

Bioenergetische Nutzung von Presssäften aus Grünlandsilagen extensiver Standorte

Felix Richter, Rüdiger Graß, Walter Zerr, Michael Wachendorf

Zusammenfassung

Presssäfte aus Grünlandsilagen extensiver Standorte wurden nach dem an der Universität Kassel entwickelten Konzept „Integrierte Produktion von Strom und Festbrennstoff aus Silage“ (IPFS) bei Gärversuchen im Batch-Verfahren eingesetzt.

Methanausbeuten von 300 bis 530 l_N CH₄/kg oTS+FOS wurden bei Verweilzeiten von unter 14 Tagen erzielt. Diese wurden tendenziell durch eine der Abpressung vorgeschalteten Maischung der Silage bei Temperaturen von 60 bzw. 80°C erhöht. Vergleiche der Methanausbeuten mit Presssäften aus Grünlandsilage intensiver Bewirtschaftung sowie mit den Ausgangsmaterialien der Presssäfte zeigten eine Ebenbürtigkeit bzw. deutliche Überlegenheit der hier untersuchten Presssäfte in Bezug auf ihre Qualität als Gärsubstrat.

1 Einleitung und Problemstellung

Im Hinblick auf einen global wachsenden Energieverbrauch bei gleichzeitiger Verknappung fossiler Energieträger sowie einem Anstieg weltweiter CO₂-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.

Der Energiepflanzenanbau steht in Deutschland jedoch häufig in Konkurrenz zur Nahrungsmittelproduktion um begrenzte landwirtschaftliche Nutzflächen. Darüber hinaus werden derzeit vor allem mit Mais und Raps sehr betriebsmittelintensive Kulturen angebaut, die ökologische Probleme durch Nährstoffauswaschung, Bodenerosion und Minderung der Bodenfruchtbarkeit verursachen können [1].

Eine Kulturform, die weder eine Konkurrenz zur Nahrungsmittelproduktion darstellt, noch ökologische Bedenken hervorruft ist das extensive Grünland. Schätzungen zufolge werden mittelfristig ca. 25 % der Grünlandfläche Deutschlands aufgrund des vermehrten Kraffuttereinsatzes bei der Fütterung moderner Hochleistungstiere nicht mehr für die Futterproduktion benötigt [2].

Das extensive Grünland übernimmt neben der Futterproduktion jedoch 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 für die kulturelle Identität der einheimischen Bevölkerung eine beachtliche Rolle [3]. Die daraus folgende Notwendigkeit zur Erhaltung solcher Grünlandflächen ist langfristig jedoch nur durch neue Nutzungskonzepte ihrer Biomasse umzusetzen.

Ein weiterer kritischer Punkt der Bioenergieerzeugung ist die mangelnde Effizienz herkömmlicher landwirtschaftlicher Biogasanlagen, deren Nettoenergiegewinn nur ca. 50 % beträgt [4]. Dies liegt einerseits daran, dass ein Teil der Biomasse unvergoren im Gärrückstand verbleibt, da hohe Gehalte an lignozellulosereichen Strukturen den anaeroben Abbau hemmen [5]. Andererseits muss viel Energie für die Beheizung und Durchmischung des Fermenters aufgewendet werden und häufig besteht ein Mangel an Konzepten zur Nutzung der Abwärme im Zuge der Kraft-Wärme-Kopplung [5].

Auch bei der thermischen Verwertung von Grünlandbiomasse gibt es einige Restriktionen, da hohe Gehalte an Kalium, Magnesium und Chlorid die Ascheerweichung fördern und Korrosionen im Brennkessel hervorrufen [6].

Im Hinblick auf eine Optimierung der Konversion von landwirtschaftlicher Biomasse in Energie wurde am Fachbereich Ökologische Agrarwissenschaften der Universität Kassel ein Verfahren entwickelt, bei dem Ganzpflanzensilage durch mechanische Entwässerung in einen leicht vergärbaren Presssaft und einen als Festbrennstoff nutzbaren Presskuchen getrennt wird (Abb.1) [5]. Ziel ist dabei die Steigerung der Energieeffizienz.

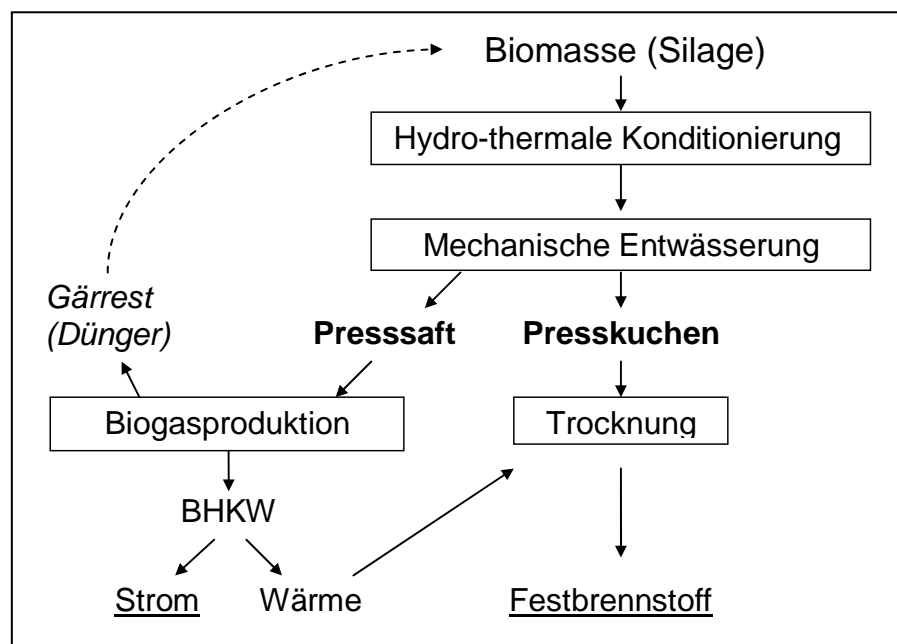


Abb. 1: Integrierte Produktion von Strom und Festbrennstoff aus Silage (IPFS)

Das Verfahren ermöglicht eine vollständige und ganzjährige Abwärmenutzung aus dem Verwertungspfad des Presssaftes für die Trocknung des Presskuchens bis zur

Lager- und Pelletierfähigkeit. Dabei ist es möglich, durch eine hydro-thermale Konditionierung (Maischen) der Silagen vor der Entwässerung die Massenflüsse der Inhaltsstoffe in den Presssaft und den Presskuchen so zu beeinflussen, dass diese Produkte für ihre jeweilige energetische Verwertung weiter optimiert werden. Der Gärrest aus der Presssaftvergärung kann als Dünger verwendet werden.

Im vorliegenden Beitrag werden die Nutzung von Presssäften mechanisch entwässerter Silagen von extensiven Grünlandstandorten in der Rhön und im Schwarzwald zur Biogaserzeugung sowie der Einfluss der hydro-thermalen Konditionierung in unterschiedlichen Temperaturstufen vorgestellt.

Im Zentrum der Fragestellung standen dabei (i) die Höhe der Methanausbeuten, (ii) die Dynamik der Gärprozesse, (iii) die Eignung als Gärsubstrat im Vergleich mit Grünlandsilagen sowie (iv) die Vorhersagbarkeit der Methanausbeuten aus den Inhaltsstoffen mittels Schätzformeln.

2 Material und Methoden

2.1 Presssäfte und Ausgangsmaterial von Grünlandsilagen

Das Probenmaterial stammte einerseits von fünf extensiven Grünlandstandorten und andererseits von einem Intensiv-Grünland aus einer Ansaatmischung (Dt. Weidelgras, Wiesenschwingel, Wiesenlieschgras, Wiesenrispe, Weißklee) in Bad Hersfeld / Hessen. Die extensiven Standorte waren:

- Magerrasen I (Schwarzwald)
- Magerrasen II (Schwarzwald)
- Kleinseggenried (Schwarzwald)
- Hochstaudenflur (Schwarzwald)
- Goldhaferwiese (Rhön).

Die mechanische Entwässerung der Silagen erfolgte mittels einer Schneckenpresse (Typ A_v, Fa. Anhydro, Kassel). Die Steigung der Schnecke betrug 1:7,5 und ihre Drehgeschwindigkeit lag bei 12 Umdrehungen pro Minute. In der Presse befand sich ein Sieb mit einer Lochung von 1,5 mm.

Vor der mechanischen Entwässerung wurde das Ausgangsmaterial durch Maischung mit Wasser konditioniert. Dazu wurde ein Rundbetonmischer mit einem Mischvolumen von 700 l verwendet, in den das zu pressende Material im Verhältnis von einem Teil Silage zu vier Teilen Wasser eingefüllt wurde. Unter dem Betonmischer waren Gasbrenner installiert, um die Maische zu erhitzen.

Das Ausgangsmaterial aller Varianten, mit Ausnahme der Intensiv-Grünlandsilage aus Bad Hersfeld, wurde jeweils in den drei Temperaturstufen 5°C, 60°C und 80°C für 15 Minuten gemischt. Dabei sollte untersucht werden, inwieweit sich eine ther-

mische Konditionierung mit der Maischflüssigkeit Wasser auf die Massenflüsse der Pflanzeninhaltsstoffe in den Presssaft bzw. den Presskuchen auswirkte.

Bei der Silage aus Intensiv-Grünland wurden zwei Varianten untersucht: Abpressung ohne jegliche Konditionierung und Abpressung nach einer Maischung bei 60°C nach dem beschriebenen Verfahren. Die Presssäfte sowie ihre Ausgangsmaterialien (AM) wurden als Gärsubstrate verwendet.

2.2 Chemische Analyse des Probenmaterials

Die organische Trockensubstanz (oTS) wurde durch Trocknung bei 105°C und anschließender Veraschung im Muffelofen bei 550°C ermittelt. Zur Bestimmung der flüchtigen organischen Säuren (FOS) Essigsäure, Buttersäure sowie Ethanol, die bei der oTS-Bestimmung nicht erfasst, aber im Gärprozess zu Methan umgewandelt werden, wurde ein Gaschromatograph verwendet.

Die Gehalte an K, Na, Ca, Mg und P wurden nach Säureaufschluss mit Salzsäure in einem Atomabsorptionsspektrometer (Unicam 939 AA Spectrometer), die N-Gehalte mit einem Stickstoff-Analysator FP-328 (Fa. LECO, Mönchengladbach) ermittelt.

Im Rahmen der Weender Futtermittelanalyse wurden die Stofffraktionen Rohfaser (XF), Rohfett (XL) und Rohasche (XA) nach gängigen Labormethoden bestimmt [7]. Die Fraktion Rohprotein (XP) wurde aus dem Stickstoffgehalt der Proben errechnet: $XP = 6.25 * N$. Die Stofffraktion NfE (N-freie Extraktstoffe) leitete sich rechnerisch als Differenz aus den anderen Rohnährstoffen ab [7]: $NfE = 100 - XA - XF - XL - XP$.

Zusätzlich wurden der Anteil (X) des Presskuchens (PK) am Ausgangsmaterial (AM) anhand der Rohwasser (XW)- und Trockensubstanz (TS)-Gehalte sowie die Massenflüsse (MF) der verschiedenen Inhaltsstoffe (Z) aus dem Ausgangsmaterial in den Presskuchen und den Presssaft (PS) nach folgenden Formeln bestimmt [8]:

$$\bullet \quad X = 1 - \frac{XW_{AM} * TS_{PK} - TS_{AM} * XW_{PK}}{TS_{PK} * XW_{PS} - XW_{PK} * TS_{PS}} \quad [\%]$$

$$\bullet \quad MF_{-Z_{PK}} = \frac{100 * X * TS_{PK} * Z_{PK}}{TS_{AM} * Z_{AM}} \quad [\%]$$

$$\bullet \quad MF_{-Z_{PS}} = 100 - MF_{-Z_{PK}} \quad [\%]$$

2.3 Berechnung der theoretischen Methanausbeute

Gemäß VDI-Richtlinie 4630 „Vergärung organischer Stoffe“ ist es möglich, die Gasausbeute und Gaszusammensetzung eines Gärsubstrates aus seinen Gehalten an Kohlenhydraten (XF und NfE), Rohfett (XL) und Rohprotein (XP) abzuschätzen

(Tab.1) [9]. Dabei muss beachtet werden, dass die Inhaltsstoffe pflanzlicher Gärsubstrate nur zu einem Teil umsetzbar bzw. verdaulich sind. Zur Berechnung können Verdaulichkeitswerte aus der Wiederkäuerernährung verwendet werden [10].

Tab. 1: Theoretische Biogasausbeute und –zusammensetzung bei der Vergärung von Kohlenhydraten, Rohfett und Rohprotein [9]

Stoffgruppe	Theoretische Biogasausbeute [l _N / kg oTS]	Theoretischer CH ₄ -Gehalt [%]	Theoretischer CO ₂ -Gehalt [%]
Kohlenhydrate (XF + NfE)	746	50	50
Rohfett (XL)	1390	72	28
Rohprotein (XP)	800	70	30

2.4 Anordnung und Durchführung der Gärversuche

Die Gärversuche wurden in gasdichten 20-l-Polyethylenbehältern im Batch-Verfahren durchgeführt. Zur Durchmischung des Substrates diente ein U-förmiger Rührstab, der während der gesamten Versuchsdauer alle drei Stunden für jeweils 15 Minuten in Betrieb war.

Die Vergärung erfolgte bei 37°C, als Impfsubstrat diente frische Fermentergülle einer Biogasanlage. Die Verweilzeit betrug für die Presssäfte 13 Tage, für die Ausgangsmaterialien 27 Tage. 24 Stunden nach Versuchsbeginn erfolgte die erste Messung der Methanausbeute in [l_N/kg oTS+FOS], die anschließend täglich wiederholt wurde.

3 Ergebnisse und Diskussion

3.1 Massenflüsse der Inhaltsstoffe in den Presssaft

Die Massenflüsse der Weender Rohnährstoffe in den Presssaft haben einen großen Einfluss auf dessen Vergärbarkeit. Sie lagen für die Rohfaserfraktion bei allen untersuchten Presssäften zwischen 5 und 30 %. Da diese Fraktion die schwer abbaubaren lignozellulosereichen Strukturen beinhaltet, sind diese geringen Massenflüsse positiv zu bewerten. Positive Effekte entstehen dabei auch für die thermische Verwertung des Presskuchens, der dementsprechend zwischen 70 und 95 % der Rohfaser des Ausgangsmaterials enthielt, da diese Stofffraktion maßgeblich für den Energiegewinn bei einer Verbrennung verantwortlich ist [6].

Die leicht vergärbaren Fraktionen Rohprotein sowie NfE fanden sich zu 30 – 50 % im Presssaft wieder. Die Massenflüsse des Rohfetts variierten stärker, wobei der insgesamt geringe Rohfettgehalt in den Presssäften von 0.5 bis 5 % nur zu einem unwesentlichen Teil zur Methanbildung beitrug.

Die Massenflüsse von K, Mg, P in den Presssaft betragen 60 – 90 %, was positiv zum innerbetrieblichen Nährstoffkreislauf beitragen kann, wenn diese Elemente über den Gärrest wieder den bewirtschafteten Flächen als Dünger zugeführt werden. Zugleich bedeutet ein entsprechender Massenfluss von nur 10 – 40 % in den Presskuchen eine Verminderung der negativen Brenneigenschaften gegenüber einer herkömmlichen Gras- oder Heuverbrennung. Die Massenflüsse von N in den Presssaft lagen zwischen 30 und 50 %, was für den Presskuchen zu einer Reduktion der Stickoxidemissionen bei der Verbrennung führt.

Die beschriebenen positiven Effekte verstärkten sich jeweils bei Konditionierungstemperaturen von 60 bzw. 80°C. Eine Erwärmung führt demnach zur gesteigerten Freisetzung von vergärbaren und leicht löslichen Inhaltsstoffen aus den Pflanzenzellen der Silage, die bei anschließender Entwässerung in den Presssaft übergehen [8].

3.2 Gärverläufe der Presssäfte und Ausgangsmaterialien

Anhand der hier beispielhaft für alle Presssäfte dargestellten Gärverläufe zeigt sich, dass die Gasbildung maßgeblich in den ersten vier bis fünf Tagen des Versuches stattfand, woraufhin sich eine Sättigung in den Kurven abzeichnet (Abb.2.a). Bei allen untersuchten Presssäften wurden innerhalb von 3 – 10 Tagen 90 % der gesamten Methanausbeute realisiert.

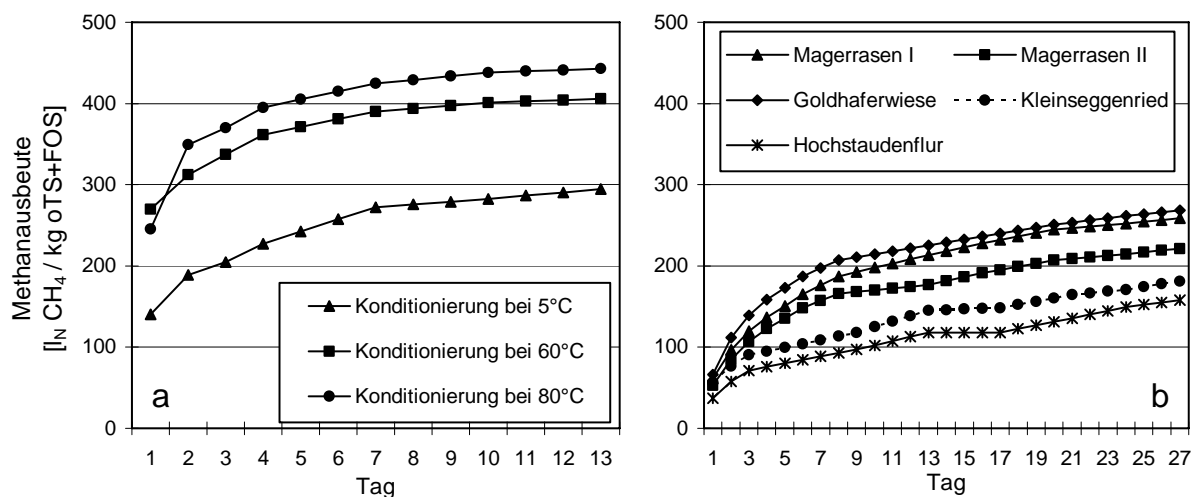


Abb. 2: Typische Gärverläufe eines Magerrasen-Presssaftes bei unterschiedlicher Konditionierung (a) und Gärverläufe der Ausgangsmaterialien (b)

Im Gegensatz dazu wird aus den Gärverläufen der Ausgangsmaterialien deutlich, dass nach einer hohen Gasbildungsrate in der Anfangsphase über den gesamten Versuchszeitraum hinweg eine kontinuierliche Methanbildung festzustellen war (Abb.2.b).

3.3 Vergleich der Methanausbeuten von Presssäften und ihren Ausgangsmaterialien

Die erzielten Methanausbeuten der Presssäfte lagen zwischen 294.5 (Magerrasen I mit 5°C-Konditionierung) und 554.6 l_N CH₄/kg oTS+FOS (Intensiv-Grünland mit 60°C-Konditionierung). Vergleichbare Methanausbeuten wurden bei Gärversuchen mit Maisilage-Presssäften (390 - 506 l_N CH₄/kg oTS+FOS) [11] und bei der Vergärung von Grassilage-Presssaft (573 l CH₄ / kg oTS) [12] erzielt.

Ein signifikanter Unterschied in der Methanausbeute lässt sich weder zwischen den Presssäften des intensiven Standortes und der extensiven Standorte, noch innerhalb der extensiven Varianten erkennen (Abb. 3). Außer bei den Presssäften aus Kleinseggenried-Silage wird jedoch eine Steigerung der Methanausbeute durch hohe Konditionierungstemperaturen (60°C und 80°C) realisiert. Dies ist durch die Massenflüsse der leicht vergärbaren Substanzen in den Presssaft zu erklären (vgl. Kap. 3.1).

Beim Vergleich der ermittelten Methanausbeuten der Presssäfte mit denen ihres jeweiligen Ausgangsmaterials wird deutlich, dass die meisten Presssäfte in ihrem Methanbildungsvermögen bezogen auf die oTS den Silagen deutlich überlegen sind (Abb. 3). Diese Überlegenheit zeigt sich vor allem bei den Varianten, die bei hohen Temperaturen konditioniert wurden.

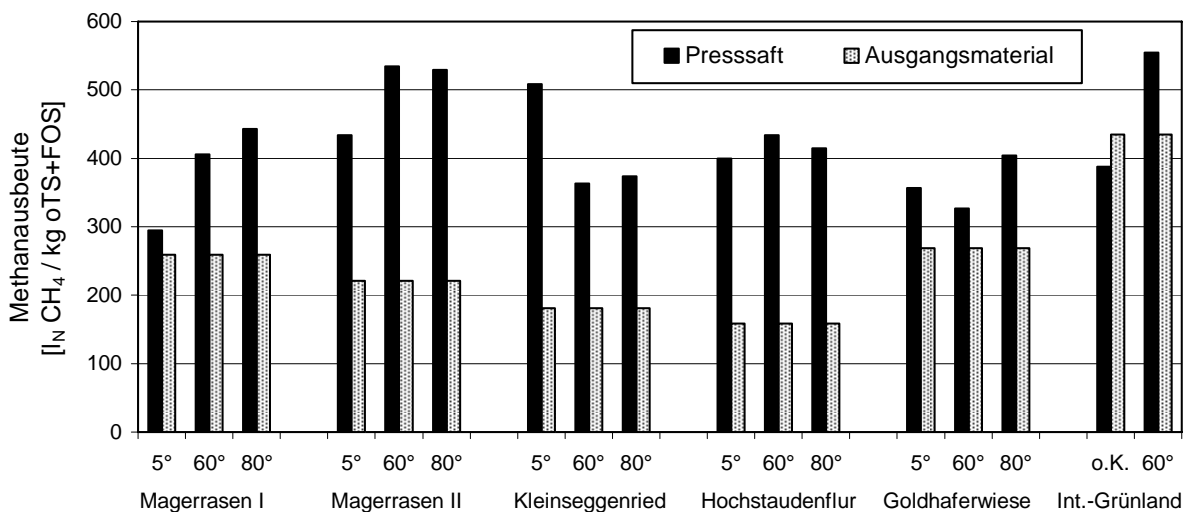


Abb. 3: Vergleich der Methanausbeuten von Presssäften mit denen ihrer Ausgangsmaterialien

Anhand des Intensiv-Grünlandes lässt sich erkennen, wie wichtig eine (hydrothermale) Konditionierung für die Aufwertung des Presssaftes als Gärsubstrat ist. Die Variante ohne vorherige Konditionierung (o.K.) weist sogar eine geringere Methanausbeute auf als ihr Ausgangsmaterial. Demnach sind dort die leicht vergärbaren, methanbildenden Bestandteile bei der mechanischen Entwässerung nicht in gleichem Maße in den Presssaft übergegangen wie bei den konditionierten Varianten.

3.4 Vergleich der theoretisch berechneten mit den gemessenen Methanausbeuten

Bei Gegenüberstellung der aus den Inhaltsstoffen der Weender Futtermittelanalyse errechneten und der im Gärversuch gemessenen Methanausbeuten der Presssäfte, wird ersichtlich, dass sich die Werte in einer vergleichbaren Größenordnung befinden (Abb. 4).

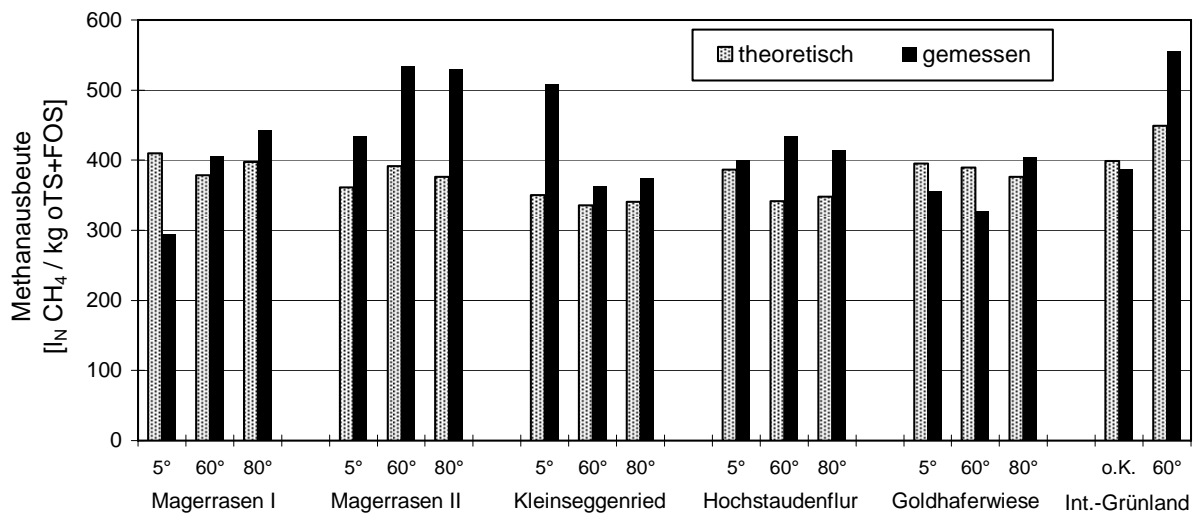


Abb. 4: Vergleich der theoretisch berechneten und analytisch ermittelten Methanausbeuten der Presssäfte

Die Differenz zwischen gemessenem und theoretischem Wert liegt bei mehr als der Hälfte der untersuchten Presssäfte unter 50 l_N CH₄/kg oTS+FOS. Demzufolge ist es möglich eine grobe Abschätzung der Methanausbeute über die Stofffraktionen der Weender Futtermittelanalyse für die hier verwendete Gärversuchsanstellung mit dem verwendeten Gärs substrat Presssaft vorzunehmen.

3.5 Nutzung der thermischen Energie aus dem Presssaft für die Trocknung des Presskuchens

Eine wichtige Fragestellung des hier vorgestellten Biomassenutzungskonzeptes ist, ob die thermische Energie, die bei der Verstromung des aus dem Presssaft gewonnenen Biogas im BHKW freigesetzt wird, ausreicht, um den dazugehörigen Presskuchen bis zur Lager- bzw. Pelletierfähigkeit (85 % TS) zu trocknen. Die TS-Gehalte der Presskuchen lagen direkt nach der mechanischen Entwässerung zwischen 46 und 54 %.

Je nach Art des Trocknungssystems, das für landwirtschaftliche Erzeugnisse dieser Art verwendet werden kann, ergibt sich dabei ein unterschiedlicher spezifischer Wärmebedarf im Bereich von 4000 - 6000 kJ/kg Wasser für die Trocknung. Weitere

wichtige Parameter für die Berechnung sind der Energiegehalt von Methan mit 35.89 MJ/m³ sowie der angenommene thermische Wirkungsgrad des BHKW mit 55 % [12].

Dabei ergaben sich erforderliche Energiemengen von 5.53 bis 39.66 GJ/ha. Die errechnete nutzbare Wärmeenergie aus den Presssäften lag bei 3.40 - 49.81 GJ/ha. Da die Ertragsdaten des Intensiv-Grünlands nicht vorlagen, konnten nur die Varianten der extensiven Grünlandstandorte in diese Betrachtung mit einbezogen werden.

Abb. 5 stellt die Energieüberschüsse bzw. –defizite aus der Presssaftvergärung nach einer Trocknung der dazugehörigen Presskuchen dar. Der prozentuale Wert gibt an, welcher Anteil der für die Trocknung aufzuwendenden Energiemenge überschüssig oder defizitär ist. Es zeigte sich, dass die Energiemengen aus den Presssäften, die nach einer 5°C-Konditionierung gewonnen wurden, außer bei der Hochstaudenflur nicht ausreichen würden, um den dazugehörigen Presskuchen zu trocknen.

Nur die nach einer hydro-thermalen Konditionierung bei 80 °C gewonnenen Presssäfte erzeugen in allen Grünland-Varianten genügend Wärmeenergie, um die dazugehörigen Presskuchen zu trocknen. Bei einer 60°C-Konditionierung ist dies nur teilweise gegeben.

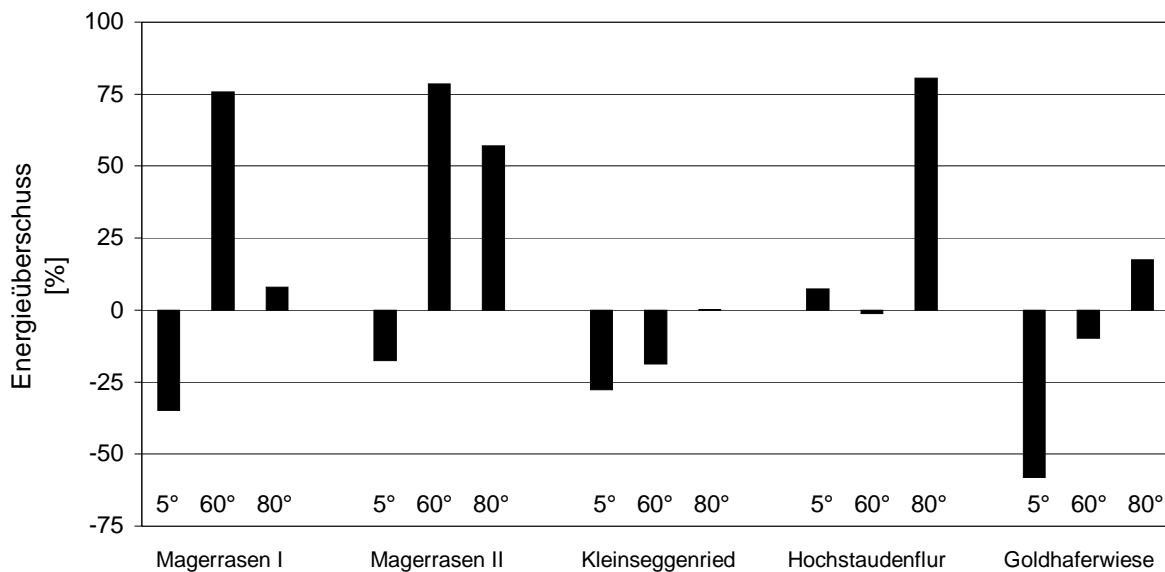


Abb. 5: Energieüberschüsse bzw. –defizite aus der Presssaftvergärung nach einer Trocknung der dazugehörigen Presskuchen

4 Fazit und Ausblick

Die Ergebnisse dieser Forschungsarbeit zeigen, dass Presssäfte aus mechanisch entwässerten Grünlandsilagen extensiver Standorte sehr gute Gärsubstrate für Biogasanlagen darstellen und dabei hohe Methanausbeuten von über 400 l_N CH₄ / kg oTS+FOS bei kurzen Verweilzeiten von unter 10 Tagen erzielen können.

Der hydro-thermalen Konditionierung der Silagen vor der Entwässerung kommt hierbei eine besondere Bedeutung zu, da sich vor allem bei Konditionierungstemperaturen von 60 bzw. 80 °C die Produkte Presssaft und Presskuchen im Hinblick auf ihre spätere Verwendung aufwerten lassen.

Somit ist das hier angewendete IPFS-Konzept eine interessante Alternative für die Nutzung extensiver Grünlandstandorte und eine Möglichkeit, ihren gegenwärtigen Zustand im Hinblick auf ihre wichtigen ökologischen und soziokulturellen Funktionen zu erhalten.

Für eine weiterführende, anwendungsbezogene Forschung steht die Umsetzung des Konzeptes in den Praxismaßstab bevor. Dabei soll die vollständige Produktionskette von der Konditionierung über die mechanische Entwässerung sowie die unterschiedliche Verwertung der Zwischenprodukte Presssaft und Presskuchen bis hin zu den Endprodukten Strom- bzw. Festbrennstoff, als kontinuierliches Verfahren umgesetzt werden.

5 Literatur

- [1] Graß, R.; Scheffer, K. (2005): Alternative Anbaumethoden: das Zweikulturnutzungssystem. *Natur und Landschaft*, 80 (9/10): 435-439
- [2] Prochnow, A.; Heiermann, M.; Idler, C.; Linke, B.; Mähnert, P.; 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
- [3] Nitsche, S.; Nitsche, L. (1994): *Extensive Grünlandnutzung*. Neumann Verlag, Radebeul
- [4] 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>
- [5] Wachendorf, M.; Fricke, T.; Graß, R.; Stülpnagel, R. (2007): Ein neues Konzept für die bioenergetische Nutzung von Grünlandbiomasse. *Mitteilungen der AGGF*, Band 8: 165-168
- [6] Hartmann, H. (2001): Brennstoffzusammensetzung und -eigenschaften. In: (M. Kaltschmitt; H. Hartmann, eds.): *Energie aus Biomasse: Grundlagen, Techniken und Verfahren*: 248-272. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York
- [7] Jeroch, H.; Drochner, W.; Simon, O. (1999): *Ernährung landwirtschaftlicher Nutztiere*. Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart

- [8] Beyrich, W. (2007): Energetische Nutzung extensiver Grünlandaufwüchse durch mechanische Entwässerung und thermische Vorbehandlung der feucht konservierten Pflanzenarten. Diplomarbeit, Universität Kassel
- [9] VDI (Verein Deutscher Ingenieure) (2004): VDI-Richtlinie 4630: Vergärung organischer Stoffe, Beuth Verlag, Berlin
- [10] Universität Hohenheim (Hrsg., 1997): DLG-Futterwerttabellen Wiederkäuer. DLG-Verlag, Frankfurt
- [11] Bühle, L.; Stülpnagel, R.; Scheffer, K.; Zerr, W.; Wachendorf, M. (2007): Methanbildungspotenzial und Gärdynamik von Presssäften mechanisch entwässerter Silagen. Mitteilungen der AGGF, Band 8: 188-191
- [12] Kromus, S; Narodoslowsky, M; Krotscheck, C. 2000): Grüne Bioraffinerie - Integrierte Grasnutzung als Eckstein einer nachhaltigen Kulturlandschaftsnutzung. Berichte aus Energie- und Umweltforschung 18/2000. Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie, Österreich
- [13] FNR (Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V.) (2006): Handreichung Biogasgewinnung und -nutzung. FNR, Gülzow

Bitte tragen Sie hier Ihre Kontaktdaten für die Veröffentlichung im Autorenverzeichnis ein:

Name, Vorname, Titel:	Richter, Felix, M.sc. ¹ Graß, Rüdiger, Dr. ¹ Zerr, Walter, Dipl.-Ing. ² Wachendorf, Michael, Prof. Dr. ¹
Firma/Institution:	¹ Universität Kassel, Fachgebiet Grünlandwissenschaft und Nach- wachsende Rohstoffe ² Landesbetrieb Hessisches Lan- deslabor, Standort Schloss Eichhof
Straße, Hausnr.:	¹ Steinstraße 19
PLZ, Ort:	¹ 37213 Witzenhausen ² 36251 Bad Hersfeld
E-Mail:	frichter@uni-kassel.de grass@wiz.uni-kassel.de hlva.hersfeld@t-online.de mwach@uni-kassel.de