

**Fachgebiet  
Grünlandwissenschaft und  
Nachwachsende Rohstoffe**  
Steinstr. 19  
37213 Witzenhausen



**Stadtverwaltung  
Bad Säckingen**  
**- Umweltreferat -**  
Rathausplatz 1  
79713 Bad Säckingen



# **„Untersuchungen zur energetischen Verwertung von Grünlandsilagen ökologisch wertvoller Standorte im oberen Murgtal in Herrischried/Südbaden“**

## **Endbericht**

vorgelegt von:

**Felix Richter, Thomas Fricke, Prof. Dr. Michael Wachendorf**

gefördert durch:

**Badenova AG & Co. KG**

und

**Stadt Bad Säckingen**





## Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis .....	II
Tabellenverzeichnis.....	III
1 Problemstellung und Zielsetzung .....	1
2 Die Integrierte Festbrennstoff- und Biogasproduktion aus Biomasse (IFBB) .....	3
2.1 Grundlagen .....	3
2.2 Vorarbeiten am Fachgebiet GNR .....	4
3 Material und Methoden .....	5
3.1 Grünlandbestände .....	5
3.2 Hydrothermale Konditionierung und mechanische Entwässerung .....	6
3.3 Chemische Analyse des Ausgangsmaterials und des Presskuchens.....	8
3.4 Massenflussberechnung.....	8
3.5 Gärversuche mit Presssaft .....	9
3.6 Analyse der Brennstoffqualität von Ausgangsmaterial und Presskuchen.....	10
3.7 Kalkulation der Energie- und Treibhausgasbilanzen .....	10
4 Ergebnisse.....	12
4.1 Erträge .....	12
4.2 Massenflüsse in den Presssaft und den Presskuchen.....	13
4.3 Presssaft als Substrat zur Biogaserzeugung .....	18
4.3.1 Chemische Zusammensetzung des Presssaftes .....	18
4.3.2 Methanausbeute und Methanertrag des Presssaftes .....	21
4.4 Presskuchen als Festbrennstoff.....	23
4.4.1 Chemische Zusammensetzung des Presskuchens .....	23
4.4.2 Brennstoffkennwerte des Presskuchens .....	29
4.5 Energie- und Treibhausgasbilanzen .....	30
5 Zusammenfassung und Schlussfolgerungen.....	34
6 Literatur .....	37

## Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Schema des IFBB-Vefahrens. ....	3
Abb. 2: Lage der fünf Grünlandbestände in der Landschaft .....	5
Abb. 3: Versuchsflächen Magerrasen I und II in der Gemeinde Herrischried/Südbaden.....	6
Abb. 4: Maischgerät mit Gasbrennern und Rührwerk. ....	7
Abb. 5: Schneckenpresse (li.) und Schnecken mit Siebkorb (re.).....	7
Abb. 6: Wasserbad mit Gärbehältern, Gärbehälter, Rührwerk (von li.). ....	9
Abb. 7: Massenflüsse der Trockenmasse in den Presssaft und den Presskuchen bei unterschiedlichen Temperaturen der hydrothermalen Konditionierung. ....	13
Abb. 8: Massenflüsse der Asche in den Presssaft und den Presskuchen bei unterschiedlichen Temperaturen der hydrothermalen Konditionierung. ....	14
Abb. 9: Massenflüsse des Kaliums in den Presssaft und den Presskuchen bei unterschiedlichen Temperaturen der hydrothermalen Konditionierung. ....	14
Abb. 10: Massenflüsse des Magnesiums in den Presssaft und den Presskuchen bei unterschiedlichen Temperaturen der hydrothermalen Konditionierung. ....	15
Abb. 11: Massenflüsse der Calcium in den Presssaft und den Presskuchen bei unterschiedlichen Temperaturen der hydrothermalen Konditionierung. ....	16
Abb. 12: Massenflüsse des Chlorids in den Presssaft und den Presskuchen bei unterschiedlichen Temperaturen der hydrothermalen Konditionierung. ....	16
Abb. 13: Massenflüsse des Stickstoffs in den Presssaft und den Presskuchen bei unterschiedlichen Temperaturen der hydrothermalen Konditionierung. ....	17
Abb. 14: Massenflüsse des Schwefels in den Presssaft und den Presskuchen bei unterschiedlichen Temperaturen der hydrothermalen Konditionierung. ....	18
Abb. 15: Asche-Gehalte im Ausgangsmaterial (Silage) und im Presssaft bei unterschiedlichen Temperaturen der hydrothermalen Konditionierung. ....	19
Abb. 16: Rohprotein-Gehalte im Ausgangsmaterial (Silage) und im Presssaft bei unterschiedlichen Temperaturen der hydrothermalen Konditionierung. ....	19
Abb. 17: Rohfett-Gehalte im Ausgangsmaterial (Silage) und im Presssaft bei unterschiedlichen Temperaturen der hydrothermalen Konditionierung. ....	20
Abb. 18: Rohfaser-Gehalte im Ausgangsmaterial (Silage) und im Presssaft bei unterschiedlichen Temperaturen der hydrothermalen Konditionierung. ....	20
Abb. 19: NfE-Gehalte im Ausgangsmaterial (Silage) und im Presssaft bei unterschiedlichen Temperaturen der hydrothermalen Konditionierung. ....	21
Abb. 20: Spezifische Methanausbeuten und Abbaugrade der organischen Substanz von Ganzpflanzensilage (Ausgangsmaterial) und dazugehörigen Presssäften nach einer Konditionierung bei 5°C, 60°C und 80°C.....	22
Abb. 21: Flächenbezogene Methanproduktion von Ganzpflanzensilage (Ausgangsmaterial) und dazugehörigen Presssäften nach einer Konditionierung bei 5°C, 60°C und 80°C. ....	23

Abb. 22: Asche-Gehalte im Ausgangsmaterial und den dazugehörigen Presskuchen nach einer Konditionierung bei 5°C, 60°C und 80°C. Die gestrichelte Linie gibt den Asche-Gehalt von Weizenstroh wider.....	24
Abb. 23: Kalium-Gehalte im Ausgangsmaterial und den dazugehörigen Presskuchen nach einer Konditionierung bei 5°C, 60°C und 80°C. Die gestrichelte Linie gibt den Kalium-Gehalt von Weizenstroh wider. ....	25
Abb. 24: Magnesium-Gehalte im Ausgangsmaterial und den dazugehörigen Presskuchen nach einer Konditionierung bei 5°C, 60°C und 80°C. Die gestrichelte Linie gibt den Magnesium-Gehalt von Weizenstroh wider. ....	26
Abb. 25: Calcium-Gehalte im Ausgangsmaterial und den dazugehörigen Presskuchen nach einer Konditionierung bei 5°C, 60°C und 80°C. Die gestrichelte Linie gibt den Calcium-Gehalt von Weizenstroh wider.....	26
Abb. 26: Chlorid-Gehalte im Ausgangsmaterial und den dazugehörigen Presskuchen nach einer Konditionierung bei 5°C, 60°C und 80°C. Die gestrichelte Linie gibt den Chlorid-Gehalt von Weizenstroh wider. ....	27
Abb. 27: Stickstoff-Gehalte im Ausgangsmaterial und den dazugehörigen Presskuchen nach einer Konditionierung bei 5°C, 60°C und 80°C. Die gestrichelte Linie gibt den Stickstoff-Gehalt von Weizenstroh wider.....	28
Abb. 28: Schwefel-Gehalte im Ausgangsmaterial und den dazugehörigen Presskuchen nach einer Konditionierung bei 5°C, 60°C und 80°C. Die gestrichelte Linie gibt den Schwefel-Gehalt von Weizenstroh wider. ....	29
Abb. 29: Ascheerweichungstemperatur im Ausgangsmaterial und den dazugehörigen Presskuchen nach einer Konditionierung bei 5°C, 60°C und 80°C.....	29
Abb. 30: Brennwert im Ausgangsmaterial und den dazugehörigen Presskuchen nach einer Konditionierung bei 5°C, 60°C und 80°C. Die gestrichelte Linie gibt den Brennwert von Weizenstroh wider. ....	30
Abb. 31: Energiebilanz für die Umwandlung der Grünlandbiomassen in Energie mittels Ganzpflanzenvergärung der Silage (AM) und Verwertung mit dem IFBB-Verfahren bei unterschiedlichen Temperaturen der hydrothermalen Konditionierung (5°C, 60°C, 80°C).....	31
Abb. 32: Energiegehalt im Erntegut (Bruttoenergieertrag) und Nettoenergieerträge durch Ganzpflanzenvergärung und Verwertung mit dem IFBB-Verfahren bei unterschiedlichen Temperaturen der hydrothermalen Konditionierung (5°C, 60°C, 80°C) sowie Effizienzen der Konversionsverfahren.....	32
Abb. 33: Treibhausgasbilanz für die Umwandlung der Grünlandbiomassen in Energie mittels Ganzpflanzenvergärung der Silage (AM) und Verwertung mit dem IFBB-Verfahren bei unterschiedlichen Temperaturen der hydrothermalen Konditionierung (5°C, 60°C, 80°C).....	32

## Tabellenverzeichnis

Tab. 1: Energieinput-Parameter der Energiebilanz.....	11
Tab. 2: Erträge und dominierende Pflanzenarten der fünf Grünlandbestände.....	12

## 1 Problemstellung und Zielsetzung

Im Hinblick auf einen global wachsenden Energieverbrauch bei gleichzeitiger Verknappung fossiler Energieträger sowie einem Anstieg weltweiter CO<sub>2</sub>-Emissionen und dem damit verbundenen anthropogen bedingten Klimawandel besteht höchste Dringlichkeit für eine Wende hin zu einer nachhaltigen, umweltschonenden Energieversorgung. Energie aus Biomasse kann dabei einen erheblichen Beitrag leisten. Um die energiepolitischen Ziele der EU-Kommission, wie z.B. 20% des Energieverbrauchs aus erneuerbaren Energien im Jahr 2020, erreichen zu können, müssen dazu aber alle verfügbaren Biomassequellen genutzt werden. Dazu gehören vor allem Reststoffe, wie die Biomasse aus Naturschutz- und Landschaftspflegegebieten, aber auch von extensiv bewirtschaftetem Grünland, die keine andere Verwendung mehr finden.

Schätzungen zufolge werden mittelfristig ca. 25% der Grünlandfläche Deutschlands nicht mehr für die Futterproduktion benötigt (PROCHNOW et al., 2007). Die betroffenen Flächen sind größtenteils extensiv bewirtschaftete, artenreiche Grünlandbestände, deren vergleichsweise energiearme Biomasse in der Tierernährung keine Nutzung mehr findet. Solche Grünlandstandorte finden sich vor allem in den Mittelgebirgen, die historisch gewachsene, durch extensive Grünlandwirtschaft und Viehzucht geprägte Kulturlandschaften darstellen. Die großflächige Erhaltung des Grünlandes in diesen Regionen ist als besonderes Ziel des Naturschutzes festgeschrieben. Die für diesen Zweck optimalen Nutzungsformen sind die je nach Jahr, Standort und natürlichem Ertrag angepasste Heuwiesennutzung oder extensive Beweidung. Die Weiterführung dieser Bewirtschaftung und damit der Erhalt der wertvollen Grünlandflächen sind jedoch gefährdet.

Das extensive Grünland übernimmt neben der Futterproduktion für landwirtschaftliche Nutztiere noch andere wichtige ökologische und soziokulturelle Funktionen. Es trägt zum Boden-, Luft- und Wasserschutz bei, hat eine große Bedeutung für den Arten- und Biotopschutz und spielt als landschaftsprägendes Element sowohl für den Tourismus als auch die kulturelle Identität der einheimischen Bevölkerung eine bedeutende Rolle. Langfristig ist sein Erhalt jedoch nur durch ein neues ökonomisch sinnvolles Nutzungskonzept zu realisieren.

Ein solches Konzept könnte die energetische Nutzung der Flächen nach naturschutzfachlichen Gesichtspunkten sein. Diese stellt im Gegensatz zum Anbau von Energiepflanzen, wie Mais oder Raps, weder eine Konkurrenz zur Nahrungsmittelproduktion dar, noch verursacht sie ökologische Probleme durch Nährstoffauswaschung, Bodenerosion und Minderung der Bodenfruchtbarkeit (GRAB und SCHEFFER, 2006).

Die Konversion von Grünlandbiomasse, die aus naturschutzfachlichen Gründen spät geerntet wird, in Energie ist allerdings mit einigen Problemen behaftet. Bei der Vergärung zu Biogas hemmen lignozellulosereiche Strukturen den anaeroben Abbau, woraus die mangelnde Effizienz herkömmlicher landwirtschaftlicher Biogasanlagen resultiert (SCHEFFER, 2005). Negative Brenneigenschaften erschweren auch die thermische Verwertung von Grünlandbiomasse, da hohe Gehalte an Asche- und Mineralstoffen die Ascheerweichung fördern und Korrosionen im Brennkessel hervorrufen, was zu technischen Problemen und einer Verkürzung der Lebensdauer der Kessel führen kann. Zudem können hohe Gehalte an Chlorid, Schwefel und Stickstoff bei der Verbrennung der Biomasse umwelt- und gesundheitsschädliche Emissionen verursachen (HARTMANN, 2001).

Im Hinblick auf eine Optimierung der Konversion von Biomasse in Energie wurde am Fachgebiet Grünlandwissenschaft und Nachwachsende Rohstoffe der Universität Kassel das Verfahren „Integrierte Festbrennstoff- und Biogasproduktion aus Biomasse“ (IFBB) entwickelt (ehem. Scheffer-Konzept), bei dem als Silage konservierte Biomasse durch hydrothermale Konditionierung (Maischung mit erwärmtem Wasser) und mechanische Entwässerung in einen leicht vergärbaren Presssaft und einen als Festbrennstoff nutzbaren Presskuchen separiert wird (SCHEFFER, 2005; WACHENDORF et al., 2009). Durch die getrennte energetische Verwertung dieser beiden Phasen (fest und flüssig) wird den Anforderungen der jeweiligen Konversionstechnik besser entsprochen und damit eine Steigerung der Energieeffizienz möglich.

In diesem Forschungsprojekt wurde das IFBB-Verfahren erstmalig auf Grünlandbiomasse von extensiven, ökologisch wertvollen Standorten im oberen Murgtal (Gemeinde Herrischried) angewendet. Dabei standen folgende Fragestellungen im Mittelpunkt:

1. Welchen Einfluss hat die Temperatur bei der hydrothermalen Konditionierung auf die Massenflüsse der relevanten Inhaltsstoffe in den Presssaft?
2. Wie hoch sind die spezifischen Methanausbeuten der Presssäfte bei einer anaeroben Vergärung zu Biogas?
3. Welche qualitative Verbesserung der Presskuchen kann im Vergleich zum Ausgangsmaterial bezüglich ihrer Eignung als Brennstoff unter Berücksichtigung der Parameter Ascheerweichung und Heizwert erzielt werden?
4. Wie stellen sich Energie- und CO<sub>2</sub>-Bilanzen des IFBB-Verfahrens dar?
5. Kann eine energetische Verwertung mit dem IFBB-Verfahren zum Erhalt des Extensivgrünlands und seiner Artenvielfalt beitragen?

## 2 Die Integrierte Festbrennstoff- und Biogasproduktion aus Biomasse (IFBB)

### 2.1 Grundlagen

Beim in Abb. 1 dargestellten IFBB-Verfahren wird die verlustarm als Silage konservierte Biomasse durch eine mechanische Entwässerung in zwei Fraktionen getrennt: Presssaft als flüssige Phase und Presskuchen als feste Phase. Im Presssaft sind hohe Gehalte an Asche und leicht vergärbaren Inhaltsstoffen enthalten, der Presskuchen zeichnet sich durch hohe Gehalte an Lignozellulosen sowie geringe Aschegehalte aus. Mit dem Presssaft steht ein optimal pump- und rührfähiges Gärsubstrat zur Verfügung, das daraus erzeugte Biogas wird in einem BHKW in Strom und Wärme umgewandelt. Im Gegensatz zu vielen anderen Biogaskonzepten findet dabei jedoch eine ganzjährige, vollständige Nutzung der Abwärme als Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) statt, indem sie zur Trocknung des Presskuchens auf Trockensubstanz-Gehalte von ca. 85% verwendet wird. Dieser steht anschließend als lager- und pelletierfähiger Festbrennstoff zur Verfügung.

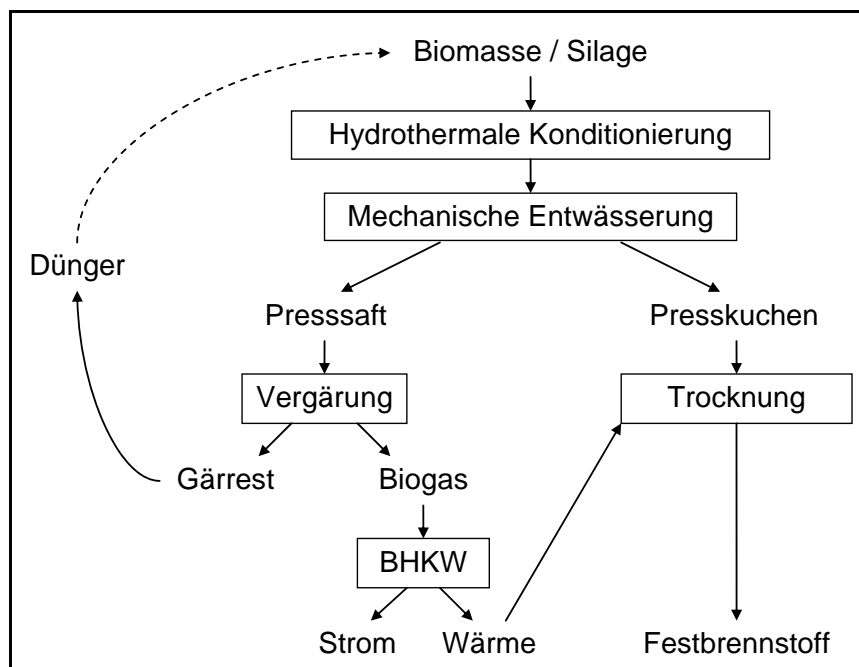


Abb. 1: Schema des IFBB-Verfahrens.

Durch die hydrothermale Konditionierung (Maischung mit warmem Wasser) der Silagen vor der Entwässerung ist es möglich, die Massenflüsse der Inhaltsstoffe in den Presssaft und den Presskuchen so zu beeinflussen, dass diese Produkte für ihre jeweilige energetische Verwertung (Vergärung zu Biogas bzw. Verbrennung) weiter optimiert werden. Der Gärrest der Presssaftvergärung wird als Dünger verwendet.



## 2.2 Vorarbeiten am Fachgebiet GNR

Am Fachgebiet Grünlandwissenschaft und Nachwachsende Rohstoffe (GNR) der Universität Kassel wurde in den vergangenen Jahren bereits intensive Forschung zur Anwendung des IFBB-Verfahrens durchgeführt. Dabei wurde hauptsächlich mit Silage aus Mais und anderen ackerbaulichen Kulturen gearbeitet (BÜHLE et al., 2007; GRAB und SCHEFFER, 2006; REULEIN et al., 2006; REULEIN et al., 2007, GRAB et al., 2008). Die Verwendung von Grünlandsilage extensiver Standorte als Biomasse zur Energieerzeugung ist eine neuere Forschungsrichtung am Fachgebiet.

Ein wesentlicher Aspekt im IFBB-Verfahren ist neben der mechanischen Entwässerung die spezifische Aufteilung der mineralischen und organischen Bestandteile der silierten Biomasse auf den Presssaft und den Presskuchen. Sowohl hinsichtlich der feuerungstechnisch relevanten Gehalte an Kalium (K), Magnesium (Mg), Calcium (Ca), Chlorid (Cl), Stickstoff (N) und Schwefel (S) im Presskuchen, als auch im Hinblick auf die Nährstoffrückfuhr der genannten Elemente und weiterer Mineralstoffe mit den Gärresten zeigt sich ein zur Trockensubstanz signifikant disproportionaler Massenfluss dieser Stoffe in die flüssige Phase. Dies führt zu ihrer Anreicherung im Presssaft, während ihre Gehalte im Presskuchen relativ zum Ausgangsmaterial abnehmen und damit dessen Qualität als Brennstoff steigt. Gleichzeitig verbleibt ein Großteil der Faserbestandteile im Presskuchen, wodurch ein faserarmer, leicht vergärbare Presssaft entsteht.

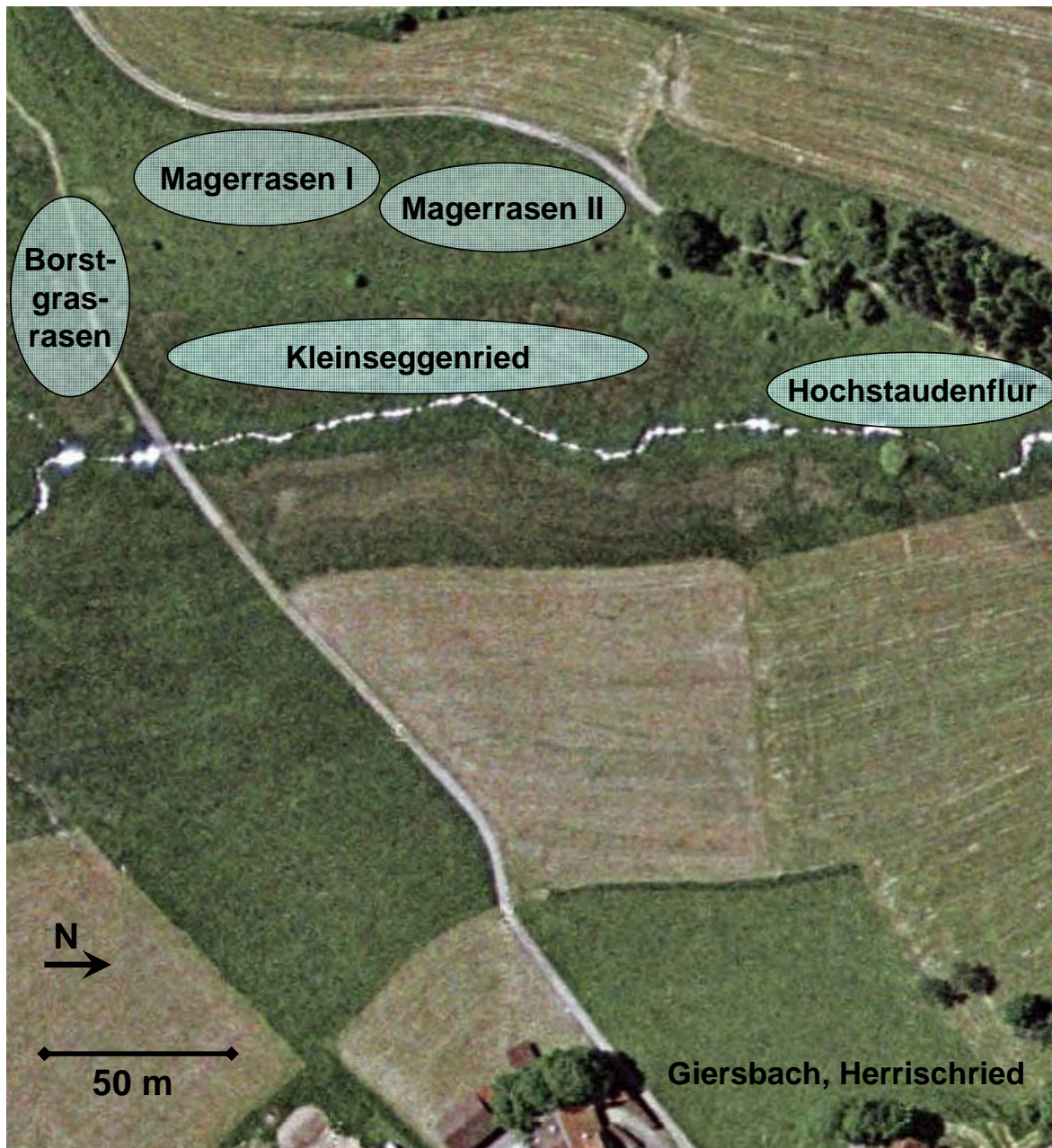
Untersuchungen an zahlreichen Ackerfrüchten belegen diesen präferentiellen Fluss, dessen Ausmaß zwar substratspezifisch ist, sich allerdings durch eine Konditionierung der Silage vor der Abpressung modifizieren lässt (REULEIN et al., 2007). Untersuchungen von mechanisch entwässerten Silagen mit und ohne vorheriger hydrothormaler Konditionierung zeigten deutlich höhere Massenflüsse in den Presssaft bei den konditionierten Varianten (BEDENK, 2007).

Die Nutzung des Presssaftes als Gärsubstrat zur Erzeugung von Biogas konnte bisher nur im Labormaßstab untersucht werden. BÜHLE et al. (2007) zeigten in Batch-Versuchen mit Presssäften aus Mais-, Gras-, Wintererbsen-, Hanf-, Phacelia-Senf-, Perko- und Mais-Sonnenblumen-Silage, dass bereits nach vier Tagen Verweilzeit im Durchschnitt 90% der insgesamt erzielten Methanmenge gebildet wurde. Auf diese Weise wurden Verweilzeiten von weniger als 14 Tagen realisiert. Hohe Abbaugrade der organischen Trockensubstanz (oTS) von über 90% und Methanausbeuten von 450-500 Normlitern ( $L_N$ ) je kg oTS erreichten dabei die Presssäfte von Maissilagen aus physiologisch jung geerntetem Mais und aus Grassilagen.

### 3 Material und Methoden

#### 3.1 Grünlandbestände

In Absprache mit dem Landwirtschaftsamt des Landkreises Waldshut (Ansprechpartner: Manfred Rünzi) wurden fünf extensiv bewirtschaftete Grünlandbestände im Biotop Talgrund bei Giersbach, Gemeinde Herrischried, südlicher Schwarzwald, als Untersuchungsflächen für dieses Projekt ausgewählt. Es handelte sich hierbei um zwei Magerrasen, ein Kleinseggenried, eine Hochstaudenflur und einen Borstgrasrasen (Abb. 2).



**Abb. 2:** Lage der fünf Grünlandbestände in der Landschaft

Die Grünlandstandorte liegen in einer Höhe von 850-860 m über NN über magmatischem Tiefengestein (Granit) und weisen eine Jahresdurchschnittstemperatur von 6°C sowie eine Jahresniederschlagssumme von 1520 mm auf (Abb. 3). Gemäß den Bewirtschaftungsvorgaben für extensives Grünland wurde in den Jahren 2006 und 2008 zur Probennahme jeweils eine späte Ernte durchgeführt. Die Termine der Ernten waren am 31.08.2006 und am 17.07.2008. Dazu wurde die Biomasse mit einem Balkenmäher auf drei zufällig bestimmten 25 m<sup>2</sup> großen Teilstücken innerhalb des Bestandes geerntet und der Ertrag der Trockenmasse (TM) in Tonnen (t) pro Hektar (ha) ermittelt.



**Abb. 3:** Versuchsflächen Magerrasen I und II in der Gemeinde Herrischried/Südbaden

Nach der Ernte wurde das Material mit einem Feldhäcksler bis auf eine Häcksellänge von ca. 1 cm zerkleinert und das Häckselgut per Hand in 50-L-Polyethylen-Fässern verdichtet. Diese wurden anschließend zur Silierung luftdicht verschlossen. Durch diese Form der Konservierung kann Biomasse gelagert werden und nach Bedarf zu einem späteren Zeitpunkt weiterverarbeitet werden. Dabei wird das Risiko von Fäulnis- und Rotteprozessen minimiert. Außerdem findet aufgrund der Silierung bereits ein mikrobieller Aufschluss der Pflanzenzellen statt, was eine spätere Verwertung nach dem IFBB-Verfahren begünstigt.

### **3.2 Hydrothermale Konditionierung und mechanische Entwässerung**

Die hydrothermale Konditionierung mit anschließender mechanischer Entwässerung wurde für alle Grünlandbiomassen in drei Temperaturstufen (5°C, 60°C, 80°C) durchgeführt. Dazu wurde zunächst das Maischwasser in einen Rundbetonmischer mit einem Mischvolumen von 700 L gefüllt und mit Gasbrennern auf die gewünschte Temperatur erhitzt (Abb. 4).

Nach Erreichen der Temperatur wurde das zu entwässernde Ausgangsmaterial (AM) im Massenverhältnis von 1:4 (AM:Wasser) zugegeben. Die Maische wurde bei Aufrechterhaltung der Temperatur für 15 Minuten kontinuierlich gerührt.



**Abb. 4:** Maischgerät mit Gasbrennern und Rührwerk.

Die darauf folgende mechanische Entwässerung der Maische erfolgte mittels einer Schneckenpresse vom Typ A<sub>V</sub> der Firma Anhydro, Kassel (Abb. 5). Die Steigung der Schnecke betrug 1:6, was eine sechsfache Volumenreduzierung der Biomasse am Ausgang der Presse im Vergleich zur Einfüllung bedeutete. Die Drehgeschwindigkeit lag bei 6 Umdrehungen pro Minute. In der Presse befand sich ein Sieb mit einer Lochung von 1,5 mm.

Für alle Proben des Ausgangsmaterials, des Ausgangsmaterials nach der Konditionierung, des Presssaftes und des Presskuchens wurden die Gehalte der Trockenmasse (TM) nach 48stündiger Trocknung bei 105°C und der Rohasche (XA) bei anschließender Veraschung im Muffelofen bei 550°C bestimmt.



**Abb. 5:** Schneckenpresse (li.) und Schnecken mit Siebkorb (re.).

### 3.3 Chemische Analyse des Ausgangsmaterials und des Presskuchens

Im Labor wurde die chemische Zusammensetzung des Ausgangsmaterials und des daraus gewonnenen Presskuchens untersucht. Mittels Röntgenfluoreszenzanalyse wurden die Gehalte an K, Mg, Ca, Cl und S bestimmt, mittels Elementaranalyse die Gehalte an C, H, N und O. Die dementsprechende Zusammensetzung des Presssaftes wurde berechnet. Dabei erfolgte die mathematische Bestimmung des Gehaltes eines beliebigen Inhaltsstoffes Z im Presssaft ( $Z_{PS}$ ) aus den Gehalten dieses Stoffes im Ausgangsmaterial (AM) und Presskuchen (PK) sowie den Anteilen von Presssaft (PS) und Presskuchen am Ausgangsmaterial nach der Konditionierung (AMK):

$$Z_{PS} = \frac{TM_{AMK} * Z_{AM} - Y * TM_{PK} * Z_{PK}}{X * TM_{PS}}$$

wobei X und Y die Mengen an PS und PK als Anteile vom AMK darstellten und wie folgt berechnet wurden:

$$X = \frac{TM_{PK} - TM_{AMK}}{TM_{PK} - TM_{PS}} \quad Y = 1 - X$$

Eine Charakterisierung der drei unterschiedlichen Phasen hinsichtlich ihrer Eignung zur energetischen Verwertung konnte dadurch vorgenommen werden. Zur Reduktion des laboranalytischen Aufwandes wurde dabei teilweise auf die am Fachgebiet erarbeiteten Kalibrationen der Nahinfrarotspektroskopie (NIRS) zurückgegriffen.

### 3.4 Massenflussberechnung

Durch die mechanische Entwässerung findet eine Separierung des Ausgangsmaterials in Presssaft und Presskuchen statt. Dabei werden die verschiedenen Inhaltsstoffe nicht proportional zur Massenseparierung aufgeteilt, sondern gehen zu unterschiedlichen Anteilen in Presssaft und Presskuchen über. Dieser stoffspezifische Anteil des Ausgangsmaterials, der in den Presssaft übergeht wird als Massenfluss eines Inhaltsstoffes in den Presssaft bezeichnet. Der Massenfluss (MF) der Trockenmasse (TM) und jedes anderen Inhaltsstoffes (Z) aus dem Ausgangsmaterial in den Presssaft (Gleichung 1 und 3) und den Presskuchen (Gleichung 2 und 4) wurde wie folgt bestimmt:

$$(1) \quad MF_{-TM_{PS}} = \frac{100 * X * TM_{PS}}{TM_{AMK}} \quad [\%] \quad (2) \quad MF_{-TM_{PK}} = 100 - MF_{-TM_{PS}} \quad [\%]$$

$$(3) \quad MF_{-Z_{PS}} = \frac{100 * X * TM_{PS} * Z_{PS}}{TM_{AMK} * Z_{AMK}} \quad [\%] \quad (4) \quad MF_{-Z_{PK}} = 100 - MF_{-Z_{PS}} \quad [\%]$$

### 3.5 Gärversuche mit Presssaft

Eine Ermittlung der Methanausbeuten erfolgte für die Presssäfte bei einer Vergärung in 20-L-Polyethylenbehältern nach einem Batch-Verfahren, das vom Landesbetrieb Hessisches Landeslabor am Standort Eichhof in Bad Hersfeld entwickelt wurde (ZERR, 2006). Dazu stand am Fachgebiet GNR ein Gärlabor mit 20 Versuchsfermentern zu Verfügung (Abb. 6). Diese waren mit einem Rührwerk ausgestattet, das über eine Zeitschaltuhr betrieben wurde. Während der gesamten Versuchsdauer drehte sich der Rührstab alle drei Stunden für jeweils 15 Minuten.



**Abb. 6:** Wasserbad mit Gärbehältern, Gärbehälter, Rührwerk (von li.).

Die Vergärung erfolgte im mesophilen Temperaturbereich. Dazu befanden sich jeweils vier Fermenter in einem Wasserbad, das über einen Titan-Heizstab, der mit einem Temperaturfühler gekoppelt war, auf 37°C erwärmt wurde. Eine kontinuierlich laufende Umwälzpumpe gewährleistete eine gleichmäßige Temperaturverteilung im Wasserbad. Die Behälter wurden zu Beginn eines Versuchsdurchlaufes mit ca. 15 kg Impfsubstrat aus einer Praxis-Biogasanlage befüllt. Zwei Behälter dienten jeweils als Kontrolle und bekamen kein Gärsubstrat zugefüttert. Die übrigen Behälter wurden mit 1500 g der zu untersuchenden Presssäfte jeweils in Doppelbestimmung befüllt.

Die Verweilzeit der Substrate im Fermenter betrug 14 Tage. 24 Stunden nach dem Beginn des Versuches erfolgte die erste Gasmessung, die anschließend einmal täglich wiederholt wurde. Bestimmt wurden die Gehalte an organischer Trockensubstanz, chemischem Sauerstoffbedarf (CSB), Gasmenge und Methangehalt, woraus sich die Methanausbeute und der Abbaugrad errechnen ließen.

### **3.6 Analyse der Brennstoffqualität von Ausgangsmaterial und Presskuchen**

Der Presskuchen soll nach der Trocknung als Festbrennstoff genutzt werden. Neben den Inhaltsstoffen, die die Brenneigenschaften (Aschezusammensetzung) und die Emissionen (Stick- und Schwefeloxide) beeinflussen, wurden der Heizwert und die Ascheerweichungstemperatur bestimmt. Als Vergleich wurde auch das frische, getrocknete Pflanzenmaterial auf die gleichen Inhaltsstoffe untersucht.

### **3.7 Kalkulation der Energie- und Treibhausgasbilanzen**

Je nach Ausgangsmaterial und Art der Konditionierung entstehen durch die mechanische Entwässerung unterschiedliche Stoffflüsse in den Presssaft und in den Presskuchen. Zum einen entscheidet dies über die Energieflüsse und -bilanzen des Verfahrens, zum anderen lassen sich im Vergleich mit fossilen Energieträgern die durch eine Biomassenutzung nach dem IFBB-Verfahren eingesparten Treibhausgase ermitteln. Diese Größen sind für eine systemare Bewertung des Konzeptes wichtig und wurden anhand der gewonnenen Daten berechnet. Gleichzeitig wurden Energie- und Treibhausgasbilanzen für eine Ganzpflanzenvergärung der Silage in einer herkömmlichen Biogasanlage berechnet.

Für die Energiebilanz wurden als Outputfaktoren die Strom- und Wärmeenergie aus der Biogasproduktion des Presssaftes bzw. der Silage sowie die Wärmeenergie des Presskuchens verwendet. Bei der Ganzpflanzenvergärung wurde ein Nutzungsgrad der Abwärme von 30% angenommen, so wie es dem Durchschnitt der Praxisbiogasanlagen in Deutschland entspricht.

Die verwendeten Input-Faktoren sind in Tab. 1 aufgeführt. Eine Ansaat bzw. Nachsaat ist für die Grünlandbestände nicht vorgesehen, da es sich um naturnahes Dauergrünland handelt. Ebenso wenig wurde eine Düngung mit einbezogen, da diese auf den extensiv bewirtschafteten Flächen nicht durchgeführt wird.

**Tab. 1:** Energieinput-Parameter der Energiebilanz.

<b>Energieinput-Parameter</b>	<b>Ganzpflanzen- vergärung</b>	<b>IFBB</b>
<b>Diesel:</b>		
Pflege, Ernte, Biomassetransport	49,02 kWh/t FM*	46,79 kWh/t FM
Pellettransport (30 km)	---	6,45 kWh/t FM
<b>Elektrizität:</b>		
Mechanische Entwässerung	---	14 kWh/t FM Silage
Betrieb der Biogasanlage	15,16 kWh/t FM Silage	0,45 kWh/t FM Presssaft
Trockengebläse, Presskuchentrocknung	---	6,94 kWh/t FM
Pelletierung, Presskuchen	---	113 kWh/t FM
<b>Wärme:</b>		
Hydrothermale Konditionierung, 60°C	---	52 kWh/t FM Silage
Hydrothermale Konditionierung, 80°C	---	72 kWh/t FM Silage
Fermenterbeheizung	27 kWh/t FM Silage	35 kWh/t FM Presssaft
Presskuchentrocknung	---	398 - 500 kWh/t FM

\* FM: Frischmasse

Die Treibhausgasbilanz verwendete die CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktoren von Diesel (309 g CO<sub>2</sub>/kWh), des deutschen Strommixes (589 g CO<sub>2</sub>/kWh) für die Stromenergie und von Heizöl und Erdgas (326 g CO<sub>2</sub>/kWh im Mittel) für die Wärmeenergie. Daneben wurden Methanverluste während der Biogaserzeugung und -verbrennung im BHKW von 1,5% der gesamten Methanproduktion angenommen und die N<sub>2</sub>O-Emissionen (17 g CO<sub>2</sub>äq/kWh) bei der Verbrennung der Pellets berechnet. Die Treibhausgasvermeidung in CO<sub>2</sub>-Äquivalenten (CO<sub>2</sub>äq) ist die Differenz aus den Emissionen der Inputfaktoren und den Emissionen der fossilen Energieträger, die durch den erzeugten Strom und die erzeugte Wärme ersetzt werden.



## 4 Ergebnisse

Aufgrund technischer Probleme bei der Silagebereitung und der mechanischen Entwässerung konnten die Biomassen des Borstgrasrasens nicht weiter verwertet und untersucht werden. Deshalb sind im Ergebnisteil nur noch die Erträge vorgestellt. Es ist jedoch basierend auf den Ergebnissen anderer Untersuchungen am Fachgebiet Grünlandwissenschaft und Nachwachsende Rohstoffe davon auszugehen, dass der Borstgrasrasen in seiner energetischen Verwertung vergleichbar mit einem Magerrasen ist.

### 4.1 Erträge

Die Erträge der Trockenmasse (TM) lagen im Jahr 2006 zwischen 3,18 und 10,27 t/ha, im Jahr 2008 aufgrund des früheren Erntetermins etwas geringer zwischen 3,05 und 8,17 t/ha (Tab. 2). Während die Hochstaudenflur in beiden Jahren die höchsten und der Borstgrasrasen in beiden Jahren den geringsten Ertrag erzielten, lagen die Erträge des Kleinseggenrieds im Jahr 2006 über und im Jahr 2008 unter denen des Magerrasens II.

**Tab. 2:** Erträge und dominierende Pflanzenarten der fünf Grünlandbestände.

---

<b>Grünlandbestand</b>	<b>TM-Ertrag (t/ha) 31.08.2006</b>	<b>TM-Ertrag (t/ha) 17.07.2008</b>	<b>Dominierende Pflanzenarten</b>
Magerrasen I	3,64	3,48	Rotes Straußgras, Johanniskraut, Wolliges Honiggras, Glatthafer
Magerrasen II	4,94	5,23	Wiesenlabkraut, Rotes Straußgras, Johanniskraut, Glatthafer
Kleinseggenried	5,75	4,66	Braun-Segge, Grau-Segge
Hochstaudenflur	10,27	8,17	Wald-Simse, Echtes Mädesüß
Borstgrasrasen	3,18	3,05	Borstgras, Vielblütige Hainsimse, Blutwurz, G. Kreuzblume

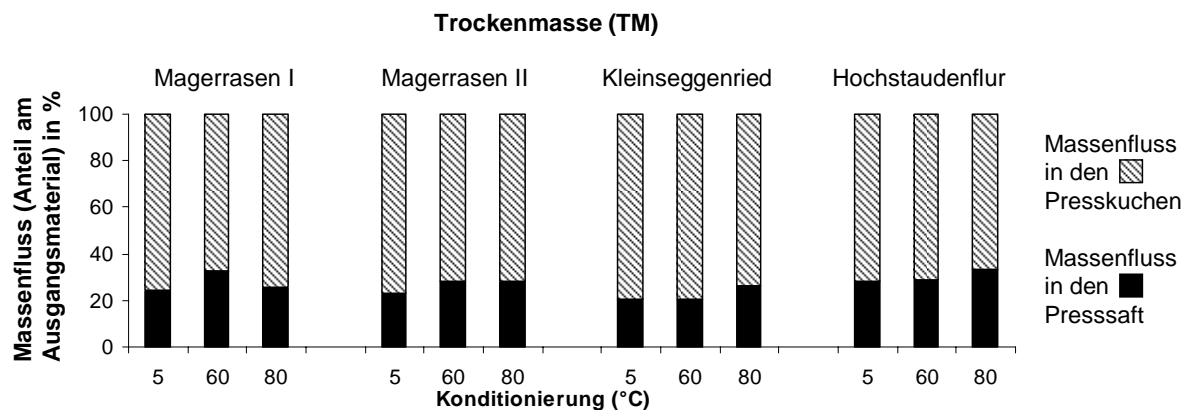
---

## 4.2 Massenflüsse in den Presssaft und den Presskuchen

Im Folgenden werden die Massenflüsse der für die energetische Verwertung relevanten Inhaltsstoffe in den Presssaft und den Presskuchen beschrieben, wobei jeweils der Mittelwert der beiden Beprobungsjahre 2006 und 2008 dargestellt ist.

### Massenfluss der Trockenmasse

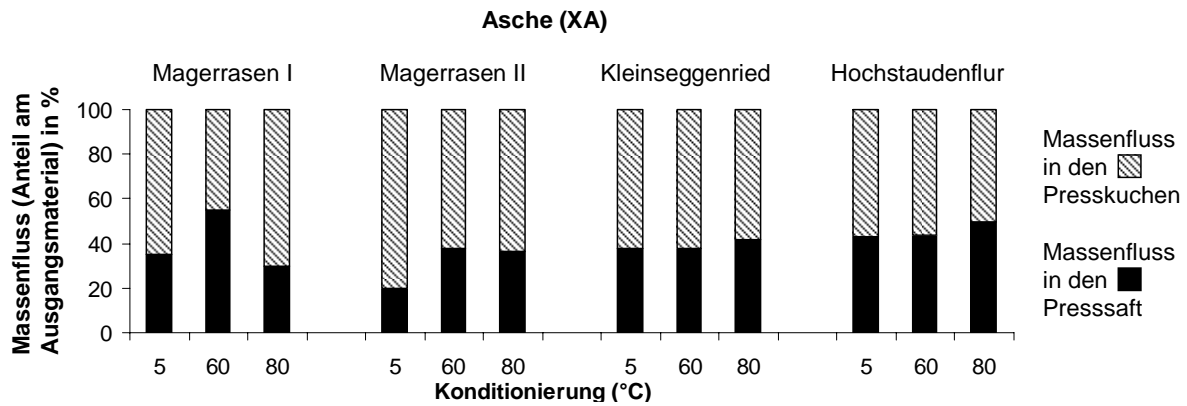
Im Mittel aller Grünlandbestände und Konditionierungstemperaturen fanden sich 27% der Trockenmasse des Ausgangsmaterials im Presssaft wieder, die übrigen 73% im Presskuchen (Abb. 7). Die höchsten TM-Massenflüsse erzielte die Hochstaudenflur, die geringsten das Kleinseggenried. Tendenziell erzielten die warm konditionierten Varianten (60°C und 80°C) höhere TM-Massenflüsse in den Presssaft als die 5°C-Varianten.



**Abb. 7:** Massenflüsse der Trockenmasse in den Presssaft und den Presskuchen bei unterschiedlichen Temperaturen der hydrothermalen Konditionierung.

### Massenfluss der Asche

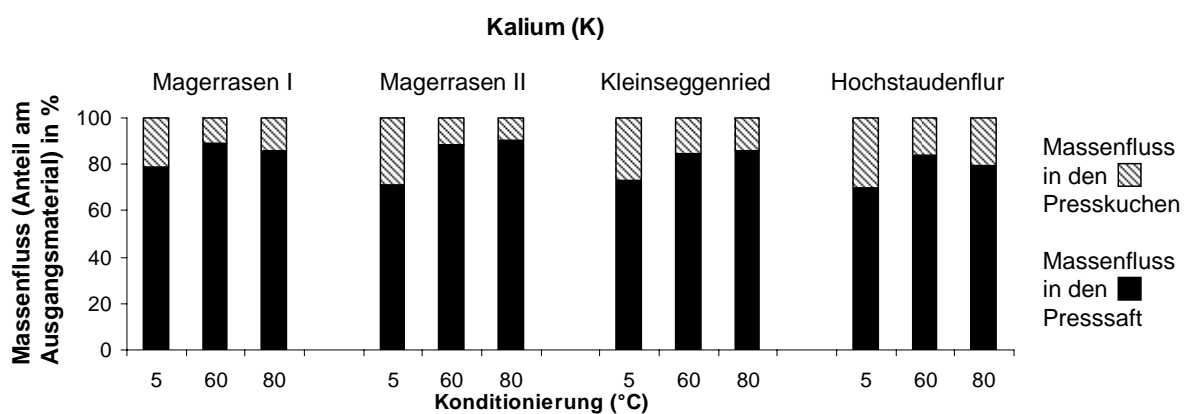
Im Mittel aller Grünlandbestände und Konditionierungstemperaturen fanden sich 39% der Asche des Ausgangsmaterials im Presssaft wieder, die übrigen 61% im Presskuchen (Abb. 8). Damit war der Massenfluss der Asche in den Presssaft größer als der Massenfluss der Trockenmasse, was zu einer Ascheanreicherung im Presssaft führte. Die höchsten Asche-Massenflüsse erzielte insgesamt die Hochstaudenflur, wobei die 60°C-Variante des Magerrasen I mit 55% den höchsten Einzelwert erreichte. Die geringsten Massenflüsse erzielte der Magerrasen II. Tendenziell erzielten die warm konditionierten Varianten (60°C und 80°C) höhere Asche-Massenflüsse in den Presssaft als die 5°C-Varianten.



**Abb. 8:** Massenflüsse der Asche in den Presssaft und den Presskuchen bei unterschiedlichen Temperaturen der hydrothermalen Konditionierung.

### Massenfluss des Kaliums

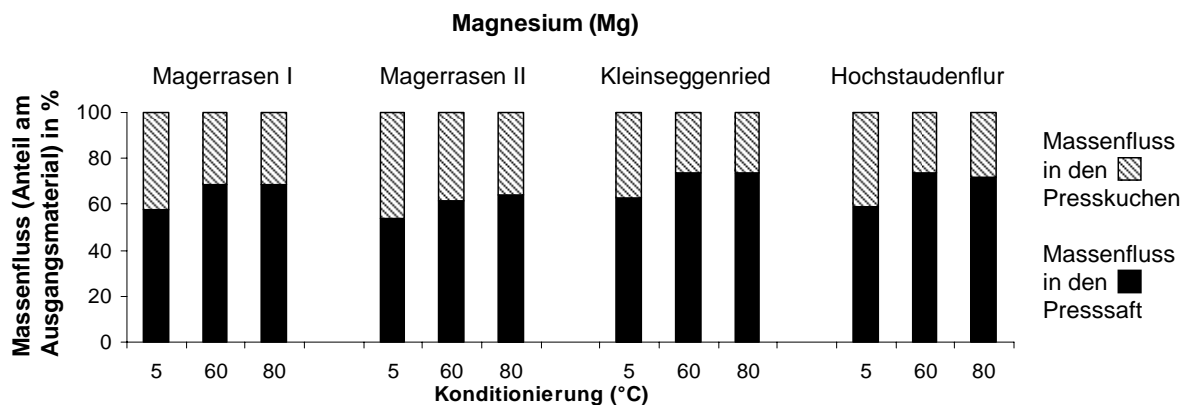
Im Mittel aller Grünlandbestände und Konditionierungstemperaturen fanden sich 82% des Kaliums des Ausgangsmaterials im Presssaft wieder, die übrigen 18% im Presskuchen (Abb. 8). Damit war der Massenfluss des Kaliums in den Presssaft deutlich größer als der Massenfluss der Trockenmasse, was zu einer Kaliumanreicherung im Presssaft führte. Kalium ist ein wichtiger Pflanzennährstoff und kann nach der Vergärung des Presssaftes mit dem Gärrest als Dünger wieder auf landwirtschaftliche Flächen ausgebracht werden. Somit können 82% des dem Boden entzogenen Kaliums im Sinne von nachhaltigen Nährstoffkreisläufen wieder dem Boden zugeführt werden. Die Kalium-Massenflüsse waren für alle Grünlandbestände sehr ähnlich. Tendenziell erzielten die warm konditionierten Varianten (60°C und 80°C) höhere Kalium-Massenflüsse in den Presssaft als die 5°C-Varianten.



**Abb. 9:** Massenflüsse des Kaliums in den Presssaft und den Presskuchen bei unterschiedlichen Temperaturen der hydrothermalen Konditionierung.

## Massenfluss des Magnesiums

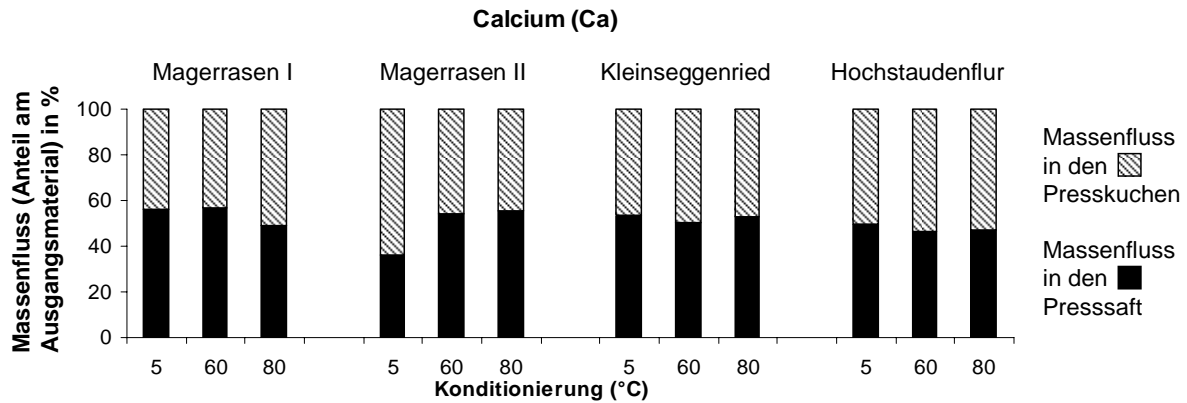
Im Mittel aller Grünlandbestände und Konditionierungstemperaturen fanden sich 66% des Magnesiums des Ausgangsmaterials im Presssaft wieder, die übrigen 34% im Presskuchen (Abb. 10). Damit war der Massenfluss des Magnesiums in den Presssaft deutlich größer als der Massenfluss der Trockenmasse, was zu einer Magnesiumanreicherung im Presssaft führte. Magnesium ist ein wichtiger Pflanzennährstoff und kann nach der Vergärung des Presssaftes mit dem Gärrest als Dünger wieder auf landwirtschaftliche Flächen ausgebracht werden. Somit können 66% des dem Boden entzogenen Magnesiums im Sinne von nachhaltigen Nährstoffkreisläufen wieder dem Boden zugeführt werden. Die höchsten Magnesium-Massenflüsse erzielte das Kleinseggenried, die geringsten der Magerrasen II. Tendenziell erzielten die warm konditionierten Varianten (60°C und 80°C) höhere Magnesium-Massenflüsse in den Presssaft als die 5°C-Varianten.



**Abb. 10:** Massenflüsse des Magnesiums in den Presssaft und den Presskuchen bei unterschiedlichen Temperaturen der hydrothermalen Konditionierung.

## Massenfluss des Calciums

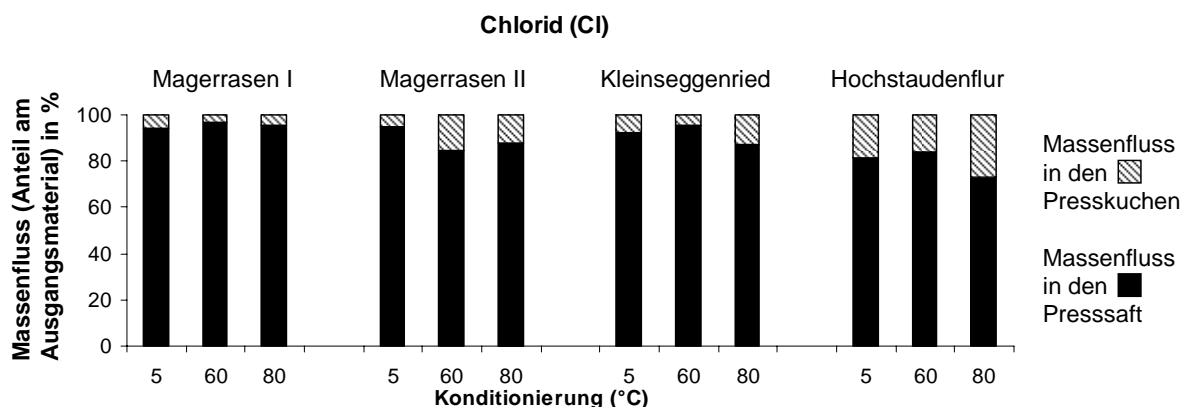
Im Mittel aller Grünlandbestände und Konditionierungstemperaturen fanden sich 51% des Calciums des Ausgangsmaterials im Presssaft wieder, die übrigen 49% im Presskuchen (Abb. 11). Damit war der Massenfluss des Calciums in den Presssaft deutlich größer als der Massenfluss der Trockenmasse, was zu einer Calciumanreicherung im Presssaft führte. Calcium ist ein wichtiger Pflanzennährstoff und kann nach der Vergärung des Presssaftes mit dem Gärrest als Dünger wieder auf landwirtschaftliche Flächen ausgebracht werden. Somit können 51% des dem Boden entzogenen Calciums im Sinne von nachhaltigen Nährstoffkreisläufen wieder dem Boden zugeführt werden. Die höchsten Calcium-Massenflüsse erzielte der Magerrasen I, die geringsten die Hochstaudenflur. In Bezug auf die Calcium-Massenflüsse in den Presssaft gab es keinen eindeutigen Einfluss der Konditionierungstemperatur.



**Abb. 11:** Massenflüsse der Calcium in den Presssaft und den Presskuchen bei unterschiedlichen Temperaturen der hydrothermalen Konditionierung.

### Massenfluss des Chlorids

Im Mittel aller Grünlandbestände und Konditionierungstemperaturen fanden sich 89% des Chlorids des Ausgangsmaterials im Presssaft wieder, die übrigen 11% im Presskuchen (Abb. 12). Damit war der Massenfluss des Chlorids in den Presssaft deutlich größer als der Massenfluss der Trockenmasse, was zu einer Chloridanreicherung im Presssaft führte. Die höchsten Chlorid-Massenflüsse erzielte der Magerrasen I, die geringsten die Hochstaudenflur. In Bezug auf die Chlorid-Massenflüsse in den Presssaft gab es keinen eindeutigen Einfluss der Konditionierungstemperatur.

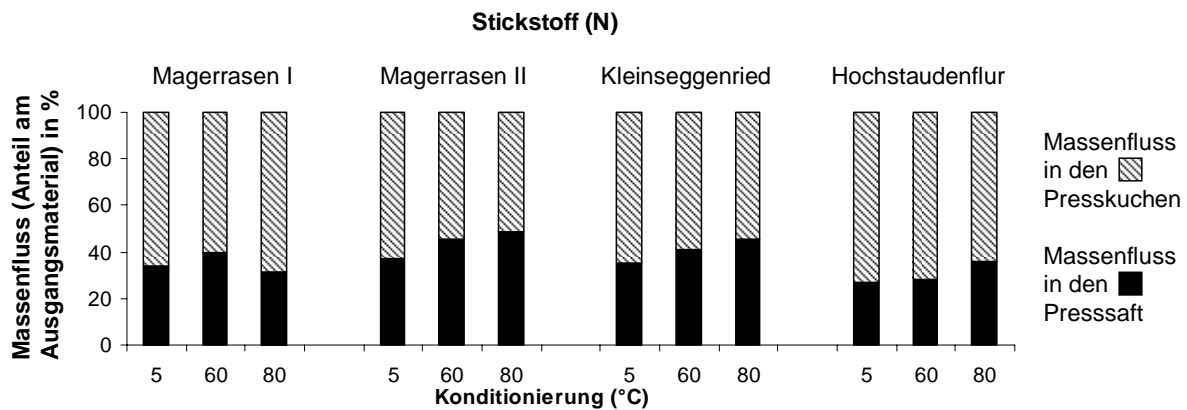


**Abb. 12:** Massenflüsse des Chlorids in den Presssaft und den Presskuchen bei unterschiedlichen Temperaturen der hydrothermalen Konditionierung.

### Massenfluss des Stickstoffs

Im Mittel aller Grünlandbestände und Konditionierungstemperaturen fanden sich 37% des Stickstoffs des Ausgangsmaterials im Presssaft wieder, die übrigen 63% im Presskuchen (Abb. 13). Damit war der Massenfluss des Stickstoffs in den Presssaft etwas größer als der Massenfluss der Trockenmasse, was zu einer leichten Stickstoffanreicherung im Presssaft

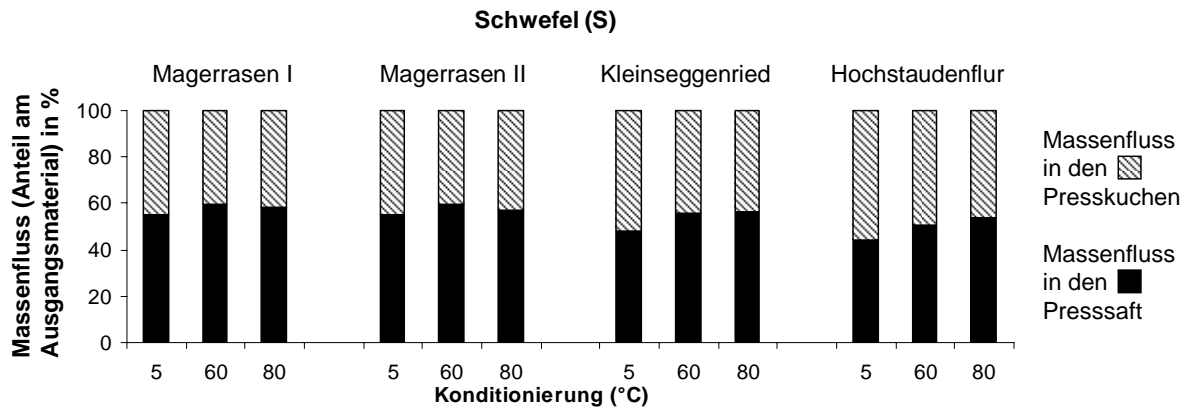
führte. Stickstoff ist ein wichtiger Pflanzennährstoff und kann nach der Vergärung des Presssaftes mit dem Gärrest als Dünger wieder auf landwirtschaftliche Flächen ausgebracht werden. Somit können 37% des dem Boden entzogenen Stickstoffs im Sinne von nachhaltigen Nährstoffkreisläufen wieder dem Boden zugeführt werden. Die höchsten Stickstoff-Massenflüsse erzielte der Magerrasen II, die geringsten die Hochstaudenflur. Tendenziell erzielten die warm konditionierten Varianten (60°C und 80°C) höhere Stickstoff-Massenflüsse in den Presssaft als die 5°C-Varianten.



**Abb. 13:** Massenflüsse des Stickstoffs in den Presssaft und den Presskuchen bei unterschiedlichen Temperaturen der hydrothermalen Konditionierung.

### Massenfluss des Schwefels

Im Mittel aller Grünlandbestände und Konditionierungstemperaturen fanden sich 54% des Schwefels des Ausgangsmaterials im Presssaft wieder, die übrigen 46% im Presskuchen (Abb. 14). Damit war der Massenfluss des Schwefels in den Presssaft deutlich größer als der Massenfluss der Trockenmasse, was zu einer Schwefelanreicherung im Presssaft führte. Schwefel ist ein wichtiger Pflanzennährstoff und kann nach der Vergärung des Presssaftes mit dem Gärrest als Dünger wieder auf landwirtschaftliche Flächen ausgebracht werden. Somit können 54% des dem Boden entzogenen Schwefels im Sinne von nachhaltigen Nährstoffkreisläufen wieder dem Boden zugeführt werden. Die höchsten Schwefel-Massenflüsse erzielte der Magerrasen I, die geringsten die Hochstaudenflur. Tendenziell erzielten die warm konditionierten Varianten (60°C und 80°C) höhere Schwefel-Massenflüsse in den Presssaft als die 5°C-Varianten.



**Abb. 14:** Massenflüsse des Schwefels in den Presssaft und den Presskuchen bei unterschiedlichen Temperaturen der hydrothermalen Konditionierung.

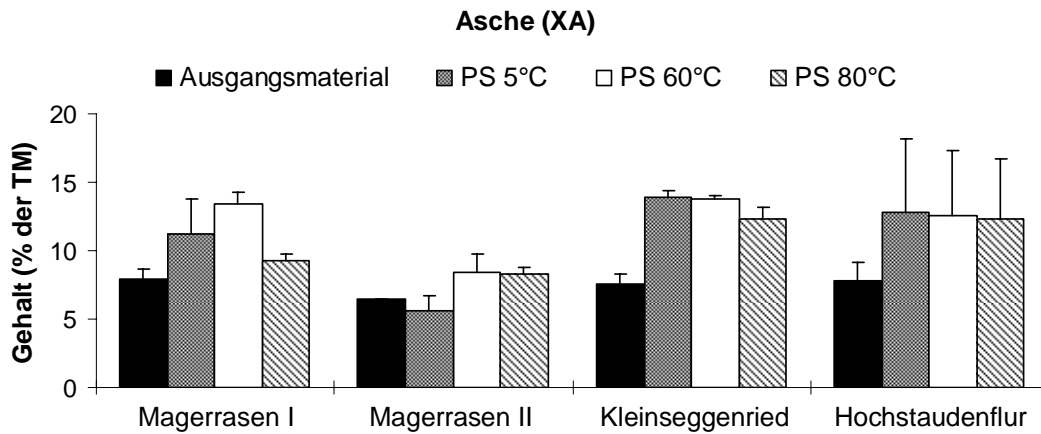
### 4.3 Presssaft als Substrat zur Biogaszeugung

#### 4.3.1 Chemische Zusammensetzung des Presssaftes

Im Folgenden werden die Gehalte der Rohasche und der organischen Nährstofffraktionen gemäß der Weender Futtermittelanalyse im Ausgangsmaterial und in den Presssäften der drei unterschiedlichen Konditionierungstemperaturen vorgestellt. Die Säulen zeigen jeweils den Mittelwert der beiden Beprobungsjahre 2006 und 2008, der Fehlerbalken zeigt den Standardfehler dieses Mittelwertes als Maß für die Abweichung zwischen den Beprobungsjahren. Generell wird durch das IFBB-Verfahren angestrebt im Presssaft die Gehalte an schlecht vergärbaren Lignocellulosen, die in der Rohfaser-Fraktion enthalten sind, zu senken und die Gehalte an leicht vergärbaren Substanzen wie Proteinen (Rohprotein-Fraktion), Fetten (Rohfett-Fraktion) oder leicht löslichen Kohlenhydraten (NfE-Fraktion) zu erhöhen.

#### Aschegehalte im Presssaft

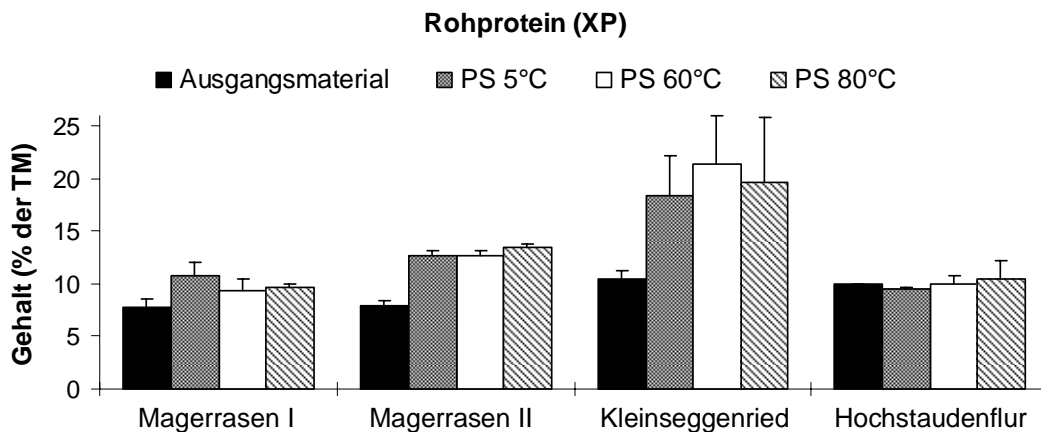
Die Aschegehalte erhöhten sich in den Presssäften im Mittel aller Bestände und Konditionierungstemperaturen um 50% gegenüber dem Ausgangsmaterial (Abb. 15). Die stärkste Erhöhung fand im Kleinseggenried statt, die geringste im Magerrasen II. Die Abweichung zwischen den beiden Beprobungsjahren war in der Hochstaudenflur sehr groß (2008 wies deutlich stärkere Erhöhungen auf), in den übrigen Beständen jedoch moderat. Die Konditionierungstemperatur zeigte keinen eindeutigen Einfluss auf die Aschegehalte in den unterschiedlichen Presssaft-Varianten.



**Abb. 15:** Asche-Gehalte im Ausgangsmaterial (Silage) und im Presssaft bei unterschiedlichen Temperaturen der hydrothermalen Konditionierung.

### Rohproteingehalte im Presssaft

Die Rohproteingehalte erhöhten sich in den Presssäften im Mittel aller Bestände und Konditionierungstemperaturen um 45% gegenüber dem Ausgangsmaterial (Abb. 16). Die stärkste Erhöhung fand im Kleinseggenried statt, in der Hochstaudenflur blieben die Gehalte nahezu gleich. Die Abweichung zwischen den beiden Beprobungsjahren war im Kleinseggenried sehr groß (2008 wies deutlich stärkere Erhöhungen auf), in den übrigen Beständen jedoch relativ gering. Die Konditionierungstemperatur zeigte keinen eindeutigen Einfluss auf die Rohproteingehalte in den unterschiedlichen Presssaft-Varianten.



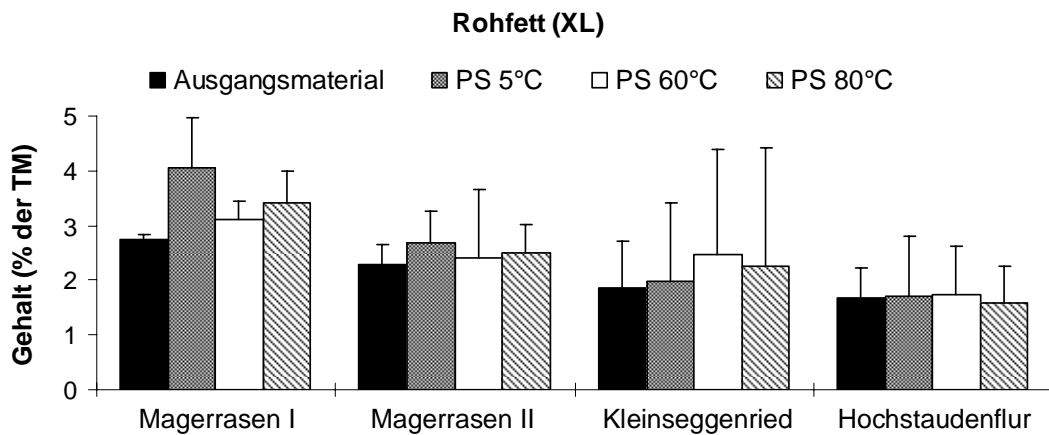
**Abb. 16:** Rohprotein-Gehalte im Ausgangsmaterial (Silage) und im Presssaft bei unterschiedlichen Temperaturen der hydrothermalen Konditionierung.

### Rohfettgehalte im Presssaft

Die Rohfettgehalte erhöhten sich in den Presssäften im Mittel aller Bestände und Konditionierungstemperaturen um 15% gegenüber dem Ausgangsmaterial (Abb. 17). Die stärkste Erhöhung fand im Magerrasen I statt, in der Hochstaudenflur blieben die Gehalte nahezu



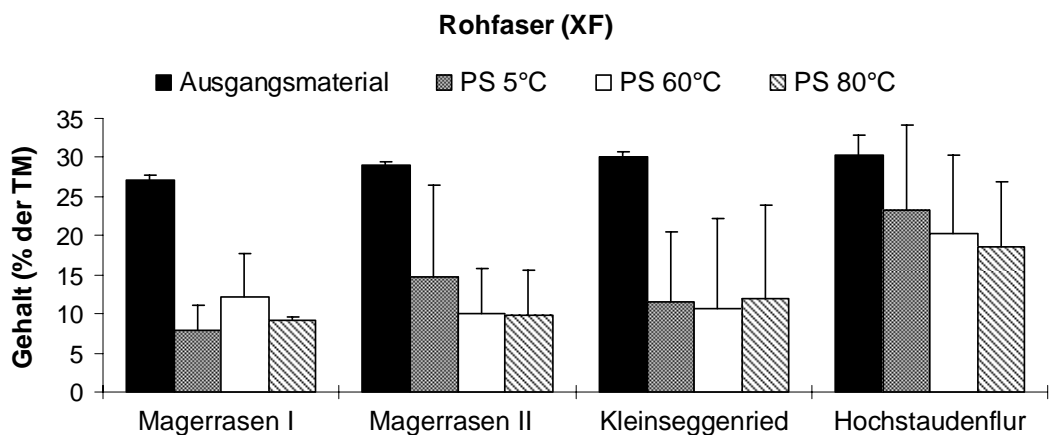
gleich. Insgesamt waren die Abweichung zwischen den beiden Beprobungsjahren relativ groß (2008 wies deutlich stärkere Erhöhungen auf). Die Konditionierungstemperatur zeigte keinen eindeutigen Einfluss auf die Rohfettgehalte in den unterschiedlichen Presssaft-Varianten.



**Abb. 17:** Rohfett-Gehalte im Ausgangsmaterial (Silage) und im Presssaft bei unterschiedlichen Temperaturen der hydrothermalen Konditionierung.

### Rohfasergehalte im Presssaft

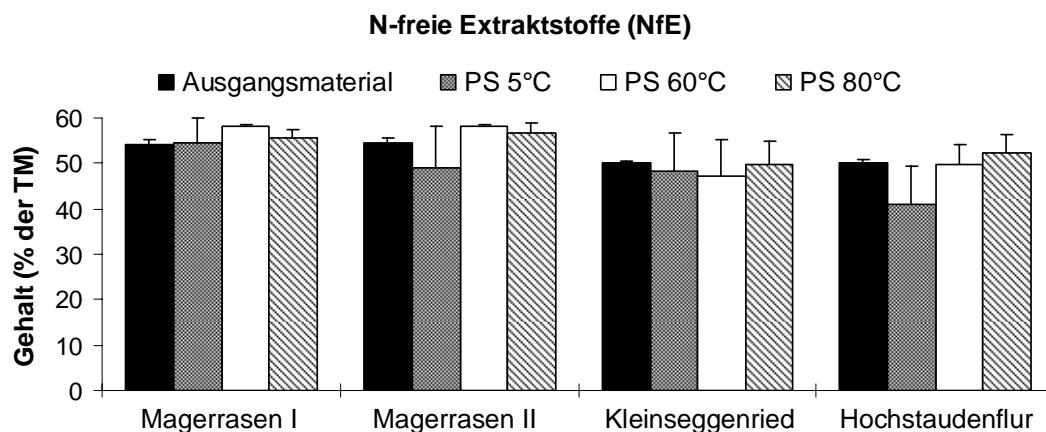
Die Rohfasergehalte reduzierten sich in den Presssäften im Mittel aller Bestände und Konditionierungstemperaturen um 55% gegenüber dem Ausgangsmaterial (Abb. 18). Die stärkste Reduzierung fand im Magerrasen I statt, die geringsten in der Hochstaudenflur. Insgesamt waren die Abweichungen zwischen den beiden Beprobungsjahren sehr groß (2008 wies deutlich stärkere Reduzierungen auf). Im Magerrasen II und der Hochstaudenflur zeigte sich eine Tendenz hin zu niedrigeren Gehalten bei höheren Konditionierungstemperaturen.



**Abb. 18:** Rohfaser-Gehalte im Ausgangsmaterial (Silage) und im Presssaft bei unterschiedlichen Temperaturen der hydrothermalen Konditionierung.

### Gehalte an N-freien Extraktstoffen im Presssaft

In Bezug auf die NfE-Gehalte in den Presssäften zeigte sich im Mittel aller Bestände und Konditionierungstemperaturen keine eindeutige Tendenz hin zu einer Erhöhung oder einer Reduzierung (Abb. 19). Insgesamt waren die Abweichung zwischen den beiden Beprobungsjahren moderat. Auch die Konditionierungstemperatur zeigte keinen eindeutigen Einfluss auf die NfE-Gehalte in den unterschiedlichen Presssaft-Varianten.



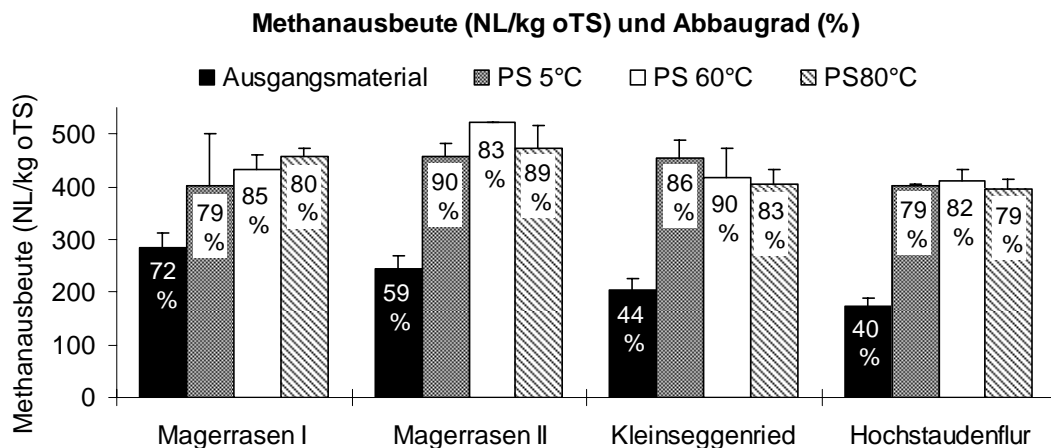
**Abb. 19:** NfE-Gehalte im Ausgangsmaterial (Silage) und im Presssaft bei unterschiedlichen Temperaturen der hydrothermalen Konditionierung.

#### 4.3.2 Methanausbeute und Methanertrag des Presssaftes

Im Folgenden werden die Methanausbeuten und Methanerträge im Ausgangsmaterial (Ganzpflanzsilage) und in den Presssäften der drei unterschiedlichen Konditionierungstemperaturen als Ergebnisse der durchgeführten Gärversuche im Batch-Verfahren vorgestellt. Die Säulen zeigen jeweils den Mittelwert der beiden Beprobungsjahre 2006 und 2008, der Fehlerbalken zeigt den Standardfehler dieses Mittelwertes als Maß für die Abweichung zwischen den Beprobungsjahren.

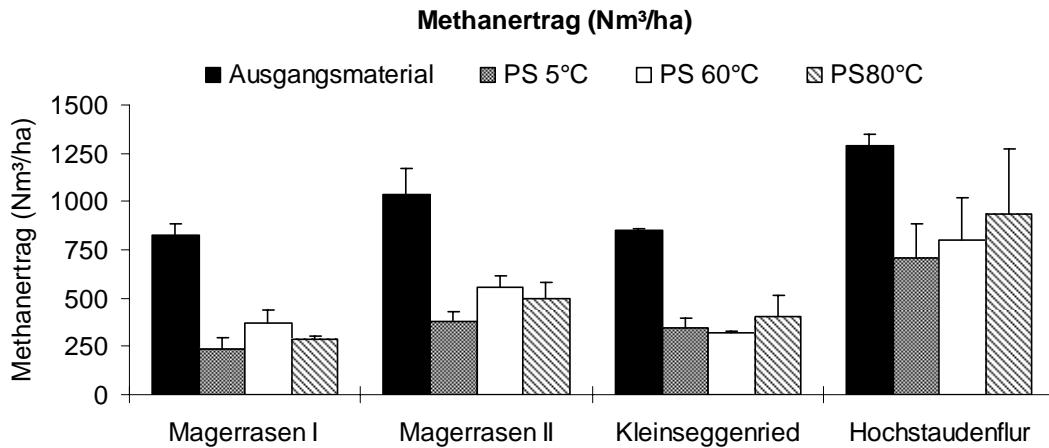
Die Vergärung des Ausgangsmaterials erzielte eine relativ große Spannbreite von spezifischen Methanausbeuten zwischen 173 und 284 Normlitern ( $L_N$ ) pro kg organische Trockensubstanz (oTS) mit Abbaugraden der organischen Substanz zwischen 40 und 72% (Abb. 20). Dabei war ein klarer Gradient vom Magerrasen I über den Magerrasen II und das Kleinseggenried bis zur Hochstaudenflur sowie eine deutliche lineare Abhängigkeit von Methanausbeute und Abbaugrad zu erkennen. Die deutlich höheren Methanausbeuten der Presssäfte von 396 bis 521  $L_N$ /kg oTS deuteten auf eine sehr gute Vergärbarkeit hin, was durch die ebenfalls hohen Abbaugrade der organischen Substanz von 79 bis 90% belegt wurde. Dabei ließ sich insgesamt kein eindeutiger Trend für eine Abhängigkeit der Methanausbeute von der Kondi-

tionierungstemperatur ersehen. Insgesamt verlief der Hauptteil der Methanproduktion (ca. 90%) in denn ersten vier Tagen des Gärversuches ab, so dass ab dem fünften Tag nur noch geringe tägliche Methanmengen gebildet wurden. Die höchsten Methanausbeuten erzielten die Presssäfte des Magerrasen II, die geringsten die Presssäfte der Hochstaudenflur. Es bestand keine direkte Abhängigkeit zwischen den Abbaugraden der organischen Substanz und den Methanausbeuten.



**Abb. 20:** Spezifische Methanausbeuten und Abbaugrade der organischen Substanz von Ganzpflanzensilage (Ausgangsmaterial) und dazugehörigen Presssäften nach einer Konditionierung bei 5°C, 60°C und 80°C.

Bezogen auf die Fläche von 1 ha unter Einbeziehung der spezifischen Ernteerträge, Methanausbeuten und TM-Massenflüsse zeigte sich ein differenziertes Bild der Methanerträge aus den Presssäften der unterschiedlichen Grünlandbestände (Abb. 21). Die höchsten Methanerträge lieferte die Hochstaudenflur mit 708-939 Normkubikmetern (Nm<sup>3</sup>)/ha, obwohl die spezifischen Methanausbeuten für diesen Bestand am geringsten waren. Das lag vor allen Dingen an den hohen Ernteerträgen, die denen der anderen Bestände weit überlegen waren. Die Methanerträge aus den Presssäften der übrigen drei Bestände waren vergleichbar und lagen zwischen 236 und 556 Nm<sup>3</sup>/ha. Demgegenüber waren die Methanerträge aus der Ganzpflanzensilage jeweils höher als die aus den dazugehörigen Presssäften. Das lag daran, dass die gesamte organische Masse zur Vergärung eingesetzt wurde, während die Presssäfte nur 27% (TM-Massenfluss) der organischen Masse bildeten, während die übrigen 73% in den Presskuchen übergingen. Dennoch betragen die Methanerträge der Presssäfte durchweg mehr als 27% der Methanerträge des Ausgangsmaterials und erreichten Werte von 36% (Magerrasen I), 46% (Magerrasen II), 42% (Kleinseggenried) und 63% (Hochstaudenflur).



**Abb. 21: Flächenbezogene Methanproduktion** von Ganzpflanzensilage (Ausgangsmaterial) und dazugehörigen Presssäften nach einer Konditionierung bei 5°C, 60°C und 80°C.

Die Abweichung zwischen den beiden Beprobungsjahren war insgesamt moderat, außer bei der Hochstaudenflur, die im Jahr 2006 deutlich höhere Methanerträge als im Jahr 2008 verzeichnete, was auf einen höheren Ernteertrag und höhere TM-Massenflüsse zurückzuführen war. In den beiden Magerrasen erzielten die 60°C-Presssäfte die höchsten Methanerträge, während dies im Kleinseggenried und der Hochstaudenflur bei den 80°C-Presssäften der Fall war.

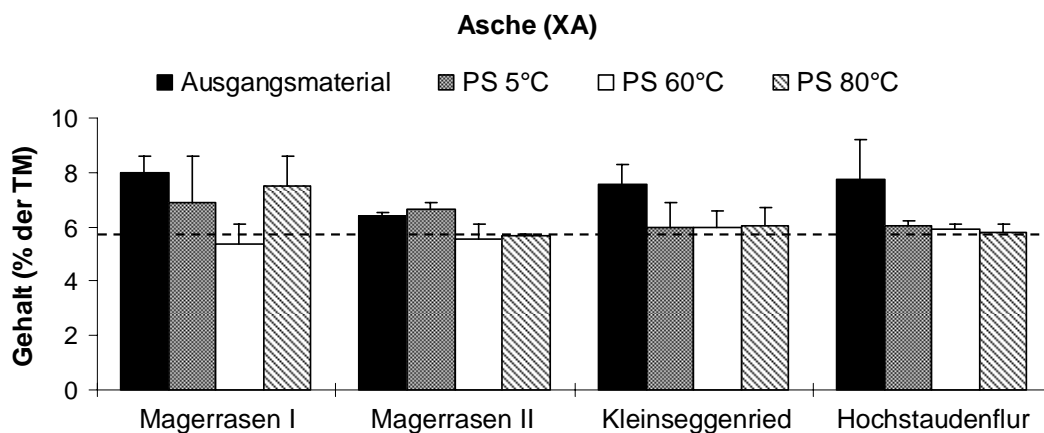
#### 4.4 Presskuchen als Festbrennstoff

##### 4.4.1 Chemische Zusammensetzung des Presskuchens

Im Folgenden werden die Gehalte der für die Verbrennung relevanten Elemente im Ausgangsmaterial und in den Presskuchen der drei unterschiedlichen Konditionierungstemperaturen vorgestellt. Die Säulen zeigen jeweils den Mittelwert der beiden Beprobungsjahre 2006 und 2008, der Fehlerbalken zeigt den Standardfehler dieses Mittelwertes als Maß für die Abweichung zwischen den Beprobungsjahren. Generell wird durch das IFBB-Verfahren angestrebt im Presskuchen die Aschegehalte und die Gehalte der für die Verbrennung schädlichen Elemente (Kalium, Magnesium, Chlor, Stickstoff und Schwefel) zu reduzieren und den Gehalt von Calcium, das bei der Verbrennung positiv wirkt, konstant zu halten. Im Vergleich werden die Elementgehalte von Weizenstroh, einem anderen gängigen aus der Landwirtschaft stammenden Brennstoff, aufgeführt (HARTMANN, 2001).

### Asche-Gehalte im Presskuchen

Hohe Aschegehalte im Brennstoff führen zu höheren Partikelemissionen und zu einem höheren Ascheaufkommen. Damit ist eine komplexere Verbrennungstechnologie notwendig und der Aufwand bei der Entaschung, dem Aschetransport und der Aschelagerung erhöht sich. Deshalb ist ein möglichst geringer Aschegehalt bei Brennstoffen anzustreben. In diesem Versuch konnten die Aschegehalte in den Presskuchen im Mittel aller Bestände und Konditionierungstemperaturen um 18% gegenüber dem Ausgangsmaterial reduziert werden (Abb. 22). Damit wurde das Niveau von Weizenstroh erreicht. Die stärkste Reduzierung fand im Magerrasen I beim 60°C-Presssaft statt, die geringste im Magerrasen II. Die Abweichung zwischen den beiden Beprobungsjahren war im Magerrasen I sehr groß (2008 wies deutlich stärkere Reduzierungen auf), in den übrigen Beständen jedoch moderat. Die Konditionierungstemperatur zeigte keinen eindeutigen Einfluss auf die Aschegehalte in den unterschiedlichen Presskuchen-Varianten.

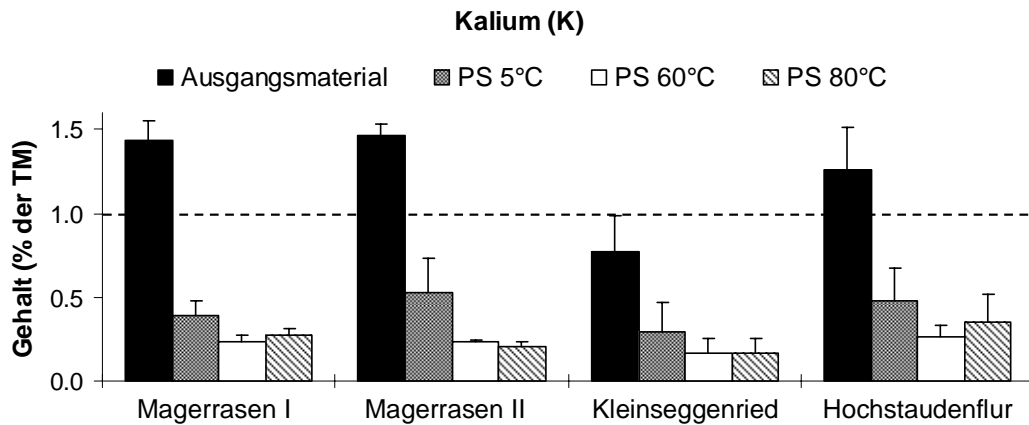


**Abb. 22:** Asche-Gehalte im Ausgangsmaterial und den dazugehörigen Presskuchen nach einer Konditionierung bei 5°C, 60°C und 80°C. Die gestrichelte Linie gibt den Asche-Gehalt von Weizenstroh wieder.

### Kalium-Gehalte im Presskuchen

Kalium ruft bei der Verbrennung Korrosionen im Brennkessel hervor und senkt die Ascheerweichungstemperatur, so dass die Asche schon bei geringeren Temperaturen schmilzt und im Brennkessel und am Schubrost anbacken kann. Deshalb ist ein möglichst geringer Kaliumgehalt bei Brennstoffen anzustreben. In diesem Versuch konnten die Kaliumgehalte in den Presskuchen im Mittel aller Bestände und Konditionierungstemperaturen um 75% gegenüber dem Ausgangsmaterial reduziert werden (Abb. 23). Damit wurde das Niveau von Weizenstroh deutlich unterschritten. Kalium ist im pflanzlichen Zellsaft gelöst und kann deshalb in

den Prozessschritten der hydrothermalen Konditionierung und mechanischen Entwässerung gut ausgewaschen werden.

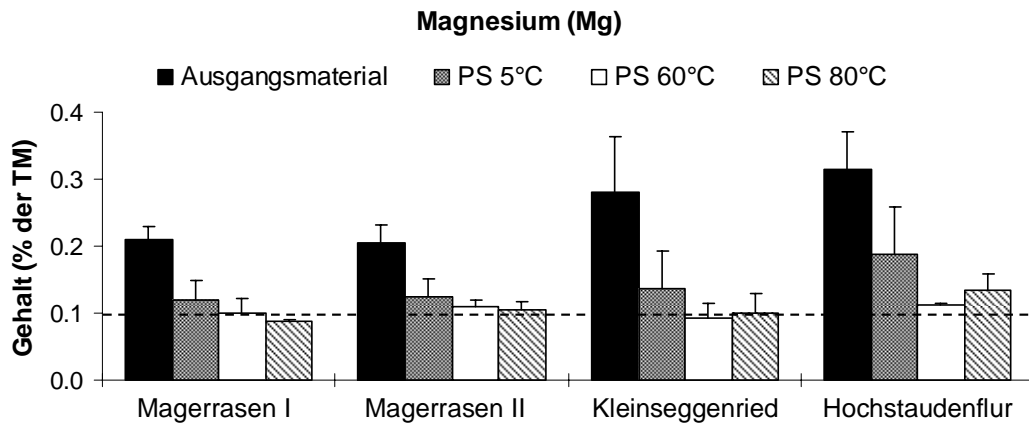


**Abb. 23:** Kalium-Gehalte im Ausgangsmaterial und den dazugehörigen Presskuchen nach einer Konditionierung bei 5°C, 60°C und 80°C. Die gestrichelte Linie gibt den Kalium-Gehalt von Weizenstroh wieder.

Die stärkste Reduzierung fand im Magerrasen I statt, die geringste in der Hochstaudenflur. Im Kleinseggenried war schon die Konzentration im Ausgangsmaterial sehr niedrig und lag unter dem Gehalt von Weizenstroh und deutlich unter dem der anderen Bestände. Die Abweichung zwischen den beiden Beprobungsjahren war insgesamt moderat. Tendenziell waren die Kaliumgehalte in den warm konditionierten Presskuchen (60°C und 80°C) stärker reduziert als in den 5°C-Presskuchen.

### Magnesium-Gehalte im Presskuchen

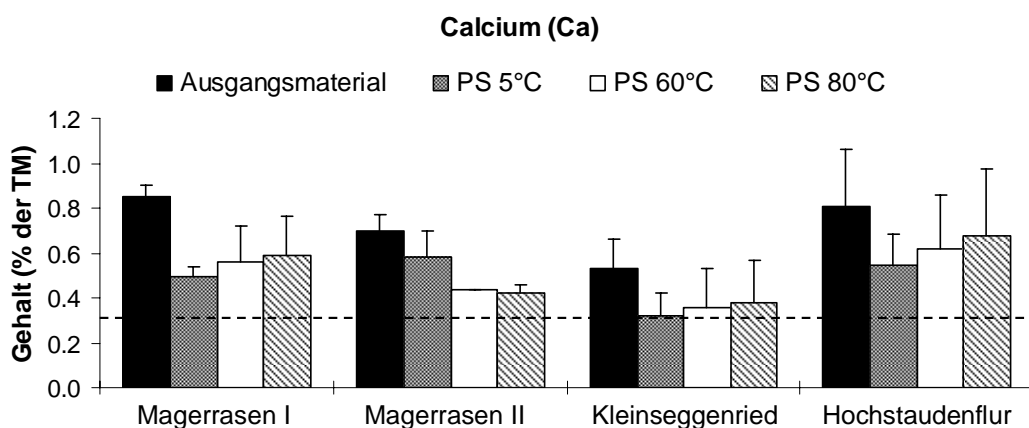
Wie Kalium führt auch Magnesium zu einer niedrigen Ascheerweichungstemperatur. Deshalb ist ein möglichst geringer Magnesiumgehalt bei Brennstoffen anzustreben. In diesem Versuch konnten die Magnesiumgehalte in den Presskuchen im Mittel aller Bestände und Konditionierungstemperaturen um 54% gegenüber dem Ausgangsmaterial reduziert werden (Abb. 24). Damit wurde das Niveau von Weizenstroh bei den warm konditionierten Presskuchen (60°C und 80°C) erreicht, deren Magnesiumgehalte tendenziell stärker reduziert waren als in den 5°C-Presskuchen. Magnesium ist im pflanzlichen Zellsaft gelöst und kann deshalb in den Prozessschritten der hydrothermalen Konditionierung und mechanischen Entwässerung gut ausgewaschen werden. Die stärkste Reduzierung fand im Kleinseggenried statt, die geringste in der Hochstaudenflur. Die Abweichung zwischen den beiden Beprobungsjahren war insgesamt moderat.



**Abb. 24:** Magnesium-Gehalte im Ausgangsmaterial und den dazugehörigen Presskuchen nach einer Konditionierung bei 5°C, 60°C und 80°C. Die gestrichelte Linie gibt den Magnesium-Gehalt von Weizenstroh wieder.

### Calcium-Gehalte im Presskuchen

Calcium hat als einziges der hier aufgeführten Elemente einen positiven Einfluss auf die Verbrennung, da es die Ascheerweichungstemperatur erhöht. Deshalb ist ein möglichst hoher Calciumgehalt bei Brennstoffen anzustreben. In diesem Versuch wurden die Calciumgehalte in den Presskuchen im Mittel aller Bestände und Konditionierungstemperaturen um 32% gegenüber dem Ausgangsmaterial reduziert (Abb. 25), was eine deutlich geringere Reduzierung als bei den bisher vorgestellten Elemente war. Damit lagen die Calciumgehalte über dem Niveau von Weizenstroh, was positiv zu bewerten ist. Die geringste Reduzierung fand in der Hochstaudenflur statt, die stärkste im Kleinseggenried.

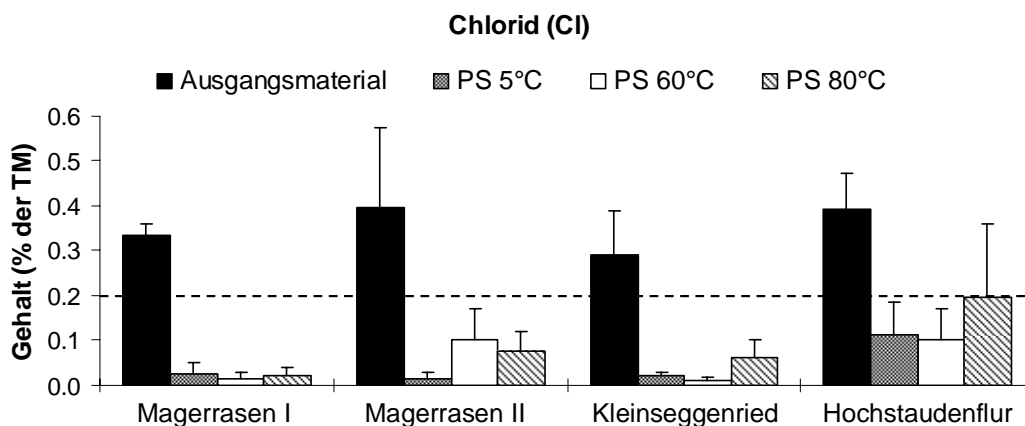


**Abb. 25:** Calcium-Gehalte im Ausgangsmaterial und den dazugehörigen Presskuchen nach einer Konditionierung bei 5°C, 60°C und 80°C. Die gestrichelte Linie gibt den Calcium-Gehalt von Weizenstroh wieder.

Die Abweichung zwischen beiden Beprobungsjahren war in der Hochstaudenflur relativ groß (die Gehalte waren 2006 höher), ansonsten jedoch moderat. Außer beim Kleinseggenried waren die Calciumgehalte tendenziell in den warm konditionierten Presskuchen (60°C und 80°C) höher als in den 5°C-Presskuchen.

### Chlorid-Gehalte im Presskuchen

Chlorid ist neben Kalium Hauptverursacher von Korrosionen im Brennkessel und ist maßgeblich beteiligt an schädlichen Emissionen von Chlorwasserstoff (HCl) und Dioxinen/Furanen (PCDD/F). Deshalb ist ein möglichst geringer Chloridgehalt bei Brennstoffen anzustreben. In diesem Versuch konnten die Chloridgehalte in den Presskuchen im Mittel aller Bestände und Konditionierungstemperaturen um 83% gegenüber dem Ausgangsmaterial reduziert werden (Abb. 26). Damit wurde das Niveau von Weizenstroh deutlich unterschritten. Chlorid ist im pflanzlichen Zellsaft gelöst und kann deshalb in den Prozessschritten der hydrothermalen Konditionierung und mechanischen Entwässerung gut ausgewaschen werden. Die stärkste Reduzierung fand im Magerrasen I statt, die geringste in der Hochstaudenflur. Die Abweichung zwischen den beiden Beprobungsjahren war bis auf die Hochstaudenflur (2006 waren die Chloridgehalte höher) moderat. Die Konditionierungstemperatur zeigte keinen eindeutigen Einfluss auf die Chloridgehalte in den unterschiedlichen Presskuchen-Varianten.



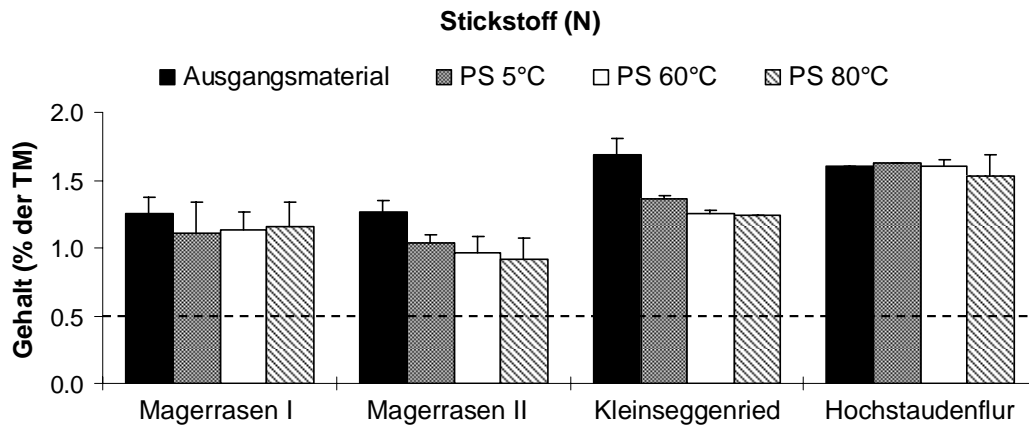
**Abb. 26:** Chlorid-Gehalte im Ausgangsmaterial und den dazugehörigen Presskuchen nach einer Konditionierung bei 5°C, 60°C und 80°C. Die gestrichelte Linie gibt den Chlorid-Gehalt von Weizenstroh wieder.

### Stickstoff-Gehalte im Presskuchen

Die Bedeutung des Stickstoffs rührt von der Bildung von Stickstoffoxiden (NO<sub>x</sub>) her, da dieses Element bei der Verbrennung nahezu vollständig in die Gasphase übergeht und schädli-



che Emissionen hervorruft. Deshalb ist ein möglichst geringer Stickstoffgehalt bei Brennstoffen anzustreben. In diesem Versuch konnten die Stickstoffgehalte in den Presskuchen im Mittel aller Bestände und Konditionierungstemperaturen um 14% gegenüber dem Ausgangsmaterial reduziert werden (Abb. 27). Damit wurde das Niveau von Weizenstroh nicht erreicht. Stickstoff liegt in Proteinen vor, die vor allem bei älteren Pflanzen vermehrt in die Zellwand eingelagert sind. Diese bleibt bei den Prozessschritten der hydrothermalen Konditionierung und mechanischen Entwässerung weitgehend bestehen, so dass Stickstoff schlecht ausgewaschen werden kann. Die stärkste Reduzierung fand im Kleinseggenried statt, die Gehalte in der Hochstaudenflur blieben nahezu unverändert. Die Abweichung zwischen den beiden Beprobungsjahren war insgesamt relativ gering. Die Konditionierungstemperatur zeigte keinen eindeutigen Einfluss auf die Stickstoffgehalte in den unterschiedlichen Presskuchen-Varianten.

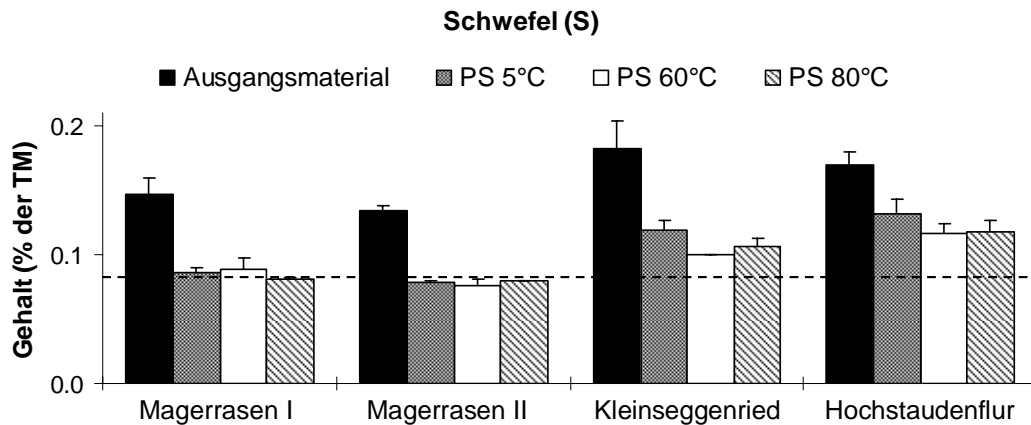


**Abb. 27:** Stickstoff-Gehalte im Ausgangsmaterial und den dazugehörigen Presskuchen nach einer Konditionierung bei 5°C, 60°C und 80°C. Die gestrichelte Linie gibt den Stickstoff-Gehalt von Weizenstroh wieder.

### Schwefel-Gehalte im Presskuchen

Auch Schwefel geht bei der Verbrennung größtenteils in die Gasphase über und verursacht schädliche Schwefeldioxid-Emissionen. Deshalb ist ein möglichst geringer Schwefelgehalt bei Brennstoffen anzustreben. In diesem Versuch konnten die Schwefelgehalte in den Presskuchen im Mittel aller Bestände und Konditionierungstemperaturen um 38% gegenüber dem Ausgangsmaterial reduziert werden (Abb. 28). Damit wurde bei den beiden Magerrasen das Niveau von Weizenstroh erreicht, bei den anderen beiden Beständen jedoch nicht. Die stärkste Reduzierung fand in den Magerrasen statt, die geringste in der Hochstaudenflur. Die Abweichung zwischen den beiden Beprobungsjahren war insgesamt relativ gering. Die Konditi-

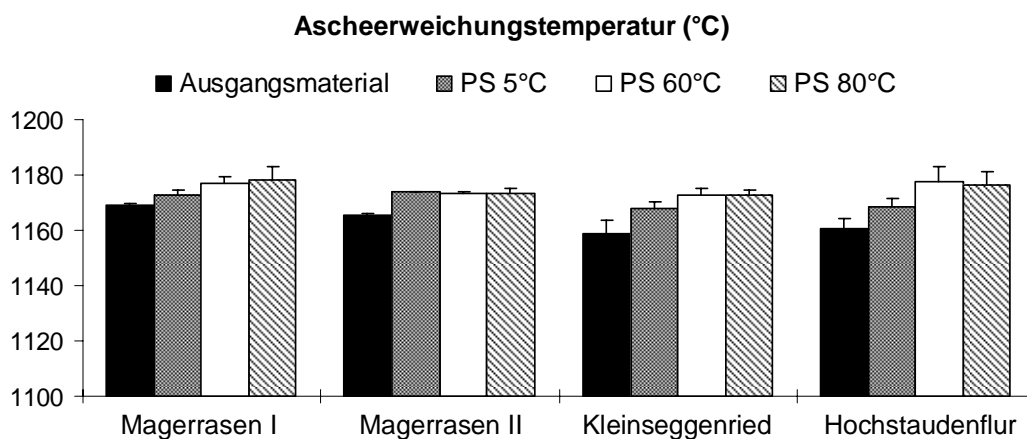
onierungstemperatur zeigte keinen eindeutigen Einfluss auf die Schwefelgehalte in den unterschiedlichen Presskuchen-Varianten.



**Abb. 28:** Schwefel-Gehalte im Ausgangsmaterial und den dazugehörigen Presskuchen nach einer Konditionierung bei 5°C, 60°C und 80°C. Die gestrichelte Linie gibt den Schwefel-Gehalt von Weizenstroh wieder.

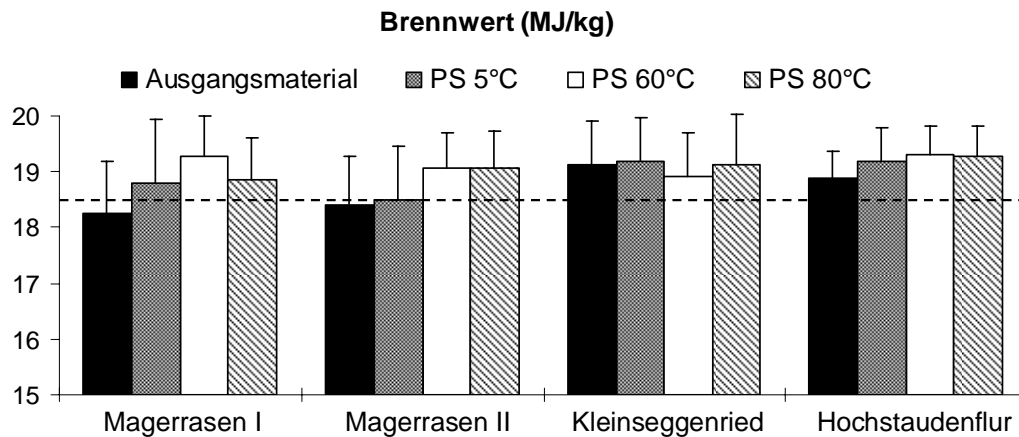
#### 4.4.2 Brennstoffkennwerte des Presskuchens

Aufgrund der deutlich verringerten K- und Mg-Gehalte und der nur geringfügig verminderten Ca-Gehalte, wiesen alle Presskuchen-Varianten höhere Ascheerweichungstemperaturen auf als die Ausgangsmaterialien (Abb. 29). Der Wert von Weizenstroh (1000°C) wurde dabei deutlich überschritten. Tendenziell waren die Ascheerweichungstemperaturen in den warm konditionierten Presskuchen (60°C und 80°C) stärker erhöht als in den 5°C-Presskuchen. Die Abweichung zwischen den beiden Beprobungsjahren war insgesamt relativ gering.



**Abb. 29:** Ascheerweichungstemperatur im Ausgangsmaterial und den dazugehörigen Presskuchen nach einer Konditionierung bei 5°C, 60°C und 80°C.

Auch der Brennwert konnte in den Presskuchen gegenüber dem Ausgangsmaterial leicht gesteigert werden und lag über dem Niveau von Weizenstroh. Allerdings war die Abweichung zwischen den beiden Beprobungsjahren hier relativ groß. Die Konditionierungstemperatur zeigte keinen eindeutigen Einfluss auf die Brennwerte der unterschiedlichen Presskuchen-Varianten.



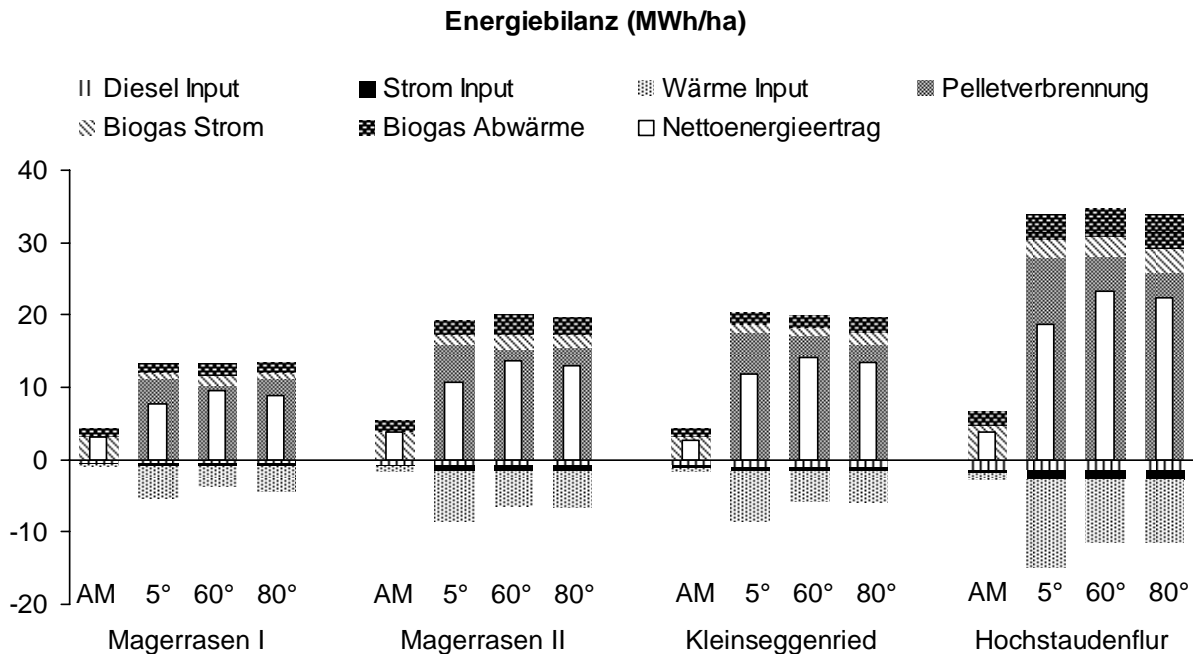
**Abb. 30:** Brennwert im Ausgangsmaterial und den dazugehörigen Presskuchen nach einer Konditionierung bei 5°C, 60°C und 80°C. Die gestrichelte Linie gibt den Brennwert von Weizenstroh wieder.

#### 4.5 Energie- und Treibhausgasbilanzen

Die auf 1 ha bezogenen Nettoenergieerträge der Grünlandbestände variierten aufgrund der unterschiedlichen Eingangsparameter (Ernteertrag, Methanertrag des Presssaftes, TM-Massenfluss in den Presskuchen, Brennwert des Presskuchens) deutlich (Abb. 31). Die höchsten Werte im IFBB-Verfahren erzielte die Hochstaudenflur mit 18,8-23,3 MWh/ha, die niedrigsten der Magerrasen I mit 7,8-9,5 MWh/ha. Den größten Anteil des Energieoutputs (positiver Teil der y-Achse) lieferte dabei die Verbrennung der Pellets, den größten Energieinput (negativer Teil der y-Achse) beanspruchte die Prozesswärme für hydrothermale Konditionierung und Pelletrocknung. Bezogen auf den Strom war der Output aus dem Biogas etwa doppelt so groß wie der Input, so dass eine Einspeisung von Nettostrom in das Stromnetz möglich wäre.

Eine Zielvorgabe im IFBB-Verfahren ist, dass die Abwärme aus der Biogasproduktion ausreicht, um die erforderliche Wärme für die Presskuchentrocknung bis auf einen Trockenmasse-Gehalt von 85%, der für die Pelletierung und Lagerung notwendig ist, bereitzustellen. In der vorliegenden Untersuchung war der Wärmebedarf jedoch größer als die produzierte Abwärme, so dass im Jahr 2006 zusätzlich von der Wärmeenergie des Presskuchens 9% (5°C-Varianten), 2% (60°C-Varianten) und 2% (80°C-Varianten) für die Trocknung verwendet

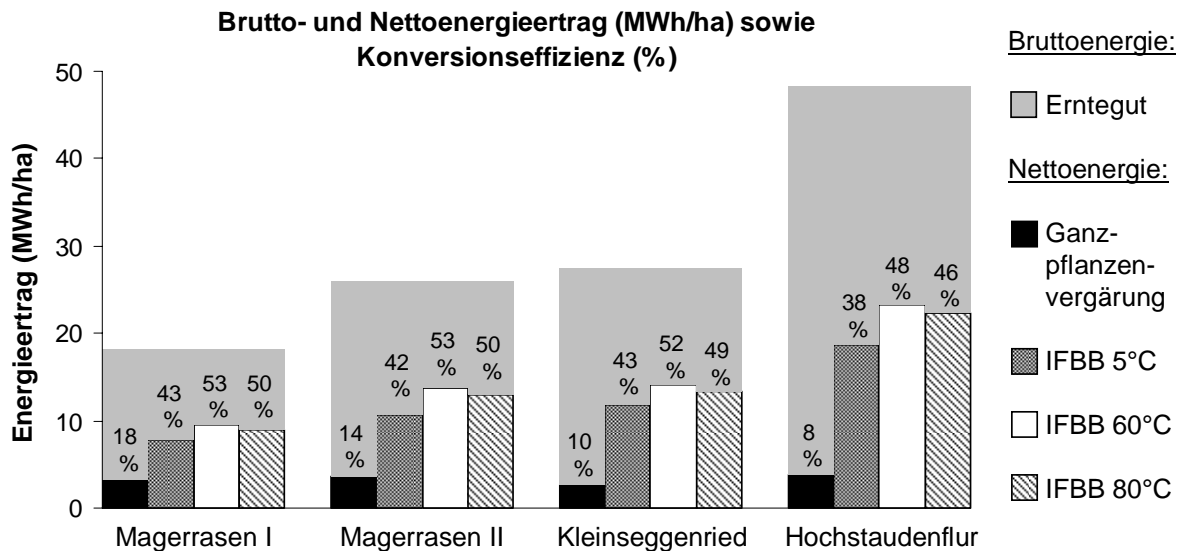
werden mussten. Im Jahr 2008 hatten die Presskuchen nach der mechanischen Entwässerung noch einen höheren Wassergehalt als 2006, so dass von der Wärmeenergie des Presskuchens 17% (5°C-Varianten), 13% (60°C-Varianten) und 16% (80°C-Varianten) für die Trocknung verwendet werden mussten. Diese sind in den Nettoenergieerträgen allerdings bereits berücksichtigt.



**Abb. 31:** Energiebilanz für die Umwandlung der Grünlandbiomassen in Energie mittels Ganzpflanzenvergärung der Silage (AM) und Verwertung mit dem IFBB-Verfahren bei unterschiedlichen Temperaturen der hydrothermalen Konditionierung (5°C, 60°C, 80°C).

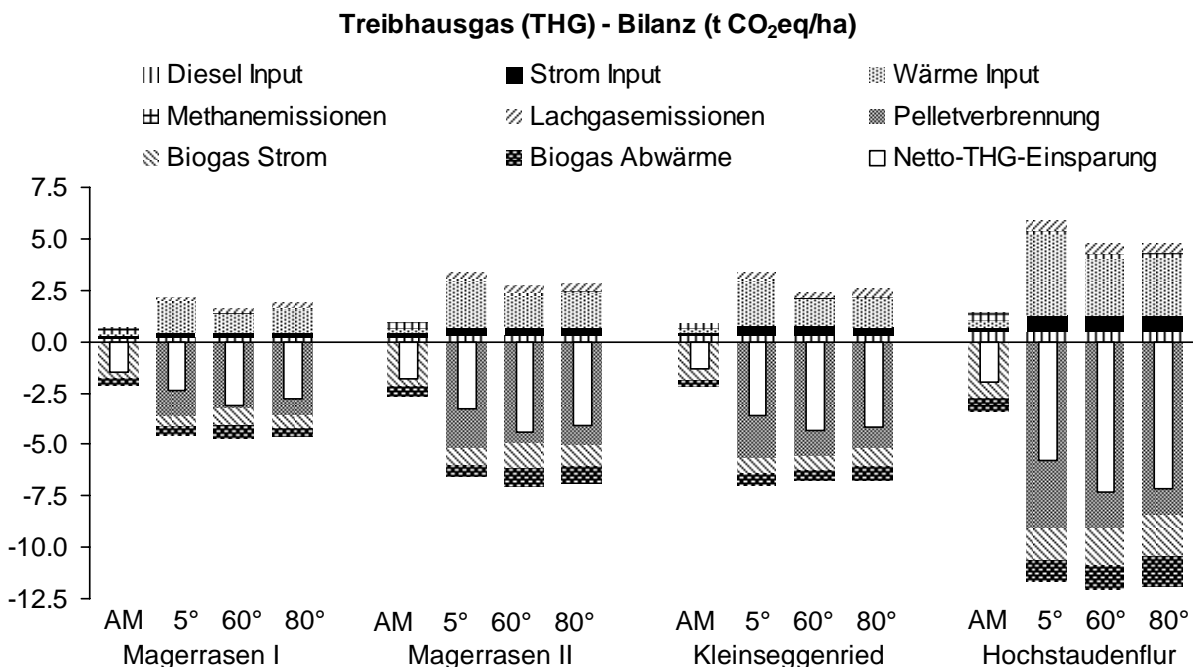
Die Nettoenergieerträge der Ganzpflanzenvergärung des Ausgangsmaterials lagen mit 2,7-3,7 MWh/ha deutlich niedriger. Hier machte der Strom aus dem Biogas den größten Teil des Energieoutputs aus, während der Diesel für den größten Teil des Energieinputs verantwortlich war.

Die Konversionseffizienz (Nettoenergieertrag geteilt durch Bruttoenergieertrag im Erntegut) des IFBB-Verfahrens lag zwischen 42 und 53% (Abb. 32). Die höchsten Konversionseffizienzen lieferte in jedem Bestand die 60°C-Variante (48-53%) gefolgt von der 80°C-Variante (46-50%). Unter den Beständen erzielte der Magerrasen I die höchsten und die Hochstaudenflur die geringsten Konversionseffizienzen. Die Ganzpflanzenvergärung erreichte mit 8-14% deutlich niedrigere Werte, da die Wärmeenergie aus dem erzeugten Biogas nur zu 30% gemäß praxisüblichen Werten genutzt wurde und bei der Ganzpflanzenvergärung ein deutlich geringerer Anteil an organischer Masse zu Biogas umgesetzt wurde als bei der Presssaftvergärung.



**Abb. 32:** Energiegehalt im Erntegut (Bruttoenergieertrag) und Nettoenergieerträge durch Ganzpflanzenvergärung und Verwertung mit dem IFBB-Verfahren bei unterschiedlichen Temperaturen der hydrothermalen Konditionierung (5°C, 60°C, 80°C) sowie Effizienzen der Konversionsverfahren.

Die Nettoeinsparung der Treibhausgase folgten einem ähnlichen Verteilungsmuster wie die Nettoenergieerträge und war am größten für die Hochstaudenflur mit -5,8 bis -7,4 t CO<sub>2</sub>äq/ha im IFBB-Verfahren (Abb. 33). Die geringsten Einsparungen erzielte wiederum der Magerrasen I mit -2,4 bis -3,1 t CO<sub>2</sub>äq/ha.



**Abb. 33:** Treibhausgasbilanz für die Umwandlung der Grünlandbiomassen in Energie mittels Ganzpflanzenvergärung der Silage (AM) und Verwertung mit dem IFBB-Verfahren bei unterschiedlichen Temperaturen der hydrothermalen Konditionierung (5°C, 60°C, 80°C).

Den größten Anteil der Treibhausgasemissionen (positiver Teil der y-Achse) verursachte die eingesetzte Prozesswärme für hydrothermale Konditionierung und Pellettrocknung, den größten Teil der Treibhausgasvermeidung (negativer Teil der y-Achse) lieferte durch die Substitution von fossilen Brennstoffen die Verbrennung der Pellets. Auch hier lagen die Werte der Ganzpflanzenvergärung des Ausgangsmaterials mit -1,4 bis -1,9 t CO<sub>2</sub>äq/ha deutlich niedriger. Gemessen an der jährlichen Pro-Kopf-Emission von CO<sub>2</sub> in Deutschland von 10 t würde man pro Bundesbürger 1,4 ha Hochstaudenflur oder 3,2 ha Magerrasen I benötigen um diese Emission vollständig zu vermeiden.

## 5 Zusammenfassung und Schlussfolgerungen

Aus den zuvor erläuterten Ergebnissen von zwei unterschiedlichen Versuchsjahren lassen sich die nachfolgenden Schlussfolgerungen ableiten, die allerdings nur auf Untersuchungen im Labormaßstab gestützt sind. Um eine fundierte Beurteilung der Anwendung des IFBB-Verfahrens für die Praxis abgeben zu können, sind weitere Untersuchungen mit Prototypanlagen im Technikums- und Praxismaßstab notwendig.

- Bei den Massenflüssen in den PS zeigte sich ein positiver Einfluss der warmen Konditionierung bei 60°C und 80°C gegenüber der Konditionierung bei 5°C für die Mehrzahl der betrachteten Parameter. Daraus lässt sich weiterhin folgern, dass unter den hier untersuchten Bedingungen die optimale **Konditionierungstemperatur** bei 60°C liegt, da vergleichbare Massenflüsse erzielt wurden wie bei 80°C, aber weniger Wärmeenergie aufgewendet werden musste. Der 60°C-Presssaft müsste allerdings in einer Praxis-IFBB-Anlage vor der Eingabe in den Biogasfermenter abgekühlt werden, da die dortige Temperatur für optimale Milieubedingungen bei ca. 37°C liegt. Deshalb könnten auch Konditionierungstemperaturen um 40°C ausreichend sein, solange vergleichbare Massenflüsse erzielt werden wie bei 60°C.
- Die **TM-Massenflüsse** in den Presssaft waren tendenziell etwas zu niedrig, um eine ausreichende Menge an Biogas im Hinblick auf die erforderliche Abwärme zur Trocknung des Presskuchens zu produzieren. Versuche von SECKLER (2008) zeigten, dass eine verstärkte Volumenreduzierung in der Pressschnecke (1:6 im Vergleich mit 1:4) höhere TM-Massenflüsse erzielte und zudem die Häcksellänge der Silage entscheidenden Einfluss hatte. Um die TM-Massenflüsse zu steigern, sollte die Biomasse also möglichst klein gehäckselt werden und eine Pressschnecke mit einer hohen Volumenreduzierung (1:7.5) verwendet werden. Letzteres führt auch zu höheren TM-Gehalten im Presskuchen und damit zu einem reduzierten Wärmebedarf für die Trocknung.
- Die hohen **Methanausbeuten** der Presssäfte von 400-500 NL/kg oTS verbunden mit den gleichfalls hohen Abbaugraden der organischen Substanz von 79-90 % belegen die hohe Qualität und gute Eignung der Presssäfte als Gärsubstrat. Die Methanausbeuten lagen in dieser Untersuchung deutlich über denen von Maissilage (300-350 NL/kg oTS), dem am häufigsten genutzten Gärsubstrat in Biogasanlagen. Die schnelle Vergärung in nur wenigen Tagen bietet zudem die Möglichkeit für kürzere Verweilzeiten in den Fermentern und damit für die Konstruktion kleinerer Fermenter. Die Ganzpflanzenvergärung des Aus-

gangsmaterials erbrachte demgegenüber deutlich geringere spezifische Methanausbeuten, weshalb die Biomasse von extensiven Grünlandbeständen in Praxis-Biogasanlagen auch häufig keine Verwendung findet. In einer Praxis-IFBB-Anlage müsste der Fermenter aufgrund der geringen Verweilzeiten der Presssäfte von unter 14 Tagen mit einem Festbettmaterial ausgekleidet werden, damit sich die methanogenen Bakterien dort festsetzen können, um einem zu schnellen Austrag mit dem Presssaft entgegen zu wirken.

- Die **Brennstoffqualität** des Presskuchens konnte im Vergleich zum Ausgangsmaterial durch hydrothermale Konditionierung und mechanische Entwässerung deutlich verbessert werden. Die Gehalte an Asche, Magnesium (bewirkt Ascheerweichung) und Schwefel (bewirkt schädliche Emissionen) reduzierten sich bis auf das Niveau von Weizenstroh, einem gängigen biogenen Brennstoff. Die Gehalte an Kalium (bewirkt Ascheerweichung und Korrosionen im Brennkessel) sowie Chlorid (bewirkt Korrosionen im Brennkessel und schädliche Emissionen) konnten noch stärker gesenkt werden und erreichten teilweise das Niveau von Holz. Lediglich die Stickstoffgehalte (bewirkt schädliche Emissionen) reduzierten sich nur geringfügig und lagen über dem Niveau von Weizenstroh. Auch die Ascheerweichungstemperatur (1170-1180°C) und der Brennwert (18,5-19,3 MJ/kg) konnten gegenüber dem Ausgangsmaterial gesteigert werden. In einer Praxis-IFBB-Anlage müsste die Verbrennungstechnologie entsprechend so angepasst werden, dass vor allem Stickoxid-Emissionen im Rauchgas gefiltert werden.
- Trotz hoher interner Energieaufwendungen im IFBB-Verfahren zeigte die **Energiebilanz**, dass im Vergleich zur Ganzpflanzenvergärung des Ausgangsmaterials hohe Nettoenergieerträge von 10-20 MWh/ha möglich sind. Im Vergleich mit der Bruttoenergie der Biomasse konnten gute Konversionseffizienzen erreicht werden, wobei sich die 60°C-Variante mit durchschnittlich 51% als effizienteste Variante herausstellte. Die Ganzpflanzenvergärung von Maissilage erreicht unter Praxisbedingungen (Abwärmenutzung von 20%) Nettoenergieerträge von ca. 35 MWh/ha mit geringeren Konversionseffizienzen (BÜHLE, 2008). Auch bei der **Treibhausgasbilanz** zeigte sich die Überlegenheit des IFBB-Verfahrens gegenüber der Ganzpflanzenvergärung für die Biomasse extensiver Grünlandbestände, so dass zwischen 2,5 und 7,5 t CO<sub>2</sub>/ha eingespart werden können. In einer Praxis-IFBB-Anlage müssten die Ergebnisse dieser Bilanzen allerdings noch überprüft werden, wenn alle Verfahrensschritte im kontinuierlichen Fluss stattfinden.



- Der **Erhalt des Extensivgrünlands** ist durch eine energetische Verwertung seiner Biomasse mit dem IFBB-Verfahren möglich, da spät geschnittene, lignocellulosereiche Biomasse gut verwertet werden kann. Dieser späte Schnitt erlaubt den unterschiedlichen Pflanzenarten Samen zu bilden bzw. Reservestoffe in die Wurzel zu verlagern, wodurch die **hohe Artenvielfalt** erhalten werden kann. Darüber hinaus findet im Vergleich zum Mulchen eine Abfuhr der Biomasse statt, was ein erneutes Austreiben der Pflanzen im Bestand begünstigt und eine unerwünschte Nährstofffreisetzung, die nur bestimmte Arten fördern würde, verhindert. Über die Verwendung des Gärrestes aus der Presssaftvergärung als Dünger kann dagegen eine gezielte, bedarfsorientierte Nährstoffrückführung erfolgen.

## 6 Literatur

- BEDENK, K. (2007): Untersuchungen zur Optimierung der energetischen Nutzung von verschiedenen feucht konservierten Pflanzenarten durch Maischen und anschließende mechanische Entwässerung. *Diplomarbeit*, Universität Kassel.
- BÜHLE, L.; STÜLPNAGEL, R.; SCHEFFER, K.; ZERR, W. und WACHENDORF, M. (2007): Methanbildungspotenzial und Gärdynamik von Presssäften mechanisch entwässerter Silagen. *Mitteilungen der AGGF*, Band 8: 188-191.
- BÜHLE, L. (2008): Vergleichende Energie- und Emissionsbilanz der Wärme- und Stromproduktion nach dem IFBB-Verfahren und herkömmlicher Ganzpflanzenvergärung. *Masterarbeit*, Universität Kassel.
- GRAB, R.; SCHEFFER, K. (2006): Energiepflanzenanbau als Beitrag zur Optimierung von naturschutzfachlichen Zielen in der Landschaft. *Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften*, **18**, 212-213.
- GRAB, R.; REULEIN, J.; SCHEFFER, K.; STÜLPNAGEL, R. und WACHENDORF, M. (2008): Die integrierte Biogas- und Festbrennstoffherzeugung aus Ganzpflanzensilagen. *Berichte Landwirtschaft*, **87**, 43-64.
- HARTMANN, H. (2001): Brennstoffzusammensetzung und -eigenschaften. In: Kaltschmitt, M und H. Hartmann (Hrsg.) *Energie aus Biomasse: Grundlagen, Techniken und Verfahren*: 248-272. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York.
- PROCHNOW, A.; HEIERMANN, M.; IDLER, C.; LINKE, B.; MÄHNERT, P. und PLÖCHL, M. (2007): Biogas vom Grünland: Potenziale und Erträge. In: *Gas aus Gras und was noch?* Schriftenreihe des Deutschen Grünlandverbandes, 1/2007: 11-22. Deutscher Grünlandverband, Berlin.
- REULEIN, J.; WACHENDORF, M. und SCHEFFER, K. (2006): Aufbereitung von Nachwachsenden Rohstoffen zur energetischen Nutzung mittels mechanischer Entwässerung. Tagungsband der 49. Jahrestagung der Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften, Rostock.
- REULEIN, J.; SCHEFFER, K.; STÜLPNAGEL, R.; BÜHLE, L.; ZERR, W. und WACHENDORF, M. (2007): Efficient utilization of biomass through mechanical dehydration of silages. 15th European Biomass Conference, Berlin, Germany.
- SCHEFFER, K. (2005): Optimierte Konzepte für den Anbau und die energetische Nutzung landwirtschaftlicher Kulturpflanzen. Beitrag zum Internetportal: Vom Landwirt zum

Energiewirt. <http://www.energiewirt.fechnermedia.de/downloads/Pflanzenbau2.pdf>  
(14.11.2009).

SECKLER, R. (2008): Einfluss wesentlicher Einstellparameter einer Schneckenpresse auf Massenflüsse und Presskucheneigenschaften von Gras- und Maissilagen. *Diplomarbeit*, Universität Kassel.

WACHENDORF, M.; RICHTER, F.; FRICKE, T.; GRAß, R. und NEFF, R. (2009): Utilisation of semi-natural grassland through an integrated generation of solid fuel and biogas from biomass I: Effects of hydrothermal conditioning and mechanical dehydration on mass flows of organic and mineral plant compounds and nutrient balances. *Grass and Forage Science*, **64**, 132-143.

ZERR, W. (2006): Versuchsanlage zur energetischen Beurteilung von Substraten und Kofermentaten für Biogasanlagen. *Z. Umweltchem. Ökotox.*, **18**, 219-227.

## **Anhang**

**Anhang 1:** Massenflüsse in den Presssaft bei unterschiedlicher Konditionierungstemperatur (5°C, 60°C, 80°C). in % des Ausgangsmaterials (AM) für die Trockenmasse (TM), die Rohasche (XA), das Rohprotein (XP), das Rohfett (XL), die Rohfaser (XF) und die stickstofffreien Extraktstoffe (NfE).

Vegetation	Jahr	Kond. [°C]	TM (% von AM)	XA (% von AM)	XP (% von AM)	XL (% von AM)	XF (% von AM)	NfE (% von AM)
Magerrasen I	2006	5	23.57	23.58	40.48	44.08	9.85	27.01
		60	38.48	56.69	45.67	50.16	25.80	40.24
		80	24.46	24.69	34.57	36.84	8.02	30.43
Magerrasen II	2006	5	21.77	22.21	35.70	23.90	20.16	20.62
		60	30.78	46.35	50.76	18.54	16.89	33.88
		80	30.11	40.36	56.01	31.39	16.37	32.51
Kleinseggenried	2006	5	21.33	34.35	31.97	12.05	14.23	21.64
		60	22.83	38.53	39.51	12.45	16.50	21.10
		80	32.93	45.83	46.13	4.23	25.62	33.28
Hochstaudenflur	2006	5	31.60	37.41	30.83	17.70	32.73	30.57
		60	29.67	35.93	31.97	22.83	27.30	30.12
		80	38.10	46.54	46.75	32.00	31.10	40.06
Magerrasen I	2008	5	24.71	46.87	27.14	27.36	4.32	31.79
		60	27.50	53.67	33.57	26.49	6.56	33.92
		80	26.37	35.28	28.63	26.11	9.07	33.82
Magerrasen II	2008	5	24.73	17.92	38.70	30.41	2.53	35.28
		60	26.16	28.83	40.74	36.19	4.03	35.23
		80	26.55	33.14	41.63	30.15	3.64	35.83
Kleinseggenried	2008	5	19.39	40.67	38.08	24.43	1.82	22.35
		60	18.42	36.53	42.24	29.82	-0.47	21.08
		80	19.52	37.31	44.61	31.66	0.07	22.24
Hochstaudenflur	2008	5	24.73	48.97	23.31	31.15	11.05	27.81
		60	27.48	51.85	24.98	32.36	10.30	32.72
		80	28.91	52.74	25.07	29.23	10.86	35.18
Magerrasen I	Mittelwert	5	24.14	35.23	33.81	35.72	7.08	29.40
		60	32.99	55.18	39.62	38.32	16.18	37.08
		80	25.42	29.98	31.60	31.48	8.54	32.12
Magerrasen II	Mittelwert	5	23.25	20.07	37.20	27.15	11.35	27.95
		60	28.47	37.59	45.75	27.36	10.46	34.55
		80	28.33	36.75	48.82	30.77	10.01	34.17
Kleinseggenried	Mittelwert	5	20.36	37.51	35.02	18.24	8.03	22.00
		60	20.63	37.53	40.88	21.13	8.02	21.09
		80	26.23	41.57	45.37	17.94	12.85	27.76
Hochstaudenflur	Mittelwert	5	28.17	43.19	27.07	24.43	21.89	29.19
		60	28.57	43.89	28.48	27.59	18.80	31.42
		80	33.50	49.64	35.91	30.61	20.98	37.62

**Anhang 2:** Massenflüsse in den Presssaft bei unterschiedlicher Konditionierungstemperatur (5°C, 60°C, 80°C).in % des Ausgangsmaterials (AM) für die Elemente Kalium (K), Magnesium (Mg), Calcium (Ca), Chlorid (Cl), Stickstoff (N), Schwefel (S) und Phosphor (P).

Vegetation	Jahr	Kond. [°C]	K (% von AM)	Mg (% von AM)	Ca (% von AM)	Cl (% von AM)	N (% von AM)	S (% von AM)	P (% von AM)
Magerrasen I	2006	5	72.18	50.44	54.67	99.50	40.48	53.09	67.69
		60	87.30	67.56	50.85	99.54	45.67	55.36	78.79
		80	82.15	71.87	36.39	99.51	34.57	54.05	71.85
Magerrasen II	2006	5	58.82	49.19	29.51	99.73	35.70	56.42	59.48
		60	88.73	64.03	60.60	79.37	50.76	59.10	76.31
		80	91.24	64.45	65.71	85.39	56.01	59.86	76.35
Kleinseggenried	2006	5	62.78	58.09	49.41	97.48	31.97	50.97	60.80
		60	79.85	75.86	37.77	99.08	39.51	62.35	68.08
		80	82.44	76.10	42.01	82.66	46.13	62.97	69.00
Hochstaudenflur	2006	5	54.54	52.43	55.93	73.05	30.83	38.30	48.48
		60	77.22	78.05	42.95	74.54	31.97	45.21	60.32
		80	68.29	73.63	43.11	52.86	46.75	50.85	52.75
Magerrasen I	2008	5	85.43	64.34	57.12	89.54	27.14	57.65	74.90
		60	90.65	69.47	63.29	93.96	33.57	63.75	78.85
		80	89.07	65.12	61.79	91.82	28.63	63.19	78.52
Magerrasen II	2008	5	83.76	58.18	42.94	89.74	38.70	53.68	71.33
		60	88.42	58.98	47.59	89.93	40.74	60.24	75.39
		80	88.96	63.27	45.50	89.98	41.63	54.80	75.52
Kleinseggenried	2008	5	83.88	67.76	57.68	87.27	38.08	44.58	71.21
		60	89.62	71.45	63.29	91.41	42.24	49.01	76.69
		80	89.76	71.83	63.79	91.53	44.61	49.70	77.01
Hochstaudenflur	2008	5	85.54	65.26	43.89	90.29	23.31	49.82	71.33
		60	90.87	69.32	49.89	92.98	24.98	55.68	75.83
		80	91.05	69.92	50.88	93.12	25.07	56.55	76.30
Magerrasen I	Mittelwert	5	78.80	57.39	55.89	94.52	33.81	55.37	71.30
		60	88.97	68.52	57.07	96.75	39.62	59.56	78.82
		80	85.61	68.49	49.09	95.66	31.60	58.62	75.19
Magerrasen II	Mittelwert	5	71.29	53.69	36.23	94.73	37.20	55.05	65.40
		60	88.57	61.51	54.10	84.65	45.75	59.67	75.85
		80	90.10	63.86	55.60	87.69	48.82	57.33	75.93
Kleinseggenried	Mittelwert	5	73.33	62.92	53.54	92.38	35.02	47.78	66.01
		60	84.73	73.65	50.53	95.25	40.88	55.68	72.39
		80	86.10	73.97	52.90	87.09	45.37	56.34	73.00
Hochstaudenflur	Mittelwert	5	70.04	58.84	49.91	81.67	27.07	44.06	59.90
		60	84.05	73.69	46.42	83.76	28.48	50.44	68.07
		80	79.67	71.78	46.99	72.99	35.91	53.70	64.52

**Anhang 3:** Gehalte an organischer Trockensubstanz (oTS), an Rohasche (XA), an Rohprotein (XP), an Rohfett (XL), an Rohfaser (XF) und an stickstofffreien Extraktstoffen (NfE) im Ausgangsmaterial (AM) und den Presssäften bei unterschiedlicher Konditionierungstemperatur (5°C, 60°C, 80°C).

Vegetation	Jahr	Kond. [°C]	oTS (%)	XA (%)	XP (%)	XL (%)	XF (%)	NfE (%)
Magerrasen I	2006	AM	37.05	8.63	7.02	2.65	26.47	55.23
	2006	5	1.68	8.63	12.06	4.96	11.06	49.25
	2006	60	3.01	12.71	8.34	3.46	17.75	57.78
	2006	80	1.72	8.71	9.93	4.00	8.67	53.98
Magerrasen II	2006	AM	33.11	6.52	7.42	1.93	28.68	55.44
	2006	5	1.38	6.65	12.17	2.12	26.56	39.74
	2006	60	2.12	9.82	12.25	1.17	15.74	58.70
	2006	80	2.03	8.74	13.81	2.02	15.59	54.21
Kleinseggenried	2006	AM	22.45	8.28	9.70	1.00	30.67	50.36
	2006	5	0.86	13.33	14.53	0.56	20.47	39.66
	2006	60	0.95	13.97	16.78	0.54	22.16	39.26
	2006	80	1.42	11.52	13.58	0.13	23.86	44.88
Hochstaudenflur	2006	AM	35.79	6.35	9.98	1.10	32.92	49.64
	2006	5	2.08	7.52	9.74	0.62	34.09	32.48
	2006	60	2.24	7.70	10.76	0.85	30.29	45.40
	2006	80	2.85	7.76	12.25	0.93	26.87	48.39
Magerrasen I	2008	AM	18.56	7.30	8.62	2.85	27.83	53.40
	2008	5	0.82	13.84	9.46	3.15	4.86	59.87
	2008	60	0.93	14.24	10.52	2.74	6.64	58.58
	2008	80	0.90	9.76	9.36	2.82	9.57	57.56
Magerrasen II	2008	AM	17.36	6.30	8.46	2.65	29.37	53.22
	2008	5	0.76	4.57	13.24	3.26	3.01	58.11
	2008	60	0.82	6.94	13.17	3.67	4.53	57.50
	2008	80	0.84	7.86	13.26	3.01	4.03	59.05
Kleinseggenried	2008	AM	24.93	6.87	11.32	2.72	29.50	49.60
	2008	5	0.97	14.40	22.23	3.43	2.77	56.64
	2008	60	0.92	13.62	25.96	4.40	0.10	55.41
	2008	80	0.98	13.12	25.86	4.41	0.11	54.83
Hochstaudenflur	2008	AM	17.33	9.18	9.99	2.23	27.73	50.87
	2008	5	0.76	18.18	9.41	2.81	12.39	49.51
	2008	60	0.86	17.33	9.08	2.63	10.39	54.09
	2008	80	0.92	16.76	8.66	2.25	10.42	56.31
Magerrasen I	Mittelwert	AM	27.81	7.96	7.82	2.75	27.15	54.32
		5	1.25	11.23	10.76	4.06	7.96	54.56
		60	1.97	13.47	9.43	3.10	12.19	58.18
		80	1.31	9.23	9.64	3.41	9.12	55.77
Magerrasen II	Mittelwert	AM	25.23	6.41	7.94	2.29	29.02	54.33
		5	1.07	5.61	12.70	2.69	14.78	48.93
		60	1.47	8.38	12.71	2.42	10.13	58.10
		80	1.43	8.30	13.53	2.51	9.81	56.63
Kleinseggenried	Mittelwert	AM	23.69	7.57	10.51	1.86	30.08	49.98
		5	0.91	13.87	18.38	2.00	11.62	48.15
		60	0.93	13.79	21.37	2.47	11.13	47.33
		80	1.20	12.32	19.72	2.27	11.99	49.85
Hochstaudenflur	Mittelwert	AM	26.56	7.77	9.98	1.67	30.32	50.26
		5	1.42	12.85	9.58	1.71	23.24	40.99
		60	1.55	12.51	9.92	1.74	20.34	49.75
		80	1.89	12.26	10.46	1.59	18.64	52.35

**Anhang 4:** Spezifische Methanausbeuten, flächenbezogene Methanerträge und Abbaugrade der organischen Substanz des Ausgangsmaterials (AM) und der Presssäfte bei unterschiedlicher Konditionierungstemperatur (5°C, 60°C, 80°C)..

Vegetation	Jahr	Kond. [°C]	Methanausbeute L <sub>N</sub> /kg oTS	Methanertrag Nm <sup>3</sup> /ha	Abbaugrad %
Magerrasen I	2006	AM	259	760.63	69.12
		5	304	178.32	80.68
		60	406	438.30	91.90
		80	443	266.86	90.17
Magerrasen II	2006	AM	221	903.20	58.22
		5	434	332.27	94.04
		60	522	616.26	88.28
		80	517	581.68	102.71
Kleinseggenried	2006	AM	181	844.07	38.85
		5	490	399.12	105.66
		60	363	331.90	82.04
		80	374	515.77	94.66
Hochstaudenflur	2006	AM	158	1344.34	36.05
		5	399	881.06	90.06
		60	434	1019.35	82.03
		80	415	1268.70	81.63
Magerrasen I	2008	AM	311	885.36	74.50
		5	501	294.35	77.57
		60	460	305.14	78.16
		80	473	304.46	69.82
Magerrasen II	2008	AM	270	1168.27	59.97
		5	482	427.19	86.19
		60	519	495.16	76.88
		80	431	419.86	75.31
Kleinseggenried	2008	AM	224	860.55	50.05
		5	422	286.35	67.07
		60	472	304.18	97.93
		80	433	296.81	72.30
Hochstaudenflur	2008	AM	188	1229.25	43.42
		5	404	534.95	78.97
		60	385	582.29	82.39
		80	376	609.93	79.07
Magerrasen I	Mittelwert	AM	284.71	822.99	71.81
		5	402.43	236.33	79.12
		60	432.65	371.72	85.03
		80	458.20	285.66	79.99
Magerrasen II	Mittelwert	AM	245.57	1035.73	59.10
		5	457.69	379.73	90.12
		60	520.83	555.71	82.58
		80	474.07	500.77	89.01
Kleinseggenried	Mittelwert	AM	202.76	852.31	44.45
		5	455.66	342.74	86.36
		60	417.54	318.04	89.99
		80	403.58	406.29	83.48
Hochstaudenflur	Mittelwert	AM	172.85	1286.79	39.73
		5	401.81	708.00	84.52
		60	409.51	800.82	82.21
		80	395.67	939.31	80.35



**Anhang 7:** Gehalte der Elemente Kalium (K), Magnesium (Mg), Calcium (Ca), Chlorid (Cl), Stickstoff (N), Schwefel (S) im Ausgangsmaterial (AM) und den Presskuchen bei unterschiedlicher Konditionierungstemperatur (5°C, 60°C, 80°C).

Vegetation	Jahr	Kond. [°C]	K (%)	Mg (%)	Ca (%)	Cl (%)	N (%)	S (%)
Magerrasen I	2006	AM	1.31	0.23	0.91	0.31	1.12	0.13
		5	0.48	0.15	0.54	0.00	0.88	0.08
		60	0.27	0.12	0.72	0.00	0.99	0.10
		80	0.31	0.09	0.76	0.00	0.97	0.08
Magerrasen II	2006	AM	1.39	0.23	0.77	0.58	1.19	0.14
		5	0.73	0.15	0.70	0.00	0.98	0.08
		60	0.23	0.12	0.44	0.17	0.84	0.08
		80	0.17	0.12	0.38	0.12	0.75	0.08
Kleinseggenried	2006	AM	0.98	0.36	0.66	0.39	1.55	0.20
		5	0.47	0.19	0.42	0.01	1.34	0.13
		60	0.26	0.11	0.53	0.00	1.22	0.10
		80	0.26	0.13	0.57	0.10	1.25	0.11
Hochstaudenflur	2006	AM	1.01	0.37	1.06	0.47	1.60	0.16
		5	0.67	0.26	0.68	0.19	1.62	0.14
		60	0.33	0.12	0.86	0.17	1.54	0.12
		80	0.52	0.16	0.98	0.36	1.37	0.13
Magerrasen I	2008	AM	1.55	0.19	0.79	0.36	1.38	0.16
		5	0.30	0.09	0.45	0.05	1.33	0.09
		60	0.20	0.08	0.40	0.03	1.26	0.08
		80	0.23	0.09	0.41	0.04	1.34	0.08
Magerrasen II	2008	AM	1.53	0.18	0.62	0.22	1.35	0.13
		5	0.33	0.10	0.47	0.03	1.10	0.08
		60	0.24	0.10	0.44	0.03	1.09	0.07
		80	0.23	0.09	0.46	0.03	1.08	0.08
Kleinseggenried	2008	AM	0.55	0.20	0.40	0.19	1.81	0.16
		5	0.11	0.08	0.21	0.03	1.39	0.11
		60	0.07	0.07	0.18	0.02	1.28	0.10
		80	0.07	0.07	0.18	0.02	1.25	0.10
Hochstaudenflur	2008	AM	1.51	0.26	0.55	0.31	1.60	0.18
		5	0.29	0.12	0.41	0.04	1.63	0.12
		60	0.19	0.11	0.38	0.03	1.65	0.11
		80	0.19	0.11	0.38	0.03	1.68	0.11
Magerrasen I	Mittelwert	AM	1.43	0.21	0.85	0.33	1.25	0.15
		5	0.39	0.12	0.49	0.03	1.11	0.09
		60	0.24	0.10	0.56	0.02	1.13	0.09
		80	0.27	0.09	0.59	0.02	1.16	0.08
Magerrasen II	Mittelwert	AM	1.46	0.21	0.70	0.40	1.27	0.13
		5	0.53	0.13	0.58	0.02	1.04	0.08
		60	0.23	0.11	0.44	0.10	0.97	0.08
		80	0.20	0.10	0.42	0.08	0.91	0.08
Kleinseggenried	Mittelwert	AM	0.77	0.28	0.53	0.29	1.68	0.18
		5	0.29	0.14	0.32	0.02	1.37	0.12
		60	0.16	0.09	0.36	0.01	1.25	0.10
		80	0.16	0.10	0.38	0.06	1.25	0.11
Hochstaudenflur	Mittelwert	AM	1.26	0.32	0.81	0.39	1.60	0.17
		5	0.48	0.19	0.55	0.11	1.62	0.13
		60	0.26	0.11	0.62	0.10	1.60	0.12
		80	0.35	0.13	0.68	0.20	1.53	0.12

**Anhang 8:** Gehalte an Trockenmasse (TM) und Rohasche (XA) sowie Ascheerweichungstemperatur (AST) und Brennwert (HHV) im Ausgangsmaterial (AM) und den Presskuchen bei unterschiedlicher Konditionierungstemperatur (5°C, 60°C, 80°C).

Vegetation	Jahr	Kond. [°C]	TM (%)	XA (%)	AST (°C)	HHV [MJ/kg]
Magerrasen I	2006	AM	40.55	8.63	1169.71	17.35
		5	52.53	8.63	1171.26	17.67
		60	52.90	6.07	1179.27	18.53
		80	52.10	8.60	1182.85	18.12
Magerrasen II	2006	AM	35.42	6.52	1165.78	17.57
		5	54.28	6.48	1173.79	17.53
		60	51.03	5.05	1172.41	18.43
		80	50.42	5.56	1171.35	18.40
Kleinseggenried	2006	AM	24.48	8.28	1154.73	18.32
		5	46.40	6.91	1164.96	18.38
		60	51.49	6.59	1175.10	18.14
		80	50.71	6.68	1174.82	18.23
Hochstaudenflur	2006	AM	38.22	6.35	1164.13	18.39
		5	49.65	5.81	1165.32	18.57
		60	46.35	5.79	1182.86	18.83
		80	49.01	5.49	1181.40	18.77
Magerrasen I	2008	AM	20.02	7.30	1168.63	19.17
		5	42.52	5.15	1174.66	19.94
		60	44.06	4.66	1174.72	19.99
		80	40.43	6.41	1174.03	19.61
Magerrasen II	2008	AM	18.53	6.30	1165.23	19.27
		5	39.73	6.87	1174.21	19.44
		60	39.66	6.07	1173.94	19.71
		80	40.29	5.74	1175.29	19.73
Kleinseggenried	2008	AM	26.77	6.87	1163.38	19.90
		5	46.78	5.05	1170.41	19.97
		60	51.59	5.34	1170.65	19.70
		80	48.51	5.35	1170.65	20.03
Hochstaudenflur	2008	AM	19.08	9.18	1157.26	19.36
		5	37.73	6.23	1171.34	19.80
		60	41.59	6.10	1171.91	19.81
		80	39.27	6.10	1171.91	19.81
Magerrasen I	Mittelwert	AM	30.29	7.96	1169.17	18.26
		5	47.53	6.89	1172.96	18.81
		60	48.48	5.37	1177.00	19.26
		80	46.26	7.51	1178.44	18.87
Magerrasen II	Mittelwert	AM	26.97	6.41	1165.50	18.42
		5	47.00	6.68	1174.00	18.49
		60	45.34	5.56	1173.17	19.07
		80	45.36	5.65	1173.32	19.07
Kleinseggenried	Mittelwert	AM	25.62	7.57	1159.05	19.11
		5	46.59	5.98	1167.68	19.18
		60	51.54	5.97	1172.88	18.92
		80	49.61	6.02	1172.74	19.13
Hochstaudenflur	Mittelwert	AM	28.65	7.77	1160.70	18.88
		5	43.69	6.02	1168.33	19.18
		60	43.97	5.94	1177.38	19.32
		80	44.14	5.80	1176.65	19.29

Untersuchungen zur energetischen Verwertung von Grünlandsilagen ökologisch wertvoller Standorte  
im oberen Murgtal in Herrischried/Südbaden

**Anhang 9:** Energieinput, Energieoutput, Nettoenergieerträge, Bruttoenergieerträge und Konversionseffizienzen der Ganzpflanzenvergärung des Ausgangsmaterials (AM) und des IFBB-Verfahrens bei unterschiedlicher Konditionierungstemperatur (5°C, 60°C, 80°C).

Vegetation	Jahr	Kond. [°C]	Energieinput				Energieoutput				Nettoenergieertrag			Bruttoenergieertrag	
			Diesel	Strom	Wärme	Gesamt	Pelletver- brennung	Biogas Strom	Biogas Abwärme	Gesamt	Strom	Wärme	Gesamt	energie- ertrag	Konversions- effizienz
			MWh/ha	MWh/ha	MWh/ha	MWh/ha	MWh/ha	MWh/ha	MWh/ha	MWh/ha	MWh/ha	MWh/ha	MWh/ha	MWh/ha	MWh/ha
Magerrasen I	2006	AM	-0.39	-0.12	-0.21	-0.73	0.00	2.81	1.09	3.90	2.69	0.49	3.17	17.54	18.09
	2006	5	-0.41	-0.49	-3.19	-4.09	10.86	0.66	0.85	12.37	0.17	8.11	8.29	17.54	47.24
	2006	60	-0.41	-0.42	-1.96	-2.78	9.17	1.62	2.10	12.88	1.20	8.90	10.10	17.54	57.60
	2006	80	-0.41	-0.48	-2.55	-3.44	11.01	0.98	1.28	13.27	0.50	9.33	9.83	17.54	56.04
Magerrasen II	2006	AM	-0.60	-0.19	-0.33	-1.12	0.00	3.33	1.30	4.63	3.14	0.36	3.51	24.11	14.54
	2006	5	-0.63	-0.70	-4.44	-5.76	14.96	1.23	1.59	17.78	0.53	11.48	12.02	24.11	49.83
	2006	60	-0.63	-0.64	-3.23	-4.50	13.92	2.27	2.95	19.14	1.63	13.01	14.64	24.11	60.74
	2006	80	-0.63	-0.65	-3.58	-4.85	14.03	2.15	2.78	18.96	1.50	12.61	14.11	24.11	58.52
Kleinseggenried	2006	AM	-1.00	-0.31	-0.56	-1.88	0.00	3.11	1.21	4.33	2.80	-0.35	2.45	29.26	8.37
	2006	5	-1.03	-0.92	-7.63	-9.59	18.37	1.47	1.91	21.75	0.55	11.61	12.16	29.26	41.56
	2006	60	-1.03	-0.91	-4.36	-6.30	17.78	1.22	1.59	20.59	0.32	13.98	14.29	29.26	48.84
	2006	80	-1.03	-0.83	-4.46	-6.32	15.53	1.90	2.47	19.90	1.07	12.51	13.58	29.26	46.42
Hochstaudenflur	2006	AM	-1.17	-0.36	-0.64	-2.17	0.00	4.96	1.93	6.89	4.60	0.12	4.72	52.46	9.00
	2006	5	-1.21	-1.29	-9.44	-11.94	28.82	3.25	4.22	36.28	1.96	22.38	24.34	52.46	46.40
	2006	60	-1.21	-1.32	-8.10	-10.64	30.04	3.76	4.88	38.68	2.44	25.61	28.04	52.46	53.45
	2006	80	-1.21	-1.21	-7.02	-9.44	26.36	4.68	6.07	37.11	3.47	24.20	27.67	52.46	52.74
Magerrasen I	2008	AM	-0.70	-0.23	-0.41	-1.34	0.00	3.27	1.27	4.54	3.03	0.16	3.19	18.53	17.23
	2008	5	-0.71	-0.59	-5.49	-6.79	11.54	1.09	1.41	14.03	0.49	6.75	7.24	18.53	39.06
	2008	60	-0.71	-0.58	-3.46	-4.75	11.14	1.13	1.46	13.73	0.55	8.43	8.97	18.53	48.42
	2008	80	-0.71	-0.59	-4.32	-5.62	11.10	1.12	1.46	13.68	0.54	7.52	8.06	18.53	43.48
Magerrasen II	2008	AM	-1.04	-0.38	-0.67	-2.09	0.00	4.31	1.68	5.99	3.93	-0.03	3.90	27.99	13.93
	2008	5	-1.06	-0.92	-9.19	-11.17	16.91	1.58	2.04	20.53	0.65	8.70	9.35	27.99	33.42
	2008	60	-1.06	-0.91	-6.32	-8.30	16.82	1.83	2.37	21.01	0.91	11.80	12.71	27.99	45.43
	2008	80	-1.06	-0.91	-6.64	-8.62	16.75	1.54	2.00	20.28	0.63	11.04	11.67	27.99	41.68
Kleinseggenried	2008	AM	-0.73	-0.23	-0.42	-1.38	0.00	3.17	1.24	4.41	2.94	0.09	3.03	25.76	11.77
	2008	5	-0.75	-0.74	-5.95	-7.44	16.57	1.06	1.37	19.00	0.32	11.24	11.56	25.76	44.85
	2008	60	-0.75	-0.74	-3.60	-5.09	16.55	1.12	1.46	19.12	0.38	13.65	14.03	25.76	54.46
	2008	80	-0.75	-0.73	-4.32	-5.81	16.60	1.09	1.42	19.11	0.36	12.94	13.30	25.76	51.64
Hochstaudenflur	2008	AM	-1.80	-0.57	-1.02	-3.40	0.00	4.53	1.76	6.30	3.96	-1.06	2.90	43.94	6.60
	2008	5	-1.84	-1.43	-14.93	-18.20	26.89	1.97	2.56	31.42	0.54	12.68	13.22	43.94	30.09
	2008	60	-1.84	-1.39	-9.00	-12.24	25.92	2.15	2.79	30.86	0.76	17.86	18.62	43.94	42.37
	2008	80	-1.84	-1.38	-10.42	-13.64	25.41	2.25	2.92	30.58	0.87	16.07	16.94	43.94	38.54
Magerrasen I	Mittel- wert	AM	-0.54	-0.18	-0.31	-1.03	0.00	3.04	1.18	4.22	2.86	0.32	3.18	18.04	17.66
	5		-0.56	-0.54	-4.34	-5.44	11.20	0.87	1.13	13.20	0.33	7.43	7.76	18.04	43.15
	60		-0.56	-0.50	-2.71	-3.77	10.16	1.37	1.78	13.31	0.87	8.66	9.54	18.04	53.01
	80		-0.56	-0.53	-3.43	-4.53	11.05	1.05	1.37	13.47	0.52	8.42	8.94	18.04	49.76
Magerrasen II	Mittel- wert	AM	-0.82	-0.28	-0.50	-1.60	0.00	3.82	1.49	5.31	3.54	0.16	3.70	26.05	14.24
	5		-0.85	-0.81	-6.81	-8.47	15.93	1.40	1.82	19.15	0.59	10.09	10.68	26.05	41.63
	60		-0.84	-0.78	-4.78	-6.40	15.37	2.05	2.66	20.08	1.27	12.41	13.68	26.05	53.08
	80		-0.84	-0.78	-5.11	-6.74	15.39	1.84	2.39	19.62	1.06	11.82	12.89	26.05	50.10
Kleinseggenried	Mittel- wert	AM	-0.87	-0.27	-0.49	-1.63	0.00	3.14	1.22	4.37	2.87	-0.13	2.74	27.51	10.07
	5		-0.89	-0.83	-6.79	-8.52	17.47	1.26	1.64	20.38	0.43	11.43	11.86	27.51	43.21
	60		-0.89	-0.82	-3.98	-5.70	17.16	1.17	1.52	19.86	0.35	13.81	14.16	27.51	51.65
	80		-0.89	-0.78	-4.39	-6.06	16.06	1.50	1.94	19.51	0.71	12.73	13.44	27.51	49.03
Hochstaudenflur	Mittel- wert	AM	-1.48	-0.47	-0.83	-2.78	0.00	4.75	1.85	6.59	4.28	-0.47	3.81	48.20	7.80
	5		-1.53	-1.36	-12.18	-15.07	27.85	2.61	3.39	33.85	1.25	17.53	18.78	48.20	38.24
	60		-1.53	-1.36	-8.55	-11.44	27.98	2.95	3.83	34.77	1.60	21.74	23.33	48.20	47.91
	80		-1.52	-1.29	-8.72	-11.54	25.88	3.46	4.49	33.84	2.17	20.13	22.30	48.20	45.64

Untersuchungen zur energetischen Verwertung von Grünlandsilagen ökologisch wertvoller Standorte  
im oberen Murgtal in Herrischried/Südbaden

**Anhang 10:** Treibhausgasemissionen, Treibhausgasvermeidungen und Netto- Treibhausgaseinsparung der Ganzpflanzenvergärung des Ausgangsmaterials (AM) und des IFBB-Verfahrens bei unterschiedlicher Konditionierungstemperatur (5°C, 60°C, 80°C).

Vegetation	Jahr	Kond. [°C]	Treibhausgas-Emissionen					Treibhausgas-Vermeidung				Netto-Treibhausgas-einsparung CO <sub>2</sub> äq (t/ha)	
			Diesel	Strom	Wärme	Methan	Lachgas	Summe	Pelletver- brennung	Biogas Strom	Biogas Abwärme		Gesamt
			CO <sub>2</sub> äq (t/ha)	CO <sub>2</sub> äq (t/ha)	CO <sub>2</sub> äq (t/ha)	CO <sub>2</sub> äq (t/ha)	CO <sub>2</sub> äq (t/ha)	CO <sub>2</sub> äq (t/ha)	CO <sub>2</sub> äq (t/ha)	CO <sub>2</sub> äq (t/ha)	CO <sub>2</sub> äq (t/ha)		CO <sub>2</sub> äq (t/ha)
Magerrasen I	2006	AM	0.12	0.07	0.07	0.27	0.00	0.53	0.00	-1.65	-0.36	-2.01	-1.48
	2006	5	0.13	0.29	1.04	0.05	0.19	1.69	-3.54	-0.39	-0.28	-4.20	-2.52
	2006	60	0.13	0.25	0.64	0.12	0.16	1.28	-2.99	-0.95	-0.68	-4.62	-3.34
	2006	80	0.13	0.28	0.83	0.07	0.19	1.50	-3.58	-0.58	-0.42	-4.58	-3.08
Magerrasen II	2006	AM	0.19	0.11	0.11	0.32	0.00	0.73	0.00	-1.96	-0.42	-2.39	-1.66
	2006	5	0.19	0.41	1.44	0.09	0.26	2.39	-4.87	-0.72	-0.52	-6.11	-3.72
	2006	60	0.19	0.38	1.05	0.17	0.24	2.03	-4.53	-1.34	-0.96	-6.83	-4.81
	2006	80	0.19	0.38	1.17	0.16	0.24	2.14	-4.57	-1.26	-0.91	-6.74	-4.60
Kleinseggenried	2006	AM	0.31	0.19	0.18	0.30	0.00	0.98	0.00	-1.84	-0.39	-2.23	-1.25
	2006	5	0.32	0.54	2.49	0.11	0.32	3.77	-5.98	-0.87	-0.62	-7.47	-3.70
	2006	60	0.32	0.54	1.42	0.09	0.31	2.67	-5.79	-0.72	-0.52	-7.03	-4.36
	2006	80	0.32	0.49	1.45	0.14	0.27	2.66	-5.06	-1.12	-0.80	-6.98	-4.32
Hochstaudenflur	2006	AM	0.36	0.21	0.21	0.48	0.00	1.26	0.00	-2.92	-0.63	-3.55	-2.29
	2006	5	0.37	0.76	3.07	0.24	0.49	4.94	-9.38	-1.92	-1.37	-12.67	-7.73
	2006	60	0.38	0.78	2.64	0.27	0.52	4.58	-9.78	-2.22	-1.59	-13.59	-9.01
	2006	80	0.37	0.71	2.29	0.34	0.45	4.16	-8.58	-2.76	-1.98	-13.32	-9.15
Magerrasen I	2008	AM	0.21	0.14	0.14	0.32	0.00	0.80	0.00	-1.92	-0.41	-2.34	-1.54
	2008	5	0.22	0.35	1.79	0.08	0.20	2.63	-3.76	-0.64	-0.46	-4.86	-2.22
	2008	60	0.22	0.34	1.13	0.08	0.19	1.96	-3.63	-0.66	-0.48	-4.77	-2.81
	2008	80	0.22	0.35	1.41	0.08	0.19	2.24	-3.61	-0.66	-0.47	-4.75	-2.51
Magerrasen II	2008	AM	0.32	0.22	0.22	0.42	0.00	1.18	0.00	-2.54	-0.55	-3.09	-1.91
	2008	5	0.33	0.54	2.99	0.11	0.29	4.27	-5.51	-0.93	-0.67	-7.10	-2.83
	2008	60	0.33	0.54	2.06	0.13	0.29	3.35	-5.48	-1.08	-0.77	-7.32	-3.98
	2008	80	0.33	0.54	2.16	0.11	0.29	3.43	-5.45	-0.91	-0.65	-7.01	-3.58
Kleinseggenried	2008	AM	0.22	0.14	0.14	0.31	0.00	0.80	0.00	-1.87	-0.40	-2.27	-1.47
	2008	5	0.23	0.43	1.94	0.08	0.28	2.97	-5.40	-0.62	-0.45	-6.47	-3.50
	2008	60	0.23	0.44	1.17	0.08	0.28	2.21	-5.39	-0.66	-0.47	-6.52	-4.32
	2008	80	0.23	0.43	1.41	0.08	0.28	2.44	-5.40	-0.65	-0.46	-6.51	-4.08
Hochstaudenflur	2008	AM	0.56	0.34	0.33	0.44	0.00	1.67	0.00	-2.67	-0.57	-3.25	-1.58
	2008	5	0.57	0.84	4.86	0.14	0.46	6.88	-8.76	-1.16	-0.83	-10.75	-3.87
	2008	60	0.57	0.82	2.93	0.16	0.44	4.92	-8.44	-1.27	-0.91	-10.61	-5.69
	2008	80	0.57	0.81	3.39	0.16	0.44	5.38	-8.27	-1.33	-0.95	-10.55	-5.18
Magerrasen I	Mittel-	AM	0.17	0.10	0.10	0.29	0.00	0.67	0.00	-1.79	-0.38	-2.17	-1.51
	wert	5	0.17	0.32	1.41	0.06	0.19	2.16	-3.65	-0.51	-0.37	-4.53	-2.37
		60	0.17	0.29	0.88	0.10	0.17	1.62	-3.31	-0.81	-0.58	-4.69	-3.07
		80	0.17	0.32	1.12	0.08	0.19	1.87	-3.60	-0.62	-0.45	-4.67	-2.79
Magerrasen II	Mittel-	AM	0.25	0.17	0.16	0.37	0.00	0.95	0.00	-2.25	-0.48	-2.74	-1.78
	wert	5	0.26	0.48	2.22	0.10	0.27	3.33	-5.19	-0.83	-0.59	-6.61	-3.27
		60	0.26	0.46	1.56	0.15	0.26	2.69	-5.00	-1.21	-0.87	-7.08	-4.39
		80	0.26	0.46	1.67	0.13	0.26	2.78	-5.01	-1.09	-0.78	-6.88	-4.09
Kleinseggenried	Mittel-	AM	0.27	0.16	0.16	0.30	0.00	0.89	0.00	-1.85	-0.40	-2.25	-1.36
	wert	5	0.28	0.49	2.21	0.09	0.30	3.37	-5.69	-0.75	-0.53	-6.97	-3.60
		60	0.28	0.49	1.30	0.09	0.29	2.44	-5.59	-0.69	-0.50	-6.78	-4.34
		80	0.28	0.46	1.43	0.11	0.28	2.55	-5.23	-0.88	-0.63	-6.75	-4.20
Hochstaudenflur	Mittel-	AM	0.46	0.28	0.27	0.46	0.00	1.46	0.00	-2.80	-0.60	-3.40	-1.94
	wert	5	0.47	0.80	3.97	0.19	0.48	5.91	-9.07	-1.54	-1.10	-11.71	-5.80
		60	0.47	0.80	2.78	0.21	0.48	4.75	-9.11	-1.74	-1.25	-12.10	-7.35
		80	0.47	0.76	2.84	0.25	0.44	4.77	-8.43	-2.04	-1.46	-11.93	-7.16

# Abschlussbericht

## Bioenergieprojekt der VVG Bad Säckingen in Herrischried

---

### **Erfahrungsbericht aus der Sicht der VVG Bad Säckingen**

Der finanziellen Unterstützung durch die Badenova AG, der Stadt Bad Säckingen und der Gemeinde Herrischried war es zu verdanken, dass in den Jahren 2007 bis 2009 ein Forschungsprojekt zur Energiegewinnung aus ökologisch wertvollen Grünlandbeständen durch die Universität Kassel-Witzenhausen durchgeführt werden konnte. Ziel war es, ein neuartiges Verfahren zu prüfen, das die Nutzung von Landschaftspflegematerial ermöglicht.

Unerwartet kompliziert und zeitaufwendig gestaltete sich die Suche nach Kofinanzierungspartnern - und dies trotz allseitiger Interessenbekundungen.

Die im Labormaßstab gewonnenen Untersuchungsergebnisse zeigen, dass das IFBB-Verfahren eine vielversprechende Nutzungsalternative für schwierig zu verwertende Biomassen darstellt, die auf ihre wirtschaftliche Realisierbarkeit geprüft werden muss. Von Vorteil bei diesem neuartigen Verfahren ist, dass einerseits naturschutzfachliche und geopolitische Gesichtspunkte miteinander verknüpft werden können und andererseits keine Flächenkonkurrenz zur Nahrungsproduktion entsteht. Um eine fundierte Beurteilung des Verfahrens abgeben zu können, sind weitere Untersuchungen mit Prototypanlagen im Demonstrationsmaßstab notwendig.

Gegenwärtig befindet sich der Prototyp einer Demonstrationsanlage in Bau und geht im Februar im Vogelsbergkreis in Betrieb. Im Rahmen eines EU-Projektes wird diese Demonstrationsanlage in Deutschland, Wales und Estland bis 2012 getestet. Während der Monate Februar, März und April kann die Anlage in Vogelsberg besichtigt werden. Informationen und aktuelle Entwicklungen können über das Progras-Netzwerk, einem Zusammenschluss betroffener und interessierter Personen abgerufen werden ([www.progras.eu](http://www.progras.eu)). Nach Beendigung der Projektlaufzeit steht die Demonstrationsanlage für den Einsatz in weiteren Regionen Deutschlands zur Verfügung.

Zusammenfassend ist festzuhalten, dass dieses Forschungsprojekt eine Thematik behandelte, die sich in der öffentlichen Klimaschutzdiskussion und dem gestiegenen Stellenwert der regenerativen Energien zu einem Trendthema entwickelte. Anfragen aus dem gesamten Bundesgebiet u. a. von Universitäten, Forschungseinrichtungen, privatgewerblichen Initiativen, Unternehmen und Kommunen dokumentieren den hohen Forschungs- und Handlungsbedarf.

Der anlässlich des Kommunalforums „Bioenergie-Region“ in Freiburg vom 09.10.2009 präsentierte Erfahrungsbericht der VVG Bad Säckingen wirkte wie ein Katalysator und zeigte auf, dass sich die Verwertung von Mähgut aus der Landschaftspflege bundesweit zu einem immer dringlicheren Problem entwickelt hat und ein intensiver Wettbewerb um die geeignete technische und wirtschaftliche Leistung entbrannt ist.

Wir sind zuversichtlich, dass die Organisatoren des Kommunalforums unseren Vorschlag aufgreifen und eine spezielle Veranstaltung zur Mähgutproblematik mit Vertretern aus Wissenschaft, Wirtschaft und Politik in der Raumschaft der VVG Bad Säckingen austragen werden. Von Seiten der Universität Kassel-Witzenhausen wurde bereits Bereitschaft signalisiert, an einer solchen Veranstaltung mitzuwirken.

Bedauerlicherweise kam unsere Region bei der Standortwahl für eine Demonstrationsanlage nicht zum Zuge. Als verantwortlicher Projektleiter der Universität Kassel-Witzenhausen hat Professor Wachendorf alle Beteiligten des Badenova-Förderprojektes um Verständnis hierfür gebeten. Der besonderen Verpflichtung gegenüber den Unterstützern des Innovationsvorhabens wird die Universität Rechnung tragen und für die weitere wissenschaftliche Beratung unserer Region zur Verfügung stehen.