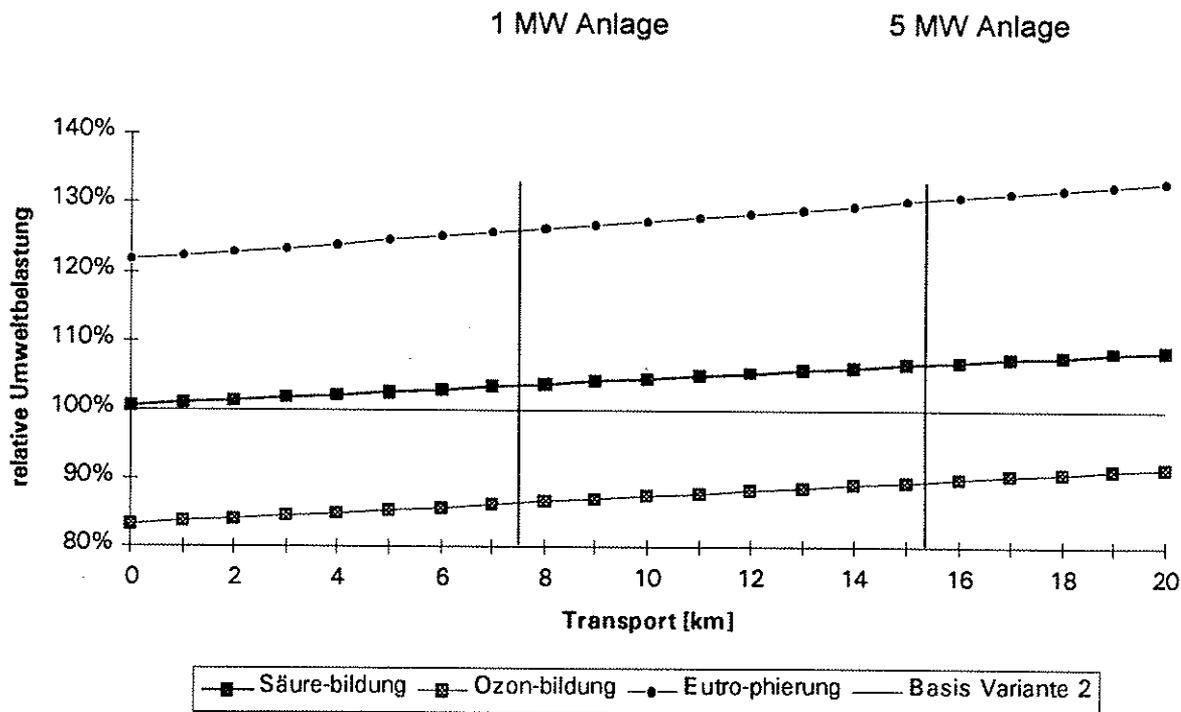
Abbildung 5b: Auswirkungen am Standort (normiert auf die Auswirkung bei der Verbrennungslinie Gras)



## 4.5 Relevanz der Transporte

Je nach Art der Brennstoffzuführung (Pellets- oder Ballenfeuerung) sind Anlagen unterschiedlicher Leistung sinnvoll: 1 MW für die 1. Art und 2 MW bis 5 MW für die 2. Art. Wichtig ist dabei, ob durch das grössere Einzugsgebiet einer 5 MW Anlage wesentlich höhere Belastungen auftreten. Unter der Annahme, dass die Verbrennungsanlage in einem Gebiet mit 25 % landwirtschaftliche Nutzfläche steht und ausserdem 5 % des Anbaus als nachwachsende Brennstoffe genutzt werden, beträgt das Einzugsgebiet einer 5 MW Anlage (2'000 h pro Jahr Auslastung, Wirkungsgrad 78 %) 720 km<sup>2</sup> (entsprechend einem Radius von rund 15 km) gegenüber 150 km<sup>2</sup> (entsprechend einem Radius von knapp 7 km) für eine 1 MW Anlage. Die Mehrbelastung betragen weniger als 10 %, so dass aus ökologischen Gründen beide Anlagentypen in Frage kommen. Der Einfluss der Transporte auf die Umweltwirkungen Säurebildung, Ozonbildung und Eutrophierung ist in Abbildung 6 dargestellt.

Abbildung 6: Einfluss der Transportdistanz der nachwachsenden Rohstoffe auf die vergleichbar grossen Umweltwirkungen Säurebildung, Ozonbildung und Eutrophierung



#### 4.6 Anforderungen an einen Standort aus ökologischer Sicht

Aufgrund der Ergebnisse in 4.3 bis 4.5 können die folgenden Anforderungen an den Standort einer Anlage formuliert werden:

- Die Anlage sollte nicht in einem NO<sub>x</sub> Massnahmegebiet liegen. Dabei handelt es sich im Allgemeinen um Ballungsgebiete, in welchen in den Sommermonaten immer wieder Überschreitungen der Ozon-Grenzwerte auftreten. In ländlichen Gebieten, in denen eine solche Verbrennungsanlage aufgrund des Brennstoffanfalls sinnvoll ist, besteht dieses Problem im Allgemeinen nicht.
- Die Dioxin-Emissionen sollten den Grenzwert von 0.1 ng / Nm<sup>3</sup> nicht überschreiten. Entsprechende Messungen sollten vorgenommen werden. Die bestehenden Messungen sind mit zu grossen Unsicherheiten behaftet.
- Falls sich die Anlage in einem Gebiet mit entsprechendem Grünlandanteil befindet, ist der Anteil der Transporte gering, unabhängig davon, ob es sich um eine 1 MW oder eine 5 MW Anlage handelt. Die Auswahl kann demnach aufgrund von verfügbarer Biomasse und Wärmeabnahme erfolgen.

#### Zusatznutzen

- Pflanzen nehmen im Laufe ihres Wachstums auch Schwermetalle aus dem Boden auf. Bei der Verbrennung verbleibt ein grosser Teil in der Asche und kann entsorgt werden. Im Rahmen des Projektes „Energiegras / Feldholz“ wurde abgeschätzt, dass innerhalb von 10 Jahren eine Reduktion von 20 % bis 40 % erreicht werden kann. Es gibt heute schon Firmen, welche Bodensanierungen mit Spezialkulturen durchführen. Mit diesen kann eine höhere Reduktion erreicht werden. Ob eine Synergie mit der Sanierung von Böden und der Pilotanlage möglich ist, sollte geprüft werden.

## 5 Regionaler Biomasseanfall und Stand der Verwertung

### 5.1 Umfrage

Mittels Fragebogen wurden folgende Fachstellen für Ackerbau, Energie sowie Natur- und Landschaftsschutz der Kantone Aargau, Appenzell Inner- und Ausserrhoden, Basel Stadt, Basel Land, Bern, Luzern, St. Gallen, Schaffhausen, Solothurn, Thurgau und Zürich angeschrieben.

Die Umfrage repräsentiert das Expertenwissen aus den befragten Kantonen, ist daher relevant, aber aufgrund der Datenmenge und Fragestellungen nicht statistisch abgesichert. Die Auswahl der Kantone wurde aus Kostengründen eingeschränkt.

Der Fragebogen hatte zum Ziel, den heutigen Stand der einzelnen Regionen bezüglich

- Biomasseanfall
- regionaler Verwertung bzw. möglichem Wärmebedarf
- Motivation der Verwertungsform
- des möglichen energetischen Nutzungsbedarfs von Halmgütern abzuklären

Die einzelnen Fragen sind im Anhang 'Fragebogen' aufgeführt.

### 5.2 Auswertung des Fragebogens

Die Antworten können wie folgt zusammengefasst werden:

- Ein Bedarf an 'Entsorgung' und somit ein Interesse an der energetischen Nutzung wird vor allem bei den Fachstellen für Natur- und Landschaftsschutz gesehen. Der Biomasseanfall aus Naturschutz- und Landschaftspflegeflächen kann heute nur zum Teil befriedigend verwertet werden. Das Material wird entweder in die Landwirtschaft abgegeben oder kostenpflichtig kompostiert. Die energetische Nutzung wird daher als Alternative gesehen, sofern die Kosten tiefer liegen als bei der Kompostierung.
- Trotz verschiedener Extensivierungsmassnahmen wird *momentan* aus Sicht der Landwirtschaft nur ein geringer Bedarf für die energetische Nutzung von Grünland gesehen. Landwirtschaftliche Reststoffe und Nachwachsende Rohstoffe (Chinaschilf) finden z.Zt. am wenigsten Absatz und stehen somit am ehesten für die energetische Nutzung zur Verfügung.

Die zukünftige Entwicklung wird unterschiedlich gesehen. Aufgrund der in der Agrarpolitik 2002 festgelegten Ziele wird von einer Zunahme der Ausgleichsflächen und somit des Biomasseanfalls ausgegangen. Ob die Verwertung ausschliesslich über Tiere oder auch über die energetische Nutzung erfolgt, geht aus der Umfrage nicht klar ersichtlich hervor.

- Wald wird wiederholt als Energieträger genannt. Eine Konkurrenzierung soll von Anfang an vermieden werden, eine Zusammenarbeit mit der Waldwirtschaft wird jedoch gewünscht
- Drei mögliche Regionen lassen sich daraus ableiten, bei denen einerseits ein hoher Anfall an Naturschutz-/Landschaftspflegematerial besteht und andererseits auch von Seiten der Landwirtschaft ein gewisses Interesse gesehen wird: Basel Land, Region Pfäffikersee (ZH) und Luzern.

## 6 Schlussfolgerungen

Aus den Anforderungen an eine Energiegras- bzw. Halmgut-Feuerung und dem Angebot an Biomasse lassen sich folgende Schlussfolgerungen ableiten:

- Für den Bau einer Feuerungsanlage ist primär ein ausreichender Wärmebedarf notwendig, um einen langfristigen Betrieb sicherstellen zu können.
- Halmgut-Feuerungen können trotz eines höheren Investitionsbedarfs gegenüber Holzfeuerungen wirtschaftlicher betrieben werden als Holzfeuerungen, wenn die Brennstoffkosten tiefer als bei Holz liegen bzw. für die Verwertung sogar ein Preis bezahlt wird.

Die Wärmegestehungskosten bei Holzfeuerungen liegen je nach Grösse, Auslastung und Ausrüstung zwischen 7-12 Rp/kWh (basierend auf einem Holzpreis von Fr. 40.-/Sm<sup>3</sup> bzw. 1,5 Rp/kWh günstiger bezogen auf einen Holzpreis von nur Fr. 30.-/Sm<sup>3</sup>). Wird der halmgutartige Brennstoff gratis angeliefert (entsorgt), belaufen sich die Wärmegestehungskosten auf 4-10 Rp/kWh. Muss z.B. für die Entsorgung bereits heute ein Preis von Fr. 100.-/t (vergleichbar mit der Kompostierung) bezahlt werden, so sinken die Wärmegestehungskosten auf rund 0.5-6,5 Rp/kWh. Bei der letzten Annahme kann somit Wärme *günstiger* als mittels fossiler Energieträger bereitgestellt werden. Denkbar ist auch eine Mischrechnung, die es erlaubt Holz und geringe Mengen landwirtschaftlicher Biomasse zu verwerten.

- Der Bau einer solchen Feuerung zu ökonomisch akzeptablen Bedingungen setzt einen entsprechenden Anfall an Biomasse voraus, die gratis zur Verfügung steht oder deren Entsorgung anderweitig Kosten verursacht.
- Ein Abstützen des Brennstoffbedarfs auf rein landwirtschaftlich angebaute Biomasse ist aus heutiger Sicht nicht ökonomisch. Dies kann sich ändern (Umsetzung Agrarpolitik 2002), wenn einerseits die Verwertung übers Tier nicht mehr in Frage kommt oder die ökologische Leistung der Flächen so hoch eingestuft wird, dass für die Verwertung ein Preis bezahlt werden kann.
- Die energetische Nutzung von Biomasse wirkt sich infolge der Substitution an fossilen Brennstoffen gesamthaft positiv auf die Umwelt aus. Umweltbelastungen von grösseren Anlagen (5 MW), spielen infolge steigender Transportdistanzen eine untergeordnete Rolle (<10% der Emissionen), sofern die Anlage in einem Grünlandgebiet liegt oder mit Holz ausgelastet werden kann. Von einem Standort innerhalb eines NOx Massnahmengebietes ist allerdings abzuraten.

- Aufgrund der Umfrage bei den regionalen Experten kommen grundsätzlich drei mögliche Standorte für eine ökonomisch tragbare Feuerungsanlage in Frage: Basel Land, Gebiet Pfäffiker-See (ZH) und Luzern.

## 7 Zusammenfassung

In dieser Arbeit wurden die Anforderungen aus Sicht Anbautechnik, der Feuerungstechnik, der Ökologie und Ökonomie aufgezeigt. Diese wurden dem von Fachleuten geschätzten Potential an verwertbarer Biomasse und der energetischen Nutzungsmöglichkeit gegenübergestellt.

Abhängig vom Anbau lassen sich neben Holz grundsätzlich zwei Halmgut-Brennstoffe unterscheiden: landwirtschaftlich angebaute Gräser und halmgutartiges Material von Natur- und Landschaftspflegeflächen.

Aufgrund der durchgeführten Umfrage bei verschiedenen kantonalen Fachstellen für Landwirtschaft, Energie, Natur- und Landschaftsschutz werden für Biomasse aus dem *Naturschutz und der Landschaftspflege* bereits heute neue Verwertungsmöglichkeiten gesucht. Im Vergleich zu bestehenden Verfahren (z.B. Kompostierung) kann die energetische Nutzung folgende Vorteile bieten:

- Bei tieferen oder vergleichbaren Verwertungskosten eine Substitution von fossilen Brennstoffen und somit eine Entlastung der Umwelt, insbesondere bei CO<sub>2</sub>.
- Produktion von Wärme, deren Gestehungskosten günstiger oder vergleichbar ist mit fossilen Energieträgern.
- Möglichkeiten der zusätzliche Nutzung von Holz, landwirtschaftlichen Reststoffen bzw. landwirtschaftlicher angebaute Gräser.

Der Anbau von landwirtschaftlicher Biomasse zur energetischen Nutzung ist aus ökonomischen Überlegungen heute nur unter speziellen Voraussetzungen (viehlose Betriebe, ökologisch wertvolle Flächen etc.) gegeben.

Wie die Expertenbefragung bezüglich des Biomasseangebotes ergab, können drei Regionen für eine ökonomisch betriebene Feuerung in Frage kommen. In Kombination mit weiterer Biomasse (landwirtschaftliche Reststoffe, Gräser, Holz, andere naturbelassene Biomasse, etc.) sind weitere Standorte denkbar.



## 8 Literatur

- Baxter, L.; Miles, Th. ; Miles, Th. (Jr.); Jenkins, B.; Dayton, D.; Milne, Th.; Bryers, R.; Oden, L.: *Alkali Deposits found in Biomass Boilers*, Sandia National Laboratory, Livermore (CA, USA) 1996
- Biollaz, S.; Nussbaumer, Th.: Einsatz von Rostfeuerungen für Holz und Halmgüter. In: Nussbaumer, Th. (Hrsg.): *Feuerungstechnik, Ascheverwertung und Wärmekraftkopplung, 4. Holzenergie-Symposium am 18.10.1996*, ETH Zürich, ENET, Bundesamt für Energiewirtschaft, Bern 1996, 9 – 41
- Dinkel, F. et al: Ökobilanz von Energiegras und Feldholz. In: J. Hersener (Red.), *Schlussbericht Projekt Energiegras/Feldholz*, Bundesamt für Energiewirtschaft, 1997, 102 – 130
- Hasler, P.; Nussbaumer, Th.: *Landwirtschaftliche Verwertung von Aschen aus der Verbrennung von Gras, Chinaschiff, Hanf, Stroh und Holz*, Schlussbericht Teilprojekt Energiegras und Feldholz, Bundesamt für Energiewirtschaft, Bern 1996
- Hersener, J.-L.: Logistik von Energiegras und Feldholz. In: J. Hersener (Red.), *Schlussbericht Projekt Energiegras/Feldholz*, Bundesamt für Energiewirtschaft, 1997, 152 – 159
- Nussbaumer, Th.: Primary and secondary measures for NOx reduction in biomass combustion. In: A.V. Bridgwater (Ed.): *Developments in Thermochemical Biomass Conversion*, Blackie Academics (im Druck)
- Nussbaumer, Th.: Verbrennung und Vergasung von Energiegras und Feldholz. In: J. Hersener (Red.), *Schlussbericht Projekt Energiegras/Feldholz*, Bundesamt für Energiewirtschaft, 1997, 42 – 78



# Anhang 'Fragebogen'

## Fragebogen

Die wichtigsten Kriterien für einen möglichen Standort sind Wärmeabnahme und Beschaffenheit des Einzugsgebietes (landwirtschaftliche Strukturen, Grünlandanteil, Verkehrswege, Akzeptanz etc.).

Da die Übergänge zwischen den Anliegen der Landwirtschaft, des Naturschutzes und der Energiewirtschaft zum Teil fließend sind, haben wir auf eine spezifische Aufteilung nach Fachgebieten verzichtet. Bitte beantworten Sie diejenigen Fragen, die Ihrem Kenntnisstand entsprechen.

- 1.) Sind in Ihrem Zuständigkeitsgebiet Feuerungsanlagen im Bereich 0,5-3 MW geplant?

.....

Wenn, ja mit welchem Brennstoff? .....

.....

Ist vom Planungsgrad noch ein Eingriff möglich?.....

Wenn, nein, sehen Sie mögliche Standorte, die von der Wärmeabgabe her geeignet sind (Industriegebiete, Wärmeverbund einer Gemeinde, etc.)?

.....

.....

- 2.) Fällt in Ihrem Zuständigkeitsgebiet Biomasse aus Landschafts- und Naturschutzflächen an, deren Verwertung nicht ausreichend befriedigt und sich für eine energetische Nutzung eignet?

.....

- 3.) Gibt es Regionen, Talschaften, die für eine Extensivierung vorgesehen sind oder bereits heute einen hohen Anteil an extensiv genutzten Flächen aufweisen?

.....

- 4.) Wie hoch ist der durchschnittliche Grünlandanteil in Ihrem Einzugsgebiet?  
.....
- 5.) Wie hoch ist der Anteil an extensiven bzw. wenig intensiven Wiesen am Grünlandanteil? .....
- 6.) Sind Regionen/Talschaften vorhanden, die in hohem Mass im Nebenerwerb bewirtschaftet werden?.....
- 7.) Wie hoch ist der Waldanteil?.....
- 8.) Ist die Eutrophierung (Nährstoffeintrag in Böden und Gewässer) ein Problem in Ihrem Zuständigkeitsgebiet und sind Massnahmen geplant um dieser Umweltauswirkung entgegenzuwirken?.....
- 9.) Wie hoch schätzen Sie den Anteil Wald, der von Landwirten bzw. von den Gemeinden bewirtschaftet wird?  
.....
- 10.) Werden in Ihrem Zuständigkeitsgebiet erneuerbare Energien besonders gefördert? .....
- 11.) Wen sollte man aus Ihrer Sicht bei der Standortsuche noch involvieren oder kontaktieren?.....

Weitere Bemerkungen: .....

.....

.....

.....

.....

.....

Sind Sie an weiteren Informationen interessiert?