

**Thomas Amon - Vitaliy Kryvoruchko - Barbara Amon - Sevim Buga -  
Karl Mayer - Werner Zollitsch - Erich Pötsch**

## **Optimierung der Biogaserzeugung aus den Energiepflanzen Mais und Klee gras-/Feldfuttermischungen**

### **1. Neue Rahmenbedingungen für die Biogaserzeugung**

Das neue Ökostromgesetz schafft in der österreichischen Energiepolitik erstmals den rechtlichen Rahmen für eine zukunftsweisende Biogaserzeugung aus Energiepflanzen. 180 bis 240 landwirtschaftliche Biogasanlagen stehen zur Errichtung an. Diese Anlagen müssen bis zum 31.12.2004 genehmigt sein und bis zum 30.06.2006 in Betrieb gehen, um als Ökostromanlagen zu gelten. Diese nationale Offensive stellt einen Meilenstein in der österreichischen Energiepolitik dar und findet ihre Grundlage in der Richtlinie 2001/77/EG des Europäischen Parlamentes und Rates, zur Förderung der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energiequellen im Elektrizitätsbinnenmarkt.

Das Ökostromgesetz *BGBI. I Nr. 149/2002* regelt in der *Verordnung BGBI. II Nr. 508/2002* eine einheitliche *Abnahmepflicht* für Strom aus als Ökostromanlagen anerkannten Biogasanlagen (§ 5 Abs. 1 Z 12 Ökostromgesetz), denen nach dem 31.12.2002 die für die Errichtung notwendigen Genehmigungen erteilt worden sind.

§ 7 Abs. 1 Ökostromgesetz *BGBI. I Nr. 149/2002* sieht vor, dass Anlagen zur Erzeugung elektrischer Energie, die ausschliesslich auf Basis erneuerbarer Energieträger betrieben werden, vom Landeshauptmann des Landes, in dem sich die Anlage befindet, bescheidmässig als Ökostromanlagen anzuerkennen sind. In Abbildung 1 wird die stoffliche Differenzierung, entsprechend dem Erlass in „Biomasse der land- und forstwirtschaftlichen Urproduktion“ und in „Sonstige Stoffe“, dargestellt. Werden in einer Biogasanlage Stoffe aus der Gruppe „sonstige Stoffe“ verwertet, sind diese Anlagen als „Ökostromanlagen unter Einsatz von Biogas bei Kofermentation“ anzuerkennen. Zugelassen sind nur jene „sonstigen Stoffe“, die den einschlägigen Bestimmungen im Bereich des Bodenschutzes, des Gewässerschutzes und relevanter Hygieneanforderungen entsprechen. Klärschlamm gilt nicht als zulässiger „sonstiger Stoff“ für Biogasanlagen.

Einspeisetarife (*Vergütungspflichten*) (Tabelle 1) wurden festgelegt, um im Jahr 2010 gemäss § 4 Abs. 1 das Richtlinienziel von 78,1 % Stromerzeugung aus erneuerbaren Energie-

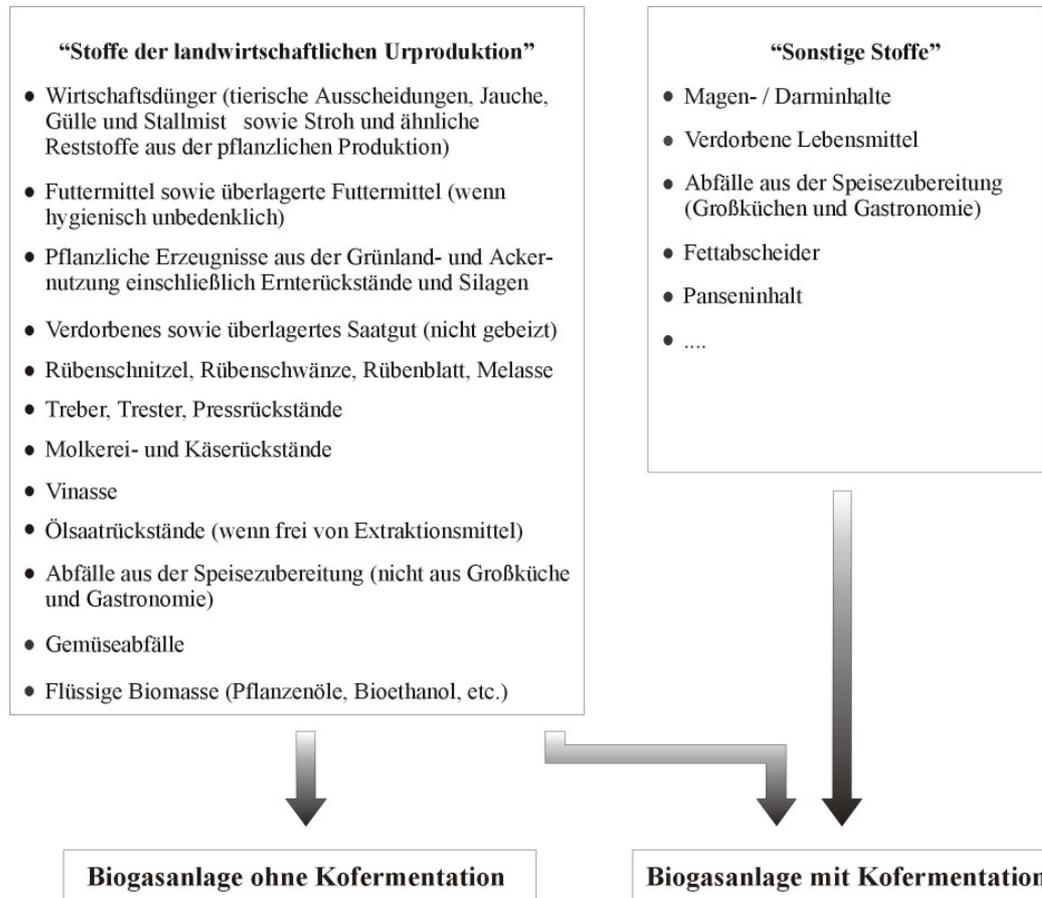
trägern zu erreichen. Die in der Verordnung enthaltenen Tarife gelten für die Abnahme elektrischer Energie ab Inbetriebnahme der Anlage für einen Zeitraum von 13 Jahren.

**Tabelle 1: Tarife für Ökostrom aus Biogasanlagen**

Anlagen mit einer Engpassleistung bis einschliesslich 100 kW	16,50 Cent/kWh
Anlagen mit einer Engpassleistung von mehr als 100 kW bis 500 kW	14,50 Cent/kWh
Anlagen mit einer Engpassleistung von mehr als 500 kW bis einschl. 1 MW	12,50 Cent/kWh
Anlagen mit einer Engpassleistung von mehr als 1 MW	10,30 Cent/kWh
Bei Einsatz von Biogas bei Kofermentation werden diese festgesetzten Tarife um 25 % reduziert.	

Die Höhe des Tarifs wird durch die Engpassleistung und durch die Art der verwendeten Gärrohstoffe bestimmt. Bei Kofermentation werden die festgesetzten Preise um 25 % reduziert. Zur genauen Definition, wann eine Biogasanlage als „Kofermentationsanlage“ zu bezeichnen ist und welche organischen Stoffe eingesetzt werden können, wurde am 20.03.2003 vom Bundesminister für Wirtschaft und Arbeit ein entsprechender Erlass („Stoffstromerlass“) verabschiedet.

**Abbildung 1: Stoffe für die Biogaserzeugung mit und ohne Kofermentation nach dem Erlass gem. § 7 Ökostromgesetz BGBl. I Nr. 149/2002**



## 2. Untersuchungen zum Einsatz der Gärrohstoffe Mais und Klee gras Feldfütter- mischungen für die Biogaserzeugung

Mais und Klee gras-/Feldfütter mischungen haben als Gärrohstoffe für die Biogaserzeugung eine zentrale Bedeutung. Die Wirtschaftlichkeit der Biogasproduktion wird von mehreren Faktoren bestimmt: Methanausbeute aus den Gärrohstoffen, Methanertrag pro Hektar, vollwertige und rationelle Nährstoffversorgung der Mikroorganismen im Fermenter und richtige Fermentergröße. Die genaue Kenntnis über den spezifischen Methanertrag und den Methanhektarertrag von Klee grasmischungen und Mais sind daher für Investitionsentscheidungen und für die Leistungsauslegung von Biogasanlagen vordringlich wichtig. Das Methanbildungsvermögen – der Methanenergiewert (MEW) – der Gärrohstoffe Mais und Klee gras muss genau berechnet werden können.

Mit einer eigenen, neu entwickelten Methode wurde der Stoff- und Energieumsatz bei der anaeroben Vergärung von Kleegrasmischungen und Mais im Eudiometer-Batch-Experiment auf Basis der DIN-Norm 38414 bei 40 °C untersucht (Abbildung 2).

**Abbildung 2: Eudiometeranlage für die Untersuchung des Stoff- und Energiewechsels von Gärrohstoffen für die Biogaserzeugung**



Die verwendeten Gärrohstoffe wurden aus Sortenversuchen verschiedener Standorte gewonnen. Zum Einsatz kamen früh bis spätreife Silomaisorten vom Trockenstandort Groß-Enzersdorf (PR 39 G12, Sandrina, Clarica, Monalisa, Ribera) und vom Standort Ludersdorf/Steiermark, einem Gunststandort für den Maisanbau (Benicia, Ribera, Phönix, Atalante, Saxxo). Bei Klee gras wurden die Mischungen Feldfutter-Intensivmischung (IM), Dauerwiesenmischung (DM) und Klee grasmischung (KM) vom Standort Gumpenstein/Ennstal verwendet. Ernte und Ertragsermittlung der Gärrohstoffe erfolgten im Verlauf der Vegetation jeweils zu drei verschiedenen Zeitpunkten. Der Einfluss der Silage- und Heubereitung auf das Methanbildungsvermögen der Gärrohstoffe wurde ebenfalls untersucht. Dazu wurde die Methanbildung von grünen, nicht silierten Gärrohstoffen und von Silage und Heu des selben Erntezeitpunktes verglichen.

**Abbildung 3: Maisbestand des Standortes Ludersdorf (Steiermark) zu drei Erntezeitpunkten und Zerkleinerungsgrad des Silomaises**



Abbildung 3 zeigt beispielhaft einen Silomaisbestand vom Sortenanbauversuch des Standortes Ludersdorf/Steiermark zu drei verschiedenen Erntezeitpunkten. Ebenfalls gezeigt ist der Zerkleinerungsgrad, mit der Silomais als Gärrohstoff zur Biogaserzeugung eingesetzt wurde.

### 3. Der Methanenergiewert (MEW) – Ein neues System zur energetischen Bewertung des Methanbildungsvermögens von Rohstoffen für die Biogaserzeugung

Zur praktischen Kalkulation des Methanbildungsvermögens und des Energiestoffwechsels der Gährrohstoffe wurde ein neues System – das Methanenergiewertsystem (MEWS) – entwickelt. Es basiert auf der Kenntnis des Methanbildungsvermögens von Biomasse bei bekannten Gehalten der Inhaltsstoffe Rohprotein (XP), Rohfett (XF), Rohfaser (XL) und N-freie Extraktstoffe (XX). Mit dieser, für die Biogaserzeugung neuen Methode wird die Bewertung des Methanbildungsvermögens von Gährrohstoffen anhand der Konzentration ihrer Inhaltsstoffe möglich. Der Methanenergiewert (MEW) von Gährrohstoffen zeigt das Methanbildungsvermögen einzelner Rohstoffe, wenn diese in Form eines natürlichen Gährrohstoffes den Mikroorganismen im Fermenter verabreicht werden.

Das neue Bewertungssystem baut auf folgenden wichtigen Prämissen auf:

- 1 Stoffwechselexperimente zum Gesamtprozess der anaeroben Zersetzung organischer Substanz in Methan werden im Labor (Batch-Verfahren) durchgeführt. Als Inoculum wird weitgehend vergorene Biomasse aus Biogasanlagen mit Energiepflanzenvergärung verwendet, die nach dem neuesten Stand der Technik gebaut wurden und betrieben werden (ÖKL-Biogasanlagen).
- 2 Im Stoffwechselexperiment wird der transformierbare Anteil der Bruttoenergie des Gärgutes in Methanenergie des Biogases überführt.
- 3 Das Bewertungssystem beruht auf der Verwendung der Rohstoffe von Gährrohstoffen. Der „Methanenergiewert“ eines Gährrohstoffes (MEW) wird nach einer multiplen Regressionsgleichung aus den Rohstoffgehalten der Gährrohstoffe: Rohprotein (XP), Rohfett (XL), Rohfaser (XF) und N-freie Extraktstoffen (XX) (in % der TS) berechnet und in  $\text{NI CH}_4/\text{kg oTS}$  angegeben.

$$\begin{aligned} \text{MEW [NI CH}_4/\text{kg oTS]} = & x_1 \cdot \text{Rohprotein (XP) (Gehalt i. \% d. TS)} \\ & + x_2 \cdot \text{Rohfett (XL)} \\ & + x_3 \cdot \text{Rohfaser (XF)} \\ & + x_4 \cdot \text{N-freie Extraktstoffe (XX)} \end{aligned}$$

- 4 Die Bruttoenergie (GE) und die Energie im Gärrückstand ( $E_{\text{GR}}$ ) werden im Bombenkalorimeter bestimmt.

- 5 Der Wirkungsgrad für die Methanbildung ( $\eta$ ) ergibt sich aus dem Quotienten Methanenergie im Biogas / Bruttoenergie des Gärgutes. Dem unmittelbaren Zusammenhang zwischen Methanerzeugung und dafür erforderlichem Bruttoenergiebedarf wird dadurch Rechnung getragen.
- 6 Im Methan-Energiewert-System erfolgt die Zusammenstellung einer Gärgutmischung durch anteilige Addition der Methanenergiewerte der einzelnen Gärrohstoffkomponenten. Die für die Kalkulation von Gärrohstoffmischungen vorteilhafte Bewertung von Einzelgärgütern ermöglicht die Kalkulation des Methanenergiewertes (MEW) der Gesamtgärrohstoffmischung. Das Methan-Energiewert-System ermöglicht durch die Verwendung der Summe der Rohnährstoffe die optimale Versorgung der Mikroorganismen mit Nährstoffen. Für eine angestrebte Leistung der Biogasanlage kann der erforderliche Nährstoffbedarf berechnet werden. Daraus ergeben sich erstmals grundlegende neue Möglichkeiten, von der Seite der Gärrohstoffe den anaeroben Zersetzungsprozess der organischen Substanz in praktischen Biogasanlagen zu optimieren und die Methanproduktionskapazität von Gärgütern in der Praxis maximal auszunutzen.

Das neue Methanenergiewertsystem (MEWS) kann als Instrument für die Biogaserzeugung in folgenden wichtigen Bereichen eingesetzt werden:

- zur praktischen Kalkulation des spezifischen Methanbildungsvermögens von Gärrohstoffen anhand ihrer Rohnährstoffe;
- zur Nährstoffbedarfskalkulation für die Biogaserzeugung;
- zur Berechnung der energetischen Leistung von Biogasanlagen abhängig von Art, Menge und Zusammensetzung von Gärrohstoffen;
- für Sortenempfehlungen und für die Bestimmung des optimalen Erntezeitpunktes für Energiepflanzen;
- für die Kalkulation von Methanhektarerträgen von Energiepflanzenarten, -sorten und Fruchtfolgen.

#### **4. Biogaserzeugung aus Kleegrasmischungen und Silomais**

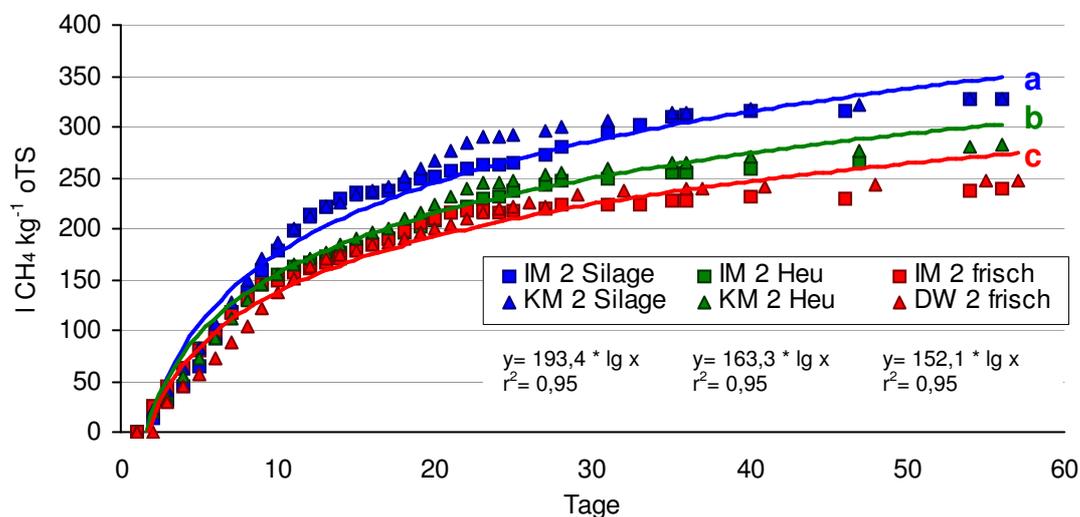
Zunächst werden das spezifische Methanbildungsvermögen, der Methanenergiewert und der Methanhektarertrag von Kleegras-, Feldfutter- und Dauerwiesenmischungen dargestellt. Daran anschließend wird die Biogaserzeugung aus Mais in gleicher Weise aufgezeigt.

#### 4.1 Klee gras-, Feldfutter- und Dauerwiesenmischungen

##### 4.1.1. Biogaserzeugung aus Klee gras-, Feldfutter- und Dauerwiesenmischungen

Abbildung 4 zeigt vergleichend das Methanbildungsvermögen von Gährrohstoffen am Beispiel einer Klee grasintensivmischung (KM), einer Feldfutterintensivmischung (IM) und einer Dauerwiesenmischung (DM) im Verlauf von 58 Gärtagen. Die Bestände wurden im Vegetationsstadium „in der Blüte“ (zweite Ernte) geerntet und als Silage und Heu konserviert. Im Vergleich dazu wurde auch grüne, nicht konservierte Biomasse des selben Vegetationsstadiums vergoren. Wie in Abbildung 4 zu sehen ist, war das spezifische Methanbildungsvermögen der Klee gras Mischung (KM), der Feldfutterintensivmischung (IM) und der Dauerwiesenmischung (DM) ähnlich hoch. Die Gehalte der Inhaltsstoffe Rohprotein (XP), Rohfett (XL) und Rohfaser (XF) waren ebenfalls ähnlich (Tab. 2). Jedoch hatte die Form der Konservierung einen deutlichen Einfluss auf das spezifische Methanbildungsvermögen der Gährrohstoffe. Silage erbrachte die höchste spezifische Methanausbeute von durchschnittlich  $326 \text{ NI CH}_4 \cdot \text{kg oTS}^{-1}$ . Bei Vergärung von frischen Pflanzen wurden nur  $240 \text{ NI CH}_4 \cdot \text{kg oTS}^{-1}$  gemessen. Das Methanbildungspotential von Heu lag mit  $275 \text{ NI CH}_4 \cdot \text{kg oTS}^{-1}$  zwischen dem von Silage und frischer Biomasse. Der Methangehalt des Biogases lag zwischen 67,1 und 71,4 %.

**Abbildung 4: Kumulative spezifische Methanbildung aus silierten, frischen und getrockneten Gährrohstoffen von Klee gras- (KM), Feldfutter- (IM) und Dauerwiesenmischungen (DM).** Dargestellt sind die gemessenen Werte sowie die auf diesen basierenden Kurvenanpassungen mit dazugehörigen Berechnungsformeln. Mit unterschiedlichen Buchstaben gekennzeichnete Kurvenverläufe bedeuten einen signifikanten Unterschied bei  $p < 0,05$ .



Der spezifische Methanertrag der Klee-grasintensivmischung (KM) und der Feldfutterintensivmischung (IM) wurde am stärksten von der Vegetationsentwicklung der Pflanzenbestände zum Zeitpunkt der Ernte bestimmt (Tab. 2). Der Erntezeitpunkt beeinflusste vor allem den Rohprotein (XP)- und den Rohfettgehalt (XF) sowie den Gehalt an N-freien Extraktstoffen (XX) in den Gärrohstoffen.

**Tabelle 2: Inhaltsstoffe, Bruttoenergiegehalt und spezifische Methanausbeute der Klee-gras- (KM), Feldfutter- (IM) und Dauerwiesenmischung (KM) verschiedener Reifestadien und Konservierungsformen**

Varianten	XP	XL	XF	XA	XX	ADL	GE	ZEL	H-ZEL	C	C/N	TS	oTS	CH <sub>4</sub> - Ertrag NI CH <sub>4</sub> * kg oTS <sup>-1</sup>
	% TM	% TM	% TM	% TM	% TM	% TM	MJ * KgTS <sup>-1</sup>	% TM	% TM	% TM		% FM	% FM	
IM 1 <sup>1)</sup> Silage	17,93	7,54	33,08	13,51	27,94	36,35	16,28	43,38	6,40	46,42	8,9	10,06	8,70	369,67
IM 2 <sup>2)</sup> Silage	13,70	4,59	34,36	10,73	36,63	37,43	15,81	39,30	14,69	44,47	12,0	12,30	10,98	325,85
IM 3 <sup>3)</sup> Silage	13,61	3,87	32,41	8,65	41,47	36,61	15,94	40,51	13,87	46,39	14,1	15,64	14,29	296,61
KM 1 Silage	18,09	6,62	32,52	12,43	30,34	33,09	15,96	36,16	15,50	45,33	9,9	9,08	7,95	390,40
KM 2 Silage	14,22	3,40	35,79	9,88	36,71	38,33	16,04	43,06	17,07	45,05	11,1	12,08	10,89	325,52
KM 3 Silage	14,35	3,86	33,92	8,55	39,32	37,35	16,03	43,63	16,22	46,17	17,6	16,78	15,35	289,98
IM 2 Frisch	15,94	3,80	24,20	8,12	47,94	27,63	15,83	29,52	18,90	45,17	18,4	19,34	17,77	236,92
DW 2 Frisch	18,92	3,12	26,34	11,88	39,74	31,97	15,78	35,67	12,41	44,69	9,3	9,78	8,62	245,61
IM 2 Heu	12,53	2,46	27,84	7,39	49,77	30,24	16,14	34,29	16,85	45,16	79,1	87,6	81,14	267,47
KM 2 Heu	11,59	2,07	32,13	6,94	47,28	35,59	12,99	40,77	13,77	45,00	82,2	89,5	83,28	279,56

<sup>1)</sup>Vegetationsstadium: vor dem Ähren-/Rispschieben; <sup>2)</sup> in der Blüte; <sup>3)</sup> Ende der Blüte

Mit zunehmender Reifeentwicklung der Klee-gras- (KM) und Feldfutterbestände (IM) nahmen der Rohprotein- (XP) und der Rohfettgehalt (XF) in Silagen ab. Der Gehalt an N-freien Extraktstoffen (XX) nahm zu. Der Rohfasergehalt (XF) veränderte sich im Verlaufe der Vegetation nicht wesentlich.

Der aus den Silagen erzeugte spezifische Methanertrag nahm bei der Feldfutterintensivmischung (IM) im Verlauf der Vegetation um 20 % ab: von 370 NI CH<sub>4</sub>/kg oTS („vor dem Ähren-/Rispschieben“) auf 297 NI CH<sub>4</sub>/kg oTS („Ende der Blüte“). Bei Klee-grassilage nahm der

spezifische Methanertrag im selben Vegetationszeitraum von 390 NI CH<sub>4</sub>/kg oTS auf 290 NI CH<sub>4</sub>/kg oTS um 26 % ab.

Nach 41 – 44 Gärtagen waren 95 % der möglichen Methanmenge aus den Kleegrassilagen und dem Heu gebildet worden. Für die Praxis ergibt sich daraus bei einem Sicherheitszuschlag von 10 % eine erforderliche hydraulische Verweilzeit von 45 – 47 Gärtagen bei einer Gärtemperatur von 40 °C.

#### 4.1.2. Methanhektarertrag der Feldfutter- und Kleegrasmischungen

Die Feldfutter- und Kleegrasmischungen des Standortes Gumpenstein zeigten bei einer Dreischnittnutzung einen Biomasseertrag von 5,5 bis 6,4 t oTS pro Hektar. In Bezug auf den Methanhektarertrag wurden im optimalen Erntezeitpunkt bei der Feldfutterintensivmischung 2.033 – 2.366 bis Nm<sup>3</sup> CH<sub>4</sub>/ha und bei der Kleegrasmischung 2.147 – 2.499 bis Nm<sup>3</sup> CH<sub>4</sub>/ha erreicht. Für die Silagebereitung war unter den Wachstumsbedingungen und Standortverhältnissen des Ennstals bei allen Sortenmischungen das Vegetationsstadium „im Ähren-/Rispenstadien“ optimal. Abweichungen vom optimalen Erntetermin durch zu späte Ernte verursachten Minderungen im Methanhektarertrag um bis zu 25 %. Die Heubereitung bewirkte im Vergleich zu grüner, nicht konservierter Biomasse einen Mehrertrag an Methan von 12 %. Durch die Silagebereitung wurde im Vergleich zu frischer nicht konservierter Biomasse ein Mehrertrag von 26 % erreicht.

#### 4.1.3 Methanenergiewert (MEW) von Feldfutter- und Kleegrasmischungen

Die Schätzggleichung zur energetischen Bewertung von Feldfutter-/Kleegrasmischungen für die Methanbildung in Biogasanlagen wird auf der Basis der Rohnährstoffgehalte Rohprotein (XP), Rohfett (XL), Rohfaser (XF) und N-freie Extraktstoffe (XX) (in % der TS) und des spezifischen Methanbildungsvermögens in NI CH<sub>4</sub>/kg oTS der Kleegrassilagen erstellt.

Die meisten Futterpflanzen eignen sich auch als Gärrohstoffe für die Biogaserzeugung. Für Futterpflanzen liegen bereits umfangreiche Datensammlungen über die genannten Inhaltsstoffe vor, z.B. als DLG-Futterwerttabellen für Wiederkäuer. Sie können zur praktischen Kalkulation des Methanenergiewertes (MEW) dieser Gärrohstoffe in vollem Umfang verwendet werden.

Tabelle 3 zeigt die aus den Daten von Tabelle 2 ermittelte Regressionsgleichung zur Berechnung des Methanenergiewertes der Feldfutter-/Kleegrasmischungen anhand der Roh-

nährstoffe. Dargestellt sind die Regressionskoeffizienten der Rohnährstoffe für die Methanbildung, das Bestimmtheitsmaß, der F-Wert, die Durbin-Watson-Statistik und die Signifikanzniveaus der Gesamtgleichung und der einzelnen Regressionskoeffizienten.

**Tabelle 3: Parameter der Regressionsgleichung zur Berechnung des Methanenergiewertes (MEW) von Feldfutter- und Kleeegrasmischungen anhand der Rohnährstoffe: Rohprotein (XP), Rohfett (XL), N-freie Extraktstoffe (NFE) und Rohfaser (XF)**

<i>Inhaltsstoff</i>	<i>Regressionskoeffizient</i>	<i>Einheit</i>	<i>Signifikanzniveau</i>
Rohprotein (XP)	11,77	% TS	0,47
Rohfett (XL)	4,46	% TS	0,84
N-freie Extraktstoffe (NFE)	-1,60	% TS	0,66
Rohfaser (XF)	5,56	% TS	0,42

Qualitätsparameter der Gesamtgleichung:

$R^2 = 0,998$ ; F-Wert = 305,036; Durbin-Watson-Wert = 1,447; Signifikanzniveau = 0,003; n = 6

Wie Tabelle 3 zeigt, kann der Methanenergiewert (in NI CH<sub>4</sub> / kg oTS) von Klee- und Feldfuttersilage anhand der geschätzten Parameter (Regressionskoeffizienten) für die Methanbildung aus den Rohnährstoffen mit Hilfe einer multiplen linearen Regressionsgleichung berechnet werden. Das Gesamtmodell ist genau ( $r^2 = 0,998$ ) und signifikant ( $p = 0,003$ ). Die Gleichung gibt weiterhin den Wert der einzelnen Rohnährstoffkomponenten zum Methanenergiewert an. Zum Beispiel zeigt Rohprotein (XP) mit dem Regressionskoeffizienten 11,77 den höchsten Beitrag zum Methanenergiewert. Die Regressionskoeffizienten von Rohfett (XL) (4,46) und Rohfaser (XF) (5,56) zeigen mittlere Beiträge zum Methanenergiewert. Der Regressionskoeffizient für die N-freien Extraktstoffe (XX) (-1,60) weist eine leicht mindernde Wirkung dieser Stoffgruppe für den Methanenergiewert von Feldfutter-/Kleeegrassilage auf.

Die Berechnung des Methanenergiewertes von Feldfutter-/Kleeegrassilage wird an zwei nachfolgenden Beispielen für Gährrohstoffe des ersten Schnittes im Vegetationsstadium „im Ähren-/Rispschieben“ und für Gährrohstoffe des ersten Schnittes im Vegetationsstadium „Ende der Blüte“ demonstriert (Tabellen 4 und 5). Der Methanenergiewert von Kleeegrassilage gibt an, welche Methanmenge in NI CH<sub>4</sub> bei der Vergärung von einem kg oTS Kleeegrassilage im Biogas erscheint, abhängig vom Rohnährstoffgehalt in der Trockensubstanz der Silage.

**Tabelle 4: Beispiel für die Berechnung des Methanenergiewertes von Kleegrassilage 1. Schnitt, im Ähren-/Rispschieben**

<i>Inhaltsstoff</i>	<i>Rohnährstoffgehalt</i> [% TS]	<i>Faktor für MEW</i>	<i>MEW</i> [NI CH <sub>4</sub> /kg oTS]
Rohprotein (XP)	17,9	11,77	210,7
Rohfett (XL)	7,5	4,46	33,5
N-freie Extraktstoffe (XX)	27,9	-1,60	-44,6
Rohfaser (XF)	33,8	5,56	187,9
			<b>387,5</b>

**Tabelle 5: Beispiel für die Berechnung des Methanenergiewertes von Kleegrassilage 1. Schnitt, Ende der Blüte**

<i>Inhaltsstoff</i>	<i>Rohnährstoffgehalt</i> [% TS]	<i>Faktor für MEW</i>	<i>MEW</i> [NI CH <sub>4</sub> /kg oTS]
Rohprotein (XP)	13,6	11,77	160,1
Rohfett (XL)	3,9	4,46	17,4
N-freie Extraktstoffe (XX)	41,5	-1,60	-66,4
Rohfaser (XF)	32,4	5,56	180,1
			<b>291,2</b>

Die Berechnungsbeispiele zeigen den Einfluss der Rohnährstoffzusammensetzung der Gärrohstoffe auf ihren Methanenergiewert. Während Klee gras-/Feldfuttersilage des Vegetationsstadiums „im Ähren-/Rispschieben“ einen MEW von 386,5 NI CH<sub>4</sub>/kg oTS hat, liegt der MEW von Klee gras-/Feldfuttersilage im Vegetationsstadium „Ende der Blüte“ nur mehr bei 291,8 NI CH<sub>4</sub>/kg oTS und damit um 24,6 % niedriger. Der Erntezeitpunkt bestimmt den Methanenergiewert von Klee gras- und Feldfuttersilage am wesentlichsten.

## 4.2 Mais

### 4.2.1 Biogaserzeugung aus Mais

Die Maissorten zeigten ein charakteristisches spezifisches Methanbildungsvermögen, welches wesentlich vom Gehalt und dem Verhältnis der Nährstoffkomponenten zueinander abhängig war. Der Nährstoffgehalt wurde am stärksten vom Stadium der Vegetationsentwicklung der Maispflanzen beeinflusst. Darüber hinaus bestand eine Standort- und Sortenabhängigkeit.

Bei Mais bewirkte die Silagebereitung im Vergleich zur Nutzung frischer, nicht konservierter Biomasse einen Mehrertrag an Methan von 15 %.

In den Tabellen 6 und 7 sind die Inhaltsstoffe aller als Gärrohstoffe verwendeten Silomaisganzpflanzensilagen dargestellt. Die Gärrohstoffe wurden aus Sortenanbauversuchen der Standorte Groß-Enzersdorf/Niederösterreich (Tab. 6) und Ludersdorf/Steiermark (Tab. 7) gewonnen.

Neben den Inhaltsstoffen Rohprotein (XP), Rohfett (XL), Rohfaser (XF), Rohasche (XA), N-freie Extraktstoffe (XX), Lignin (ADL), Zellulose (ZEL), Hemizellulose (H-ZEL), Kohlenstoff (C), Gesamtstickstoff (Nt), Ammoniumstickstoff (NH<sub>4</sub>-N) sind die Gehalte an Trockensubstanz (TS) und an organischer Trockensubstanz (oTS) angegeben. Zudem ist die Bruttoenergie (GE) der Ganzpflanzensilage aller verwendeten Maissorten angeführt und die spezifische Methanausbeute in NI CH<sub>4</sub> pro kg oTS aus der Silomaissilage gezeigt.

**Tabelle 6: Inhaltsstoffe, Bruttoenergiegehalt und spezifische Methanausbeute von Silomais verschiedener Sorten und Reifestadien; Sortenanbauversuch Groß-Enzersdorf (nach Amon et al. 2002b)**

Varianten	XP	XL	XF	XA	XX	ADL	GE	ZEL	H-ZEL	C	C/N	TS	oTS	CH <sub>4</sub> - Ertrag
	% TM	% TM	% TM	% TM	% TM	% TM	MJ * kgTS <sub>1</sub>	% TM	% TM	% TM		% FM	% FM	* kg oTS <sup>-1</sup>
PR 39 1. E	8,70	3,40	20,22	3,89	63,79	23,55	18,42	0,79	38,22	46,57	36,10	35,00	33,64	292,86
PR 39 2. E	7,71	2,99	20,30	3,62	65,38	21,75	18,18	0,15	32,51	47,09	36,79	47,10	45,39	272,34
PR 39 3. E	9,18	3,46	19,87	3,26	64,23	21,32	17,39	0,41	29,10	47,14	37,38	54,70	52,92	257,69
Ribera 1. E	8,81	2,19	20,15	4,02	64,83	23,96	18,61	2,54	36,69	47,27	25,72	31,84	30,56	288,68
Ribera 2. E	8,88	2,56	21,11	3,34	64,11	22,26	17,45	1,60	21,96	45,69	28,36	47,15	45,58	311,20
Ribera 3. E	9,48	2,36	18,72	3,55	65,89	20,31	17,42	0,20	28,84	47,12	24,39	40,37	38,94*	279,84
Sandria 1. E	9,12	3,42	23,67	3,78	60,01	25,38	17,74	4,27	35,57	47,14	32,96	30,60	29,44	375,16
Sandria 2. E	8,77	3,10	20,20	3,31	64,62	22,97	17,23	3,75	26,36	46,94	36,70	46,30	44,77	362,20
Sandria 3. E	7,69	2,39	19,74	3,74	66,44	23,92	17,49	3,72	29,57	47,08	37,76	41,00	39,47*	299,10
Clarica 1. E	9,33	2,68	19,05	3,79	65,14	22,44	18,61	2,89	36,07	47,27	35,08	34,10	32,81	332,08
Clarica 2. E	9,57	2,74	16,00	3,39	68,30	20,67	17,57	1,75	32,44	47,58	32,95	43,50	42,02	322,45
Clarica 3. E	9,92	2,88	16,29	3,13	67,78	21,49	18,27	3,87	21,72	46,26	29,03	48,00	46,50	335,26
Monalisa 1. E	9,79	2,57	21,76	4,02	61,87	24,65	18,14	3,49	30,54	46,57	31,96	31,90	30,62	274,91
Monalisa 2. E	8,95	3,31	18,38	3,05	66,31	20,94	18,26	3,15	21,70	47,09	41,39	44,30	42,95	285,06
Monalisa 3. E	9,35	3,82	19,37	4,04	63,42	24,71	17,83	4,25	19,94	46,76	31,30	44,50	42,70	246,55

1. E = Ernte nach 118 Wachstumstagen im Vegetationsstadium „in der Teigreife der Körner“;

2. E = Ernte nach 131 Wachstumstage im Vegetationsstadium „Ende der Teigreife der Körner“;

3. E = Ernte nach 147 Wachstumstagen im Vegetationsstadium „Vollreife“ der Pflanzen

\* Bruchverluste, eventl. höherer Wassergehalt durch Taubildung

In Bezug auf die für den Methanenergiewert relevanten Inhaltsstoffe zeigten die Sorten beider Standorte zum Teil deutliche Unterschiede. Wie der Vergleich der Inhaltsstoffe des Silomais beider Standorte zeigt, wiesen die Silomaisganzpflanzensilagen aus Groß-Enzersdorf um durchschnittlich 1,3 % höhere Gehalte an Rohprotein (XP), um 1,4 % höhere Gehalte an Rohfett (XL) und einen deutlich höheren Gehalt an Lignin - durchschnittlich 12,3 % - auf. Die Silomaisarten aus Ludersdorf zeigten um durchschnittlich 2,5 % höhere Rohfasergehalte (XF) und um 1 % höhere Gehalte an N-freien Extraktstoffen (XX). Auch zwischen den Sorten bestanden zum Teil Unterschiede im Nährstoffgehalt.

Vor allem aber wurde der Nährstoffgehalt der Silomaisganzpflanzensilagen vom Zeitpunkt der Ernte bestimmt. So nahm beispielsweise der Rohfasergehalt (XF) in der TS mit zunehmender Wachstumsentwicklung der Maispflanzen deutlich ab, wohingegen der Gehalt an N-freien Extraktstoffen (XX) i.d.R. zunahm. Der Rohfettgehalt nahm mit zunehmender Reifeentwicklung der Pflanzen leicht zu. In Bezug auf den Rohproteingehalt verhielten sich die Sorten mit zunehmender Reifeentwicklung von konstant bis leicht zunehmend. Ein Vergleich mit den in den DLG-Futterwerttabellen für Wiederkäuer ausgewiesenen relevanten Inhaltsstoffen zeigt, dass mit dem verwendeten Silomaisproben das Spektrum der in der Praxis vorkommenden Inhaltsstoffgehalte von Silomaisganzpflanzensilage abgedeckt wurde.

**Tabelle 7: Inhaltsstoffe, Bruttoenergiegehalt und spezifische Methanausbeute von Silomais verschiedener Sorten und Reifestadien; Sortenanbauversuch Ludersdorf/Steiermark**

Varianten	XP % TM	XL % TM	XF % TM	XA % TM	XX % TM	ADL % TM	GE MJ * kgTS	ZEL % TM	H- ZEL % TM	C % TM	C/N	TS % FM	oTS % FM	CH <sub>4</sub> - Ertrag NI CH <sub>4</sub> * kg oTS <sup>-1</sup>
Benicia 1. E	7,49	1,53	22,73	3,15	65,10	9,62	18,56	19,78	40,30	44,07	33,86	22,28	21,58	283,69
Benicia 2. E	8,24	1,53	17,40	3,03	69,80	10,16	17,74	13,69	45,29	44,75	31,18	37,63	36,49	247,45
Benicia 3. E	7,09	1,76	16,42	3,13	71,60	14,50	18,51	12,44	43,91	43,87	41,38	49,99	48,43	241,20
Ribera 1. E	8,60	1,13	30,25	4,43	55,59	9,39	18,73	28,43	31,38	46,02	33,33	22,45	21,46	261,05
Ribera 2. E	7,53	1,98	19,49	3,09	67,91	10,67	18,52	9,47	46,56	44,58	38,73	34,75	33,68	237,33
Ribera 3. E	7,46	1,67	19,50	3,32	68,06	5,42	18,33	19,23	42,87	44,00	37,50	47,73	46,15	205,04
Phönix 1. E	9,06	1,36	21,95	4,34	63,28	12,84	18,86	25,34	28,62	45,06	32,43	23,75	22,72	286,49

Phönix 2. E	8,06	2,54	22,82	3,67	62,91	11,71	18,78	11,77	39,18	44,77	35,29	36,25	34,92	223,64
Phönix 3. E	8,27	2,35	19,48	3,27	66,62	10,86	18,99	12,06	46,78	43,30	33,83	46,88	45,35	207,61
Atalante 1. E	7,74	1,22	26,47	3,88	60,70	9,56	18,39	27,00	32,57	44,70	32,95	22,85	21,97	209,61
Atalante 2. E	6,54	2,57	16,18	3,10	71,61	7,75	17,85	15,04	46,53	44,66	43,81	40,23	38,98	205,83
Atalante 3. E	7,29	2,08	20,37	3,49	66,77	12,74	18,91	22,69	33,57	45,28	40,14	40,78	39,35	194,92
Saxxo 1. E	8,89	0,92	28,89	4,67	56,63	12,45	18,64	28,55	27,47	46,13	32,88	19,24	18,34	255,59
Saxxo 2. E	7,78	1,54	21,33	3,78	65,56	9,56	17,97	20,35	38,55	45,76	39,15	35,08	33,75	231,80
Saxxo 3. E	6,78	1,95	19,17	2,95	69,15	9,03	18,38	13,60	49,51	42,78	41,15	50,99	49,49	215,86

1. E = Ernte nach 100 Wachstumstagen im Vegetationsstadium „in der Teigreife der Körner“;
2. E = Ernte nach 143 Wachstumstage im Vegetationsstadium „Ende der Teigreife der Körner“;
3. E = Ernte nach 190 Wachstumstagen im Vegetationsstadium „Vollreife“ der Pflanzen

#### 4.2.2 Methanenergiewert (MEW) von Silomais

Die Schätzgleichung zur Berechnung des Methanenergiewertes von Silomaisganzpflanzensilage wurde analog zum Vorgehen bei der Kleggras- /Feldfuttersilage bestimmt. In die multiple Regressionsanalyse flossen die Messergebnisse aller 30 Stoff- und Energiewechselmessungen von Silomaisganzpflanzensilage aller untersuchter Sorten, Erntezeitpunkte und Standorte ein (Tab. 6 und 7). Tabelle 8 zeigt die Regressionskoeffizienten der Gesamtgleichung zur Berechnung des Methanenergiewertes (MEW) von Silomaisganzpflanzensilage anhand der Rohnährstoffgehalte Rohprotein (XP), Rohfett (XL), Rohfaser (XF) und N-freie Extraktstoffe (XX). Für die Beurteilung der Qualität der Schätzgleichung sind das Bestimmtheitsmaß, der F-Wert und die Durban-Watson-Statistik der Gesamtgleichung und das Signifikanzniveau der Regressionskoeffizienten der Gleichung angegeben. Die praktische Kalkulation des Methanbildungsvermögens von Silomaisganzpflanzensilage und die energetische Bewertung von Silomaisganzpflanzensilage für die Methanbildung in Biogasanlagen kann mit dieser Berechnungsgleichung durchgeführt werden.

**Tabelle 8: Parameter der Regressionsgleichung zur Berechnung des Methanenergiewertes (MEW) von Silomaisganzpflanzensilage anhand der Rohnährstoffe: Rohprotein (XP), Rohfett (XL), N-freie Extraktstoffe (NFE) und Rohfaser (XF)**

Inhaltsstoff	Regressionskoeffizient	Einheit	Signifikanzniveau
Rohprotein (XP)	28,66	% TS	0,001
Rohfett (XL)	13,63	% TS	0,237
N-freie Extraktstoffe (XX)	-0,10	% TS	0,661
Rohfaser (XF)	0,10	% TS	0,895

---

Qualitätsparameter der Gesamtgleichung:

$R^2 = 0,984$ ; F-Wert = 405,179; Durbin-Watson-Wert = 1,483;  
Signifikanzniveau = 0,000; n = 30

---

Wie Tabelle 8 zeigt, kann der Methanenergiewert (in  $\text{NI CH}_4 \cdot \text{kg oTS}^{-1}$ ) von Silomaisilage anhand der geschätzten Parameter für die Methanbildung aus den Rohnährstoffe in Form einer multiplen linearen Regressionsgleichung berechnet werden. Das Gesamtmodell ist genau ( $r^2 = 0,984$ ) und hoch signifikant ( $p = 0,000$ ). Die Gleichung gibt weiterhin den Beitrag der einzelnen Rohnährstoffkomponenten der Silomaisganzpflanzensilage zum Methanenergiewert an. Zum Beispiel zeigt Rohprotein (XP) mit dem Regressionskoeffizienten 28,66 den höchsten Beitrag zum Methanenergiewert. Der Regressionskoeffizient von Rohfett (13,63) zeigt einen mittleren Beitrag zur Methanbildung. Rohfaser hat nahezu keine methanogene Wirkung. Die N-freien Extraktstoffe (XX) zeigen ebenfalls eine sehr geringe, leicht negative Wirkung für die Methanbildung.

Die Berechnung des Methanenergiewertes von Silomaisganzpflanzensilage wird an zwei nachfolgenden Beispielen für Silage von Pflanzen des Vegetationsstadiums „in der Milchreife der Körner“ (erste Ernte) und des Vegetationsstadiums „Vollreife“ der Pflanzen (dritte Ernte) durchgeführt (Tab. 9 und 10).

**Tabelle 9: Beispiel für die Berechnung des Methanenergiewertes von Silomaisganzpflanzensilage; Vegetationsstadium der Pflanzen: „in der Milchreife der Körner“**

<i>Inhaltsstoff</i>	<i>Rohnährstoffgehalt</i> [% TS]	<i>Faktor für MEW</i>	<i>MEW</i> [ $\text{NI CH}_4/\text{kg oTS}$ ]
Rohprotein (XP)	9,12	28,66	261,4
Rohfett (XL)	3,42	13,62	46,6
N-freie Extraktstoffe (XX)	60,1	-0,10	-6,0
Rohfaser (XF)	23,7	0,10	2,4
			<b>304,4</b>

**Tabelle 10: Beispiel für die Berechnung des Methanenergiewertes von Silomaisganzpflanzensilage; Vegetationsstadium: „Vollreife der Pflanzen“**

Inhaltsstoff	Rohnährstoffgehalt [% TS]	Faktor für MEW	MEW [NI CH <sub>4</sub> /kg oTS]
Rohprotein (XP)	6,78	28,66	194,3
Rohfett (XL)	1,95	13,62	26,6
N-freie Extraktstoffe (XX)	69,2	-0,10	-6,9
Rohfaser (XF)	19,2	0,10	1,9
			<b>215,9</b>

Die Berechnungsbeispiele zeigen den wesentlichen Einfluss der Rohnährstoffzusammensetzung von Silomaisganzpflanzensilage auf ihren Methanenergiewert (MEW). Während Silomaissilage des Vegetationsstadiums „in der Milchreife der Körner“ einen MEW von 304,4 NI CH<sub>4</sub>/kg oTS hat, liegt der MEW von Silomaissilage im Vegetationsstadium „Vollreife der Pflanzen“ nur mehr bei 215,9 NI CH<sub>4</sub>/kg oTS und damit um 29,1 % niedriger. Der Erntezeitpunkt bestimmt den Methanenergiewert von Silomaisganzpflanzensilage an stärksten.

Wie das Methanenergiewertssystem von Silomaissilage zeigt, sind für die Biogaserzeugung Silomaissorten mit hohem Eiweiss- und Fettgehalt besonders gut geeignet. Darüber hinaus sollten sie ein hohes standortspezifisches Biomassebildungsvermögen aufweisen. Die Rohfaser ist für die Methanbildung von geringem Wert. Die N-freien Extraktstoffe mindern das Methanbildungsvermögen von Silomaissilage leicht.

#### 4.2.3 Methanhektarertrag von Silomais

Bei allen Sorten des Standortes Ludersdorf/Steiermark waren die oTS-Ertragszuwächse zwischen erster und zweiter Ernte am grössten. Die höchsten oTS-Erträge wurden meist beim zweiten Erntetermin nach 143 Wuchstagen im Vegetationsstadium „Teigreife der Körner“ erreicht. Die Sorten Benicia und Saxxo hatten beim zweiten Erntetermin mit 34,47 t oTS pro ha bzw. 34,20 t oTS pro ha von allen Sorten die höchsten oTS-Erträge. Demgegenüber erreichten die Sorten Ribera, Phönix und Atalante beim zweiten Erntetermin oTS-Erträge von 26,60, 24,98 und 25,69 t pro ha. Bei diesen Sorten führte die Ernte vollreifer Pflanzen zu keinen nennenswerten Ertragszuwächsen mehr. Bei den Sorten Benicia und Saxxo nahmen die oTS-Erträge vollreifer Pflanzen aufgrund von Bruchverlusten sogar wieder ab.

Abbildung 5 zeigt weiterhin die erzielten spezifischen Methanausbeuten der Silomaissorten des jeweiligen Erntestadiums. Die Gärrohstoffe aller Sorten zeigten, mit Ausnahme der Sorte

Ribera des Standortes Groß-Enzersdorf, zum ersten Erntezeitpunkt die höchste spezifische Methanausbeute (Tab. 6 und 7). Mit zunehmender Reifeentwicklung der Maispflanzenbestände nahm die spezifische Methanausbeute ab.

Im Verlauf der Vegetation entwickeln sich also die Ertragsfaktoren für Methan:

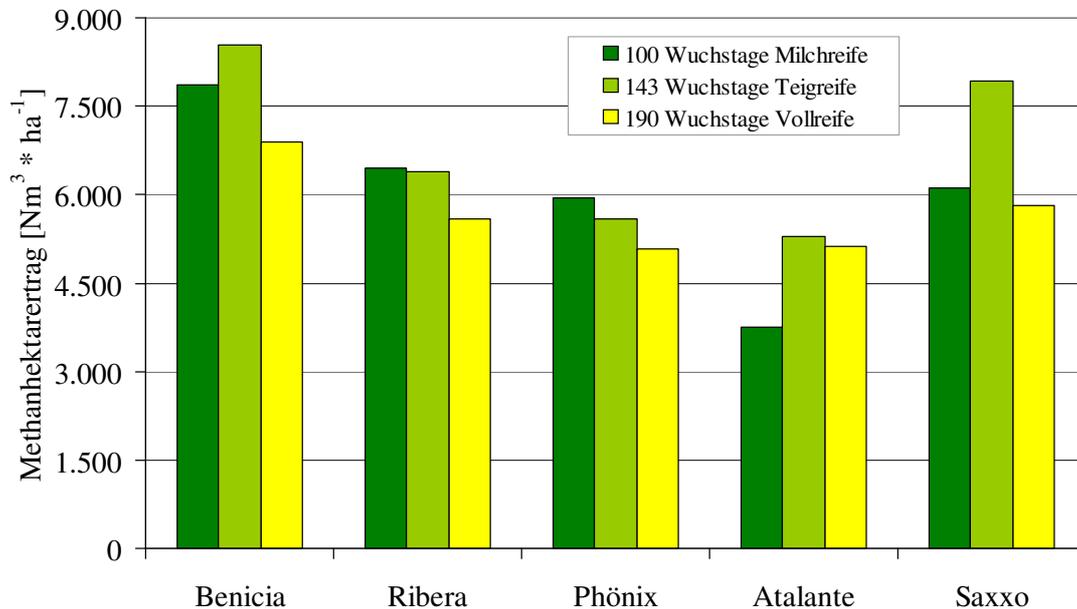
1. oTS – Ertrag pro Hektar und
2. spezifische Methanausbeute aus der Biomasse  
    gegenläufig.

Neben der Sorte und dem Standort kommt damit dem Zeitpunkt der Ernte des Silomaises die wesentlichste Bedeutung für den erzielbaren Methanhektarertrag zu. Der richtige Zeitpunkt für die Ernte des Silomaises ist dann gegeben, wenn der Methanhektarertrag am höchsten ist. Wie Abbildung 5 zeigt, ist neben dem Ertragspotential auch der optimale Erntetermin für Silomais des Standortes Ludersdorf/Steiermark sortenspezifisch unterschiedlich. Während die Sorten Benicia (FAO 300) mit  $8.529 \text{ Nm}^3 \text{ CH}_4/\text{ha}$ , Saxxo (FAO 380) mit  $7.927 \text{ Nm}^3 \text{ CH}_4/\text{ha}$  und Atalante mit  $5.288 \text{ Nm}^3 \text{ CH}_4/\text{ha}$  zur zweiten Ernte nach 143 Wachstumstagen im Vegetationsstadium „Teigreife der Körner“ den höchsten Methanhektarertrag erreichten, zeigten die Sorten Ribera (FAO 390) mit  $6.451 \text{ Nm}^3 \text{ CH}_4/\text{ha}$  und Phönix (FAO 290) mit  $5.946 \text{ Nm}^3 \text{ CH}_4/\text{ha}$  den höchsten Methanertrag schon zum Zeitpunkt der ersten Ernte nach 100 Wachstumstagen im Vegetationsstadium „Milchreife der Körner“.

Ertragsminderungen von  $668 (7,8 \%)$  bis  $1.811 \text{ Nm}^3 \text{ CH}_4/\text{ha} (22,8 \%)$  können im Falle der Sorten Benicia und Saxxo durch eine zu frühe Ernte entstehen. In diesem Falle ist das Biomassebildungspotential der Sorten nicht ausgeschöpft. Ertragseinbussen können aber auch durch Minderung der spezifischen Methanausbeute und Bruchverluste der Pflanzen entstehen, wenn die Ernte zu spät erfolgt. Eine zu späte Ernte führt vor allem bei Sorten mit hohem Methanertragspotential zu deutlichen Mindererträgen von bis zu  $1.639 \text{ Nm}^3 \text{ CH}_4/\text{ha} (19,2 \%)$  (Benicia) bzw.  $2.055 \text{ Nm}^3 \text{ CH}_4/\text{ha} (25,9 \%)$  (Saxxo).

Der optimale Erntetermin zur Bereitung von Silomaisganzpflanzensilage liegt unter den Wachstumsverhältnissen des Standortes Ludersdorf/Steiermark für die Sorten Benicia, Saxxo und Atalante im Vegetationsstadium „Teigreife der Körner“. Für die Sorten Ribera und Phönix liegt der optimale Erntetermin schon im Vegetationsstadium der „Milchreife der Körner“.

**Abbildung 5: Methanhektarertrag verschiedener Maissorten in Abhängigkeit vom Erntezeitpunkt (Standort Ludersdorf /Steiermark).**



Allgemein eignen sich Silomaissorten mit hohem Eiweiss- und Fettgehalt und hohem standortspezifischen Biomassebildungsvermögen am besten zur Biogaserzeugung.

Auf guten bis sehr guten Standorten eignen sich späte Sorten besser als frühe, da auf guten Standorten spätreife Sorten ihr Biomassebildungsvermögen besser ausnutzen können als frühreife Sorten.

Nach 39 – 42 Gärtagen waren 95 % der maximal erreichbaren Methanmenge aus den Silomaissilagen gebildet worden. Daraus ergibt sich für die Praxis unter Berücksichtigung eines Sicherheitszuschlages von 10 % eine erforderliche hydraulische Verweilzeit von 41 – 44 Gärtagen, bei einer Gärtemperatur von 40 °C.

## 6. Schlussfolgerungen

Die Biogaserzeugung aus Energiepflanzen und Wirtschaftsdüngern ist eine Schlüsseltechnologie zur nachhaltigen Nutzung von agrarischer Biomasse. Deutliche positive Wirkungen für den Umwelt- und Klimaschutz werden erreicht. Mehr als 5,2 Mio t CO<sub>2</sub>-Emissionen können

pro Jahr in Österreich eingespart werden, wenn die Potentiale der landwirtschaftlichen Biogaserzeugung genutzt werden. Pro Jahr können 17.000 GWh Energie erzeugt werden. Das entspricht einer Gesamtleistung von etwa 2.000 MW. Diese Leistung könnte z.B. mit 4.000 Biogasanlagen zu je 500 kW Gesamtleistung oder mit 8.000 Biogasanlagen zu je 250 kW Gesamtleistung erreicht werden. 250 kW Gesamtleistung entsprechen etwa einer elektrischen Leistung von 85 kW.

Die Biogaserzeugung trägt wesentlich zur Sicherung von Arbeit, Einkommen und Lebensqualität bei.

Darüber hinaus wird ein hochwertiger Dünger erzeugt, der in flexiblen Düngermanagementsystemen mit hoher Effizienz eingesetzt werden kann. So wird die weitgehende Schließung von Nährstoffkreisläufen ermöglicht.

Das neue Ökostromgesetz schafft in der österreichischen Energiepolitik erstmals den rechtlichen Rahmen für eine zukunftsweisende Biogaserzeugung aus Energiepflanzen und Wirtschaftsdüngern. Es hat eine dynamische Entwicklung von Biogasanlagen in Gang gesetzt. Mehr als 180 Biogasanlagen sollen in einem relativ kurzen Zeitraum von eineinhalb Jahren genehmigt werden und bis 30.06.2006 in Betrieb gehen.

Biogasanlagen müssen besten technischen und sicherheitstechnischen Anforderungen genügen und sie sollen kostengünstig errichtet und wirtschaftlich betrieben werden können. Für Projektwerber, Planer und zuständige Behörden sind verbindliche, klare, transparente und möglichst einheitliche Genehmigungserfordernisse hilfreich, um anstehende Bewilligungsverfahren zeitgerecht durchführen zu können.

Auf der Basis der vorliegenden Untersuchungsergebnisse können folgende wichtige Empfehlungen für die Biogaserzeugung aus Klee gras-, Feldfutter-, Dauerwiesenmischungen und Silomais abgeleitet werden.

Die praktische Kalkulation des spezifischen Methanbildungsvermögens der Gärrohstoffe kann mit dem neuen Methanenergiewertsystem anhand der Inhaltsstoffe der Silagen erfolgen. Mit Hilfe des Methanenergiewertsystems kann der Nährstoffbedarf für die Vergärung von Klee gras-, Feldfutter-, Dauerwiesenmischungen und Silomais abgeleitet werden. Die Berechnung der Leistung von Biogasanlagen in Abhängigkeit von der Menge und der Qualität der Gärrohstoffe ist möglich. Standortspezifisch geeignete Sorten können vorgeschlagen und der optimale Erntezeitpunkt für einen hohen Methanhektarertrag ermittelt werden. Für Silomais wird eine hydraulische Verweilzeit von 45 Gärtagen empfohlen. Für Klee gras-, Feldfutter- und Dauerwiesengrassilage liegt der empfohlene Wert bei 47 Gärtagen. Im Vergleich

zu grüner, nicht konservierter Biomasse erhöht die Silagebereitung das spezifische Methanbildungsvermögen der Gährrohstoffe um bis zu 15 %.

### Literatur:

- AMON, TH.; HACKL, E.; JEREMIC, D.; AMON, B. (2002a) Kofermentation von Wirtschaftsdüngern mit Energiegräsern in landwirtschaftlichen Biogasanlagen. Optimierung der Gärgutmischungen und des Biogasertrages; Endbericht an die Kammer der Wiener Wirtschaft
- AMON, TH.; KRYVORUCHKO, V.; AMON, B.; MOITZI, G.; LYSON D.; HACKL, E.; JEREMIC, D.; ZOLLITSCH, W.; PÖTSCH, E.; MAYER, K.; PLANK, J. (2002b): Methanbildungsvermögen von Mais – Einfluss der Sorte, der Konservierung und des Erntezeitpunktes. Endbericht Oktober 2002. Im Auftrag von Pioneer Saaten Ges.m.b.H. Parndorf (Austria)
- AMON, TH.; AMON, B.; KRYVORUCHKO, V.; HOPFNER-SIXT, K.; BUGA, S.; PÖTSCH, E.; ZOLLITSCH, W.; PLANK, J.; MAYER, K.; (2003a): Nutzung der Grünlandbiomasse, sowie anderer Feldkulturen für die Biogasproduktion. In: Schrifreihe des Ökosozialen Forums Österreich. Im Druck
- AMON, TH.; HOPFNER-SIXT, K.; KRYVORUCHKO, V.; AMON, B.; PLANK, J. (2003b ): Genehmigungserfordernisse für Biogasanlagen. In: BAL-Bericht über die Gumpensteiner Bautagung „Stallbau-Stallklima-Tierhaltung in biologischen Betrieben-Genehmigungsverfahren vom 17.-18. Juni 2003; S. 41 – 48
- AMON, TH.; KRYVORUCHKO, V.; AMON, B.; MOITZI, G.; LYSON D.; HACKL, E.; JEREMIC, D.; ZOLLITSCH, W.; PÖTSCH, E. (2003c): Optimierung der Biogaserzeugung aus den Energiepflanzen Mais und Kleegras. Endbericht Juli 2003. Im Auftrag des Bundesministeriums für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt- und Wasserwirtschaft. Forschungsprojekt Nr. 1249 GZ 24.002/59-IIA1/01
- DLG - DEUTSCHE LANDWIRTSCHAFTSGESELLSCHAFT (1997): Ergänzungen zu den DLG-Futterwerttabellen für Wiederkäuer Wiesen- und Weidefutter aus dem österreichischen Alpenraum (Datengrundlage aus Österreich); 7. erweiterte und überarbeitete Auflage, DLG-Verlag, Frankfurt/Main, 1997, S. 203-212
- DIN 38 414 (1985): Bestimmung des Faulverhaltens „Schlamm und Sedimente“

**Danksagung:** Die Untersuchungen wurden mit freundlicher Unterstützung des Bundesministeriums für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt- und Wasserwirtschaft, der Fa. Pioneer Saa-

ten Ges.m.b.H. Parndorf (Austria) und der Landeskammer für Land- und Forstwirtschaft Steiermark durchgeführt.

**Autoren:**

**Ao.Univ.Prof. Dr. Dipl.-Ing. Amon Thomas**

**Vitaliy Kryvoruchko**

**Dipl.Ing. Dr. Barbara Amon**

**Sevim Buga**

Institut für Land-, Umwelt- und Energietechnik

Universität für Bodenkultur Wien

Peter Jordan-Straße 82

1190 Wien

Tel. +43 - 1 - 47 654 - 3502

Fax +43 - 1 - 47 654 - 3527

e-mail: [thomas.amon@boku.ac.at](mailto:thomas.amon@boku.ac.at)

[www.boku.ac.at](http://www.boku.ac.at)

**Dipl.Ing. Dr. Karl Mayer**

Landeskammer für Land- und Forstwirtschaft Steiermark

Hamerlinggasse 3

8010 Graz

Tel. +43 - 316 - 8050 - 1283

Fax +43 - 316 - 8050 - 1520

e-mail: [mayer@lk-stmk.at](mailto:mayer@lk-stmk.at)

[www.lk-stmk.at](http://www.lk-stmk.at)

**Ao.Univ.Prof. Dr. Werner Zollitsch**

Institut für Nutztierwissenschaften

Universität für Bodenkultur Wien

Gregor Mendelstraße 33

1180 Wien

Tel. +43 - 1 - 47 654 - 3282

e-mail: [werner.zollitsch@boku.ac.at](mailto:werner.zollitsch@boku.ac.at)

[www.boku.ac.at](http://www.boku.ac.at)

**Univ. Doz. Dr. Erich M. Pötsch**

Bundesanstalt für alpenländische Landwirtschaft

Abteilung Grünland

Tel. +43 - 3682 - 22451 233

Fax +43 - 3682 - 24614 88

e-mail: [erich.poetsch@bal.bmlfuw.gv.at](mailto:erich.poetsch@bal.bmlfuw.gv.at)

Institut für Pflanzenbau und Kulturlandschaft

Universität für Bodenkultur Wien

Gregor Mendelstraße 33

1180 Wien

Tel. +43 - 1 - 476 54 3300

e-mail: [erich.poetsch@boku.ac.at](mailto:erich.poetsch@boku.ac.at)

[www.boku.ac.at](http://www.boku.ac.at)