

# Biogaserträge aus landwirtschaftlichen Gärgütern

Th. Amon<sup>1)</sup>, V. Kryvoruchko<sup>1)</sup>, B. Amon<sup>1)</sup>, S. Buga<sup>1)</sup>, A. Amid<sup>1)</sup>, W. Zollitsch,<sup>2)</sup> K. Mayer<sup>3)</sup>  
E. Pötsch,<sup>4)</sup>

<sup>1)</sup> Institut für Landtechnik im Department Nachhaltige Agrarsysteme, Universität für Bodenkultur Wien (BOKU)

<sup>2)</sup> Institut für Nutztierwissenschaften im Department Nachhaltige Agrarsysteme, Universität für Bodenkultur Wien (BOKU)

<sup>3)</sup> Landeskammer für Land- und Forstwirtschaft Steiermark Graz

<sup>4)</sup> Bundesanstalt für alpenländische Landwirtschaft Gumpenstein (BAL)

## 1. Einleitung

Die Biogaserzeugung aus Biomasse landwirtschaftlicher Herkunft gewinnt zunehmend an Bedeutung. Als Substrate dienen vielfältige Energiepflanzen und -sorten von Mais, Wiesen gras, Klee gras, Sudangras, Futterrüben u.v.a.m. und die verschiedenen Formen von Wirtschaftsdüngern landwirtschaftlicher Nutztiere.

Für den wirtschaftlichen Erfolg der Biogaserzeugung ist neben den Kosten für Investitionen und Betrieb der Anlagen vor allem das Biogas- und Methanbildungsvermögen der eingesetzten Gärgüter von wesentlicher Bedeutung. Kenntnisse über das Gasbildungsvermögen und die erforderlichen Abbauzeiten der Gärgüter im Fermenter sind für die optimale Anpassung der Verfahrenstechnik von Biogasanlagen und die richtige Dimensionierung der baulich-technischen Bereiche an die Erfordernisse der eingesetzten Gärgüter essentiell. Diese Kenntnisse bilden die Grundlage für eine gute Anlagendimensionierung, wobei besonders die Verweilzeit (Fermentergröße) und die Größe der BHKW-Anlage durch die Planer festzulegen sind. Wesentlich ist dies auch, da diese Parameter im Nachhinein nicht mehr bzw. nur mit großem Aufwand geändert werden können.

Projektwerber, Betreiber von Biogasanlagen, Berater, Planer, Anlagenhersteller und zuständige Genehmigungsbehörden benötigen verbindliche, reproduzierbare, transparente und einheitliche Empfehlungen zur a priori Kalkulation von Gasausbeuten aus gängigen Gärgütern landwirtschaftlicher Herkunft.

Laboruntersuchungen dienen der Optimierung stofflicher und gärtechnischer Parameter der Biogaserzeugung. Anschließende Praxisuntersuchungen müssen die Leistung stofflich und gärtechnisch optimierter Biogasanlagen unter den Bedingungen der Praxis ermitteln.

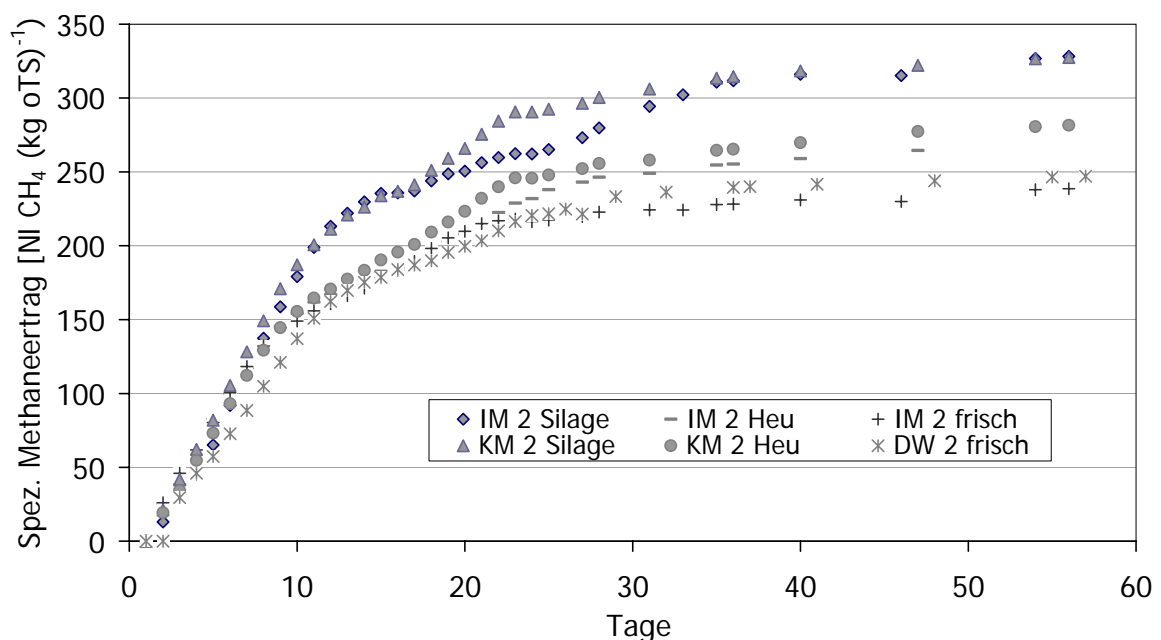
Auf diese Weise kann die gebotene Verbesserung der Wettbewerbsfähigkeit und Wirtschaftlichkeit der Biogaserzeugung effizient erreicht werden.

## 2. Einflüsse auf das Methanbildungsvermögen von Energiepflanzen

Anhand ausgewählter Energiepflanzen werden, soweit es zum derzeitigen Stand der Forschung möglich ist, Einflüsse der Sortenwahl, des Erntezeitpunktes, der Konservierungsform und des Ernteverfahrens auf das spezifische Methanbildungsvermögen von Energiepflanzen dargestellt.

## 2.1 Einfluss der Konservierungsform und Sortenmischungen am Beispiel der Energiepflanzen Klee gras-, Feldfutter- und Dauerwiesenmischungen

Abbildung 1 zeigt vergleichend das Methanbildungsvermögen von Gärrohstoffen am Beispiel einer Klee grasintensivmischung (KM), einer Feldfutterintensivmischung (IM) und einer Dauerwiesenmischung (DW) 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 desselben Vegetationsstadiums vergoren. Wie in Abbildung 1 zu sehen ist, war das spezifische Methanbildungsvermögen der Klee grasmischung (KM), der Feldfutterintensivmischung (IM) und der Dauerwiesenmischung (DW) ähnlich hoch. Die Gehalte der Inhaltsstoffe Rohprotein (XP), Rohfett (XL) und Rohfaser (XF) waren ebenfalls ähnlich (Tab. 1). Jedoch hatte die Form der Konservierung einen signifikanten Einfluss auf das spezifische Methanbildungsvermögen der Gärrohstoffe. 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 %. Die Regressionsfunktionen wurden mit Hilfe des Konfidenzintervalles der Regressionskoeffizienten ( $p < 0,05$ ) auf Unterschiedlichkeit getestet.



**Abbildung 1.** Kumulative spezifische Methanbildung aus silierten, frischen und getrockneten Gärrohstoffen von Klee gras- (KM), Feldfutter- (IM) und Dauerwiesenmischungen (DW) in NI Methan pro kg oTS im Verlauf der Gärung. (nach AMON ET AL. 2003) Versuchsbedingungen: Gärversuchssystem (Batch), Fermentergröße 1 l, Gärtage 58, Gärtemperatur  $38 \text{ }^{\circ}\text{C}$

## 2.2 Einfluss des Erntezeitpunktes am Beispiel von Klee gras-, Feldfutter und Dauerwiesenmischungen und Silomais

### **2.2.1 Wiesen gras und Feldfutter**

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. 1). Der Erntezeitpunkt beeinflusste vor allem den Rohprotein (XP)- und den Rohfettgehalt (XF) sowie den Gehalt an N-freien Extraktstoffen (NfE) in den Gärrohstoffen.

**Tabelle 1.** Inhaltsstoffe, Bruttoenergiegehalt und spezifische Methanausbeute der Klee gras- (KM), Feldfutter- (IM) und Dauerwiesenmischung (DW) verschiedener Reifestadien und Konservierungsformen nach AMON ET AL. (2003)

Varianten	XP % TM	XL % TM	XF % TM	XA % TM	NfE % TM	ADL % TM	GE MJ * kgTS <sup>-1</sup>	CEL % TM	H-CEL % TM	C % TM	C/N	TS % FM	oTS % FM	CH <sub>4</sub> -Ertrag NI CH <sub>4</sub> * kg oTS <sup>-1</sup>
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	370
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	326
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	297
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
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	326
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	290
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	237
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	246
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
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	280

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

Versuchsbedingungen: Gärversuchssystem (Batch), Fermentergröße 1 l, Gärtage 58, Gärtemperatur 38 °C

Die Silage wurde vor der Silierung nicht angewelkt. Mit zunehmender Reifeentwicklung der Klee gras- (KM) und Feldfutterbestände (IM) nahmen der Rohprotein- (XP) und der Rohfettgehalt (XL) in den Silagen ab. Der Gehalt an N-freien Extraktstoffen (NfE) 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. Abweichungen vom optimalen Erntetermin durch zu späte Ernte verursachten Minderungen im Methanhektarertrag um bis zu 25 %.

Nach 41 – 44 Gärtagen waren 95 % der möglichen Methanmenge aus den Klee grassilagen 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.

### 2.2.2 Silomais

Untersuchungen von ÖCHSNER ET AL. (2003) zum Methanbildungsvermögen verschiedener früh bis sehr spätreifer Maissorten zeigen, dass der substratspezifische Methanertrag deutlich vom Nährstoffgehalt des Silomais abhängt. Die Untersuchungen wurden in diskontinuierlichen Fermentern nach dem „Hohenheimer Biogasertagstest“ über eine Dauer von 36 Tagen bei mesophiler Temperatur (37 °C) durchgeführt.

Bei Maissorten, die weitgehend reif mit einem Trockensubstanzgehalt von 30 und 42 % geerntet wurden, lag der durchschnittliche Normmethanertrag bei 375 NI CH<sub>4</sub> pro kg oTS. Sorten, die vor der Teigreife geerntet wurden und einen Trockensubstanzgehalt von 22,2 und 19,8 % hatten, brachten im Versuch einen um 6,5 bis 17,3 % niedrigeren substratspezifischen Methanertrag in Höhe von 350 und 310 NI CH<sub>4</sub> pro kg oTS.

In Untersuchungen von AMON ET EL. (2003) wurde das spezifische Methanbildungsvermögen von neun Maissorten verschiedener Standorte untersucht. Zum Einsatz kamen früh bis spätreife Silomaissorten 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). Ernte und Ertragsermittlung der Gärrohstoffe erfolgten im Verlauf der Vegetation jeweils zu drei verschiedenen Zeitpunkten (Abb. 2).

1 Ernte – 100 Wuchstage	2 Ernte – 143 Wuchstage	3 Ernte – 190 Wuchstage
Milchreife	Teigreife	Vollreife



**Abbildung 2.** Maisbestand des Standortes Ludersdorf (Steiermark) zu drei Erntezeitpunkten und Zerkleinerungsgrad des Silomaises (nach AMON ET AL. 2003)

Abbildung 2 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.

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. In Tabelle 2 sind beispielhaft die Inhaltsstoffe von Silomaissilagen vom Standort Groß-Enzersdorf dargestellt.

Neben den Inhaltsstoffen Rohprotein (XP), Rohfett (XL), Rohfaser (XF), Rohasche (XA), N-freie Extraktstoffe (NfE), Lignin (ADL), Zellulose (Cel), Hemizellulose (H-Cel) und

Kohlenstoff (C), 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 Silomaisilage gezeigt. Bei Mais bewirkte die Silagebereitung im Vergleich zur Nutzung frischer, nicht konservierter Biomasse einen Mehrertrag an Methan von 15 %. Es ist wahrscheinlich, dass die bei der Silagebereitung gebildeten Fettsäuren das Biomassebildungsvermögen von Silagen steigern.

**Tabelle 2.** Inhaltsstoffe, Bruttoenergiegehalt und spezifische Methanausbeute von Silomais verschiedener Sorten und Reifestadien; Sortenanbauversuch Groß-Enzersdorf (nach AMON ET AL. 2002)

Varianten	XP % TM	XL % TM	XF % TM	XA % TM	NfE % TM	ADL % TM	GE MJ * kgTS <sup>-1</sup>	CEL % TM	H-CEL % TM	C % TM	C/N	TS % FM	oTS % FM	CH <sub>4</sub> -Ertrag NI CH <sub>4</sub> * kg oTS <sup>-1</sup>
PR39G12 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	293
PR39G12 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
PR39G12 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	258
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	289
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
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*	280
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
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
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
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
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
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
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	275
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
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	247

1. E = Ernte nach 118 Wachstumstagen ; 2. E = Ernte nach 131 Wachstumstage; 3. E = Ernte nach 147 Wachstumstagen

\* Bruchverluste, eventl. höherer Wassergehalt durch Taubildung

Versuchsbedingungen: Gärversuchssystem (Batch), Fermentergröße 1 l, Gärtage 58, Gärtemperatur 38 °C

In Bezug auf die für die spezifische Methanausbeute relevanten Inhaltsstoffe, zeigten die Sorten verschiedener Standorte zum Teil deutliche Unterschiede.

Vor allem aber wurde der Nährstoffgehalt der Silomaisganzpflanzensilagen vom Zeitpunkt der Ernte bestimmt. So nahm beispielsweise der Rohfasergehalt in der TS mit zunehmender Wachstumsentwicklung der Maispflanzen ab, wohingegen der Gehalt an N-freien Extraktstoffen i.d.R. zunahm. Der Rohfettgehalt nahm mit zunehmender Reifeentwicklung der Pflanzen leicht zu. Der Rohproteingehalt war bei den meisten Sorten konstant.

## 2.3 Einfluss des Erntezeitpunktes am Beispiel von Silomais

Nach ÖCHSNER ET AL. (2003) erzielten ertragreiche Maissorten mit später Abreife und langer Ausnutzung der Vegetationszeit mit etwa 9.400 m<sup>3</sup> Methan pro Hektar die besten Ertragsergebnisse. Die je Hektar erzielten Trockenmasseerträge lagen bei den Silomaisarten zwischen 14,0 und 25,8 t Trockenmasse.

Nach Untersuchungen von AMON ET AL. (2003) waren bei allen Sorten des Standortes Ludersdorf/Steiermark die oTS-Ertragszuwächse zwischen erster und zweiter Ernte am größten. Der Versuchsstandort gehört zu den ausgesprochenen Gunstlagen für den Maisanbau. 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 34,5 t oTS pro ha bzw. 34,2 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 27, 3 und 26,0 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.

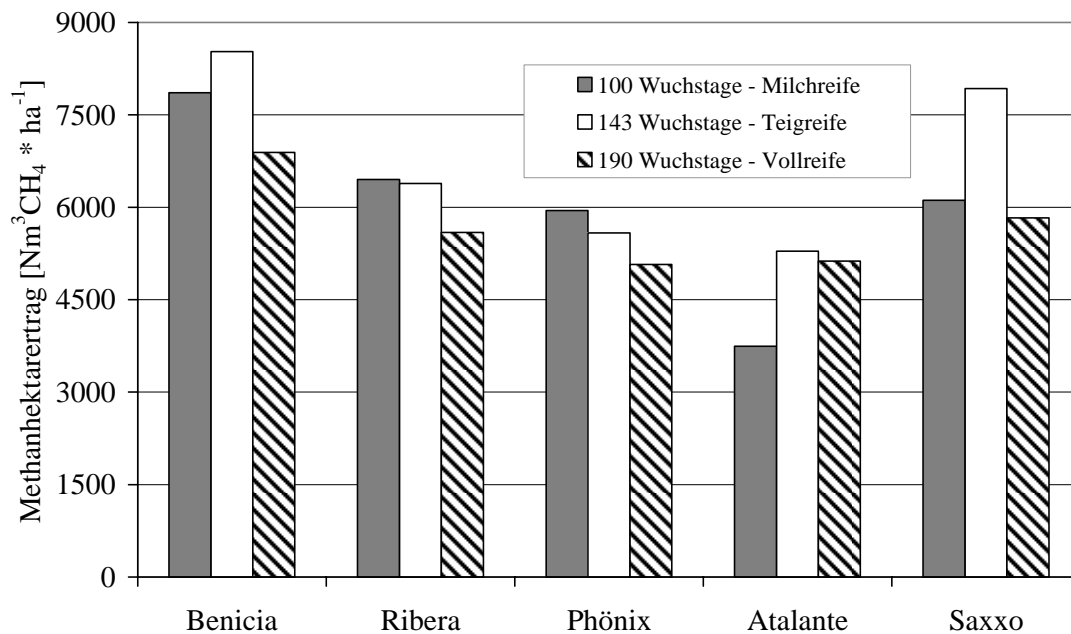
Im Verlauf der Vegetation entwickeln sich also die Ertragsfaktoren für Methan:

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 3 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 Nm<sup>3</sup> CH<sub>4</sub>/ha, Saxxo (FAO 380) mit 7.927 Nm<sup>3</sup> CH<sub>4</sub>/ha und Atalante mit 5.288 Nm<sup>3</sup> CH<sub>4</sub>/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 Nm<sup>3</sup> CH<sub>4</sub>/ha und Phönix (FAO 290) mit 5.946 Nm<sup>3</sup> CH<sub>4</sub>/ha den höchsten Methanertrag schon zum Zeitpunkt der ersten Ernte nach 100 Wachstumstagen im Vegetationsstadium Milcreife der Körner.

Ertragsminderungen von 668 (7,8 %) bis 1.811 Nm<sup>3</sup> CH<sub>4</sub>/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 Nm<sup>3</sup> CH<sub>4</sub>/ha (19,2 %) (Benicia) bzw. 2.055 Nm<sup>3</sup> CH<sub>4</sub>/ha (25,9 %) (Saxxo).





**Abbildung 3.** Methanhektarertrag verschiedener Maissorten in Abhängigkeit vom Erntezeitpunkt, Standort Lundersdorf /Steiermark (nach AMON ET AL. 2003).

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

Nach 39 – 42 Gärtagen waren 95 % der maximal erreichbaren Methanmenge aus den Silomaislagen 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 38°C.

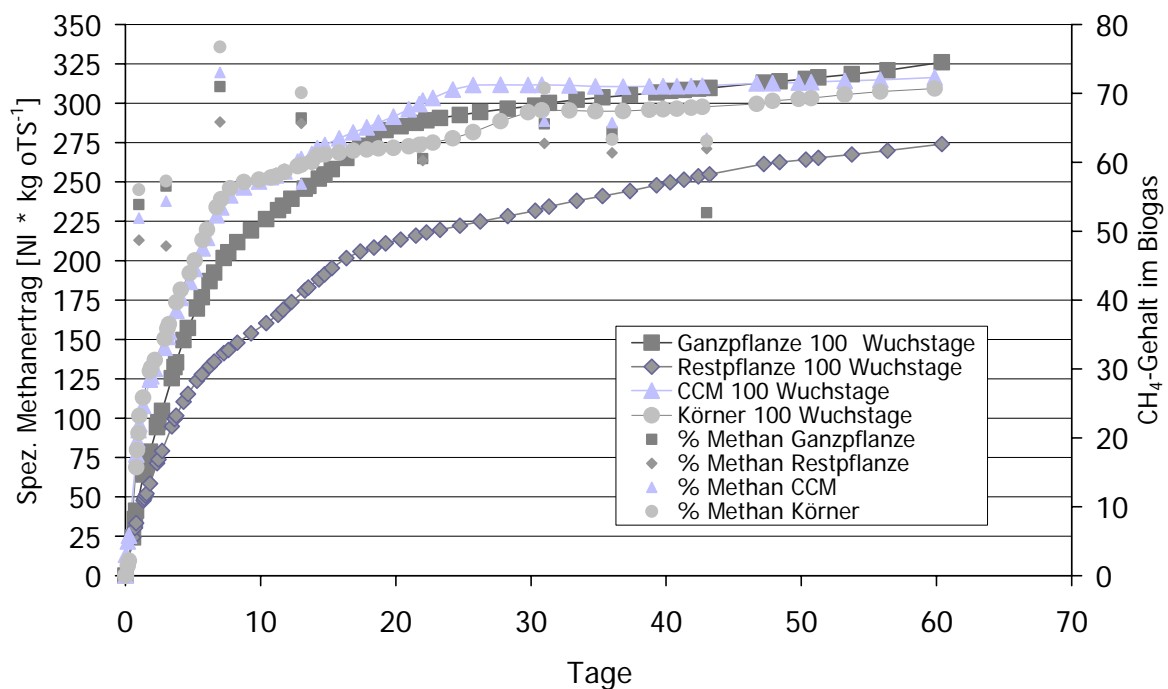
## 2. 4 Einfluss des Ernteverfahrens auf den Methanhektarertrag am Beispiel von Silomais

Für die Maisernte steht eine Reihe von Ernteverfahren zur Verfügung, die prinzipiell auch für die Gärgutgewinnung zur Biogaserzeugung eingesetzt werden können. Im Wesentlichen sind es Verfahren:

1. zur Silomaisgewinnung (Ganzpflanzensilage)
2. zur Körnergewinnung (Trockenkörner oder Maiskornsilage)
3. zur Kolbengewinnung (CCM- Silage)

Welches der Verfahren sich zur Gärrohstoffgewinnung von Mais für die Biogaserzeugung bevorzugt eignet, wird primär vom Methanertrag pro Hektar bestimmt, den das jeweilige Verfahren erreicht. Durch das eingesetzte Verfahren wird festgelegt, welcher TS-Ertrag pro Hektar erzielt wird. Das Erntegut (Ganzpflanzensilage, Körner oder CCM) bestimmt die spezifische Methanausbeute.

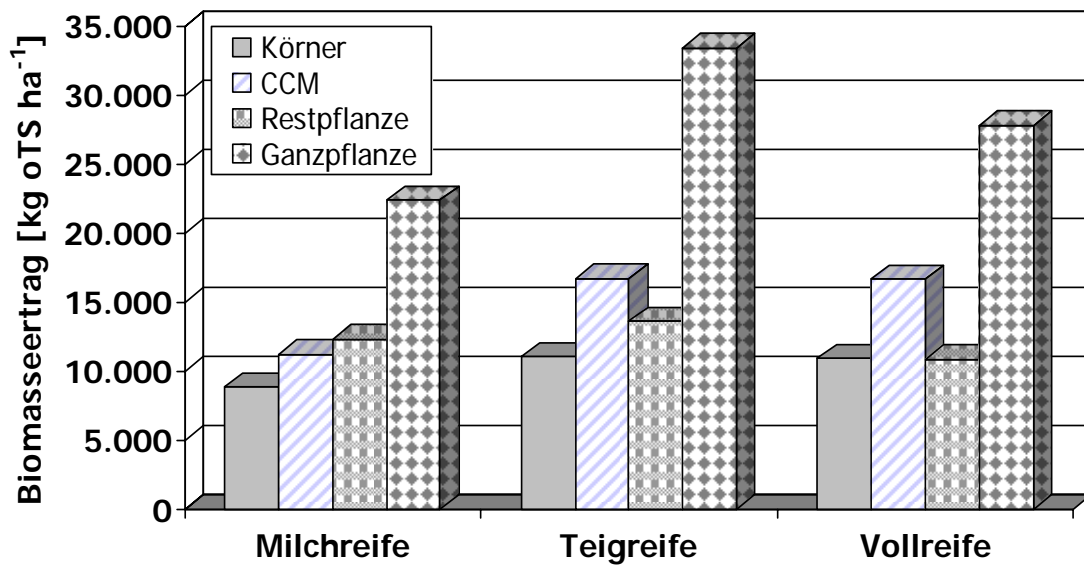
Abbildung 4 zeigt den Verlauf des spezifischen Methanertrages von Maisganzpflanzensilage und von Silagen der Körner, von CCM und von der Restpflanze. Die Silagen wurden von Mais der Sorte Benicia (FAO 300) gewonnen. Die Ernte erfolgte in der Milchreife bei einem TS-Gehalt der Ganzpflanzen von 22,3 %. Weitere Erntetermine folgten in der Teigreife (TS-Gehalt 36,5 %) und in der Vollreife (TS-Gehalt 48,4 %).



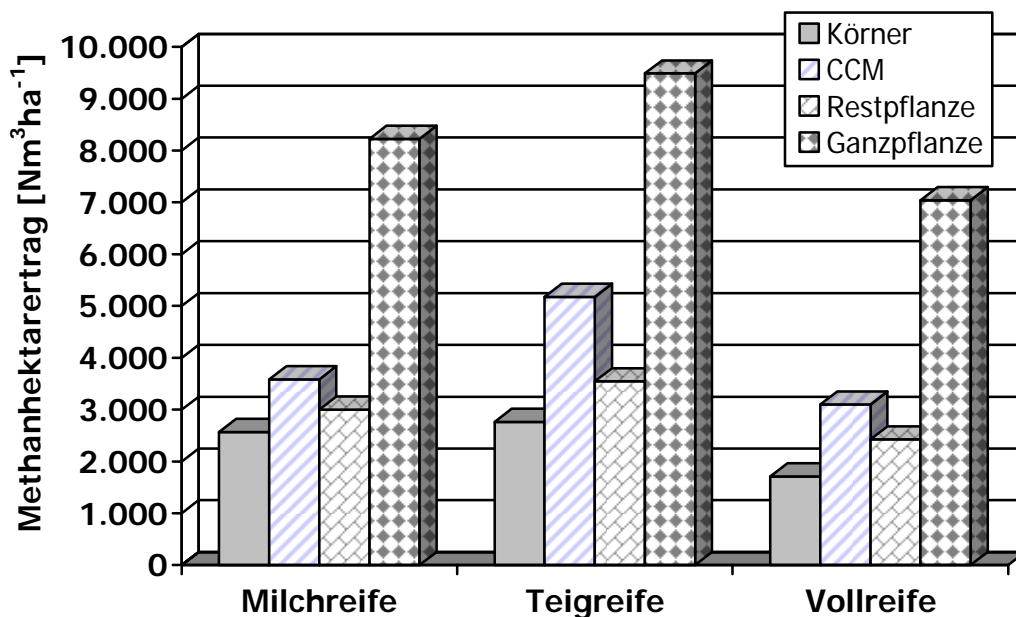
**Abbildung 4.** Kumulative Methanbildung aus Silagen der Ganzpflanze, der Restpflanze (Pflanze ohne Kolben), des Kolbens und der Körner von Mais der Sorte Benicia (FAO 300) (nach AMID 2004).

Nach 60 Gärtagen wurden aus der Ganzpflanzensilage 326 NI CH<sub>4</sub>/kg oTS gebildet. CCM-Silage erreichte ein spezifisches Methanbildungsvermögen von 316 NI CH<sub>4</sub>/kg oTS. Aus den Körnern wurden 309 NI CH<sub>4</sub>/kg oTS gebildet. Silage der Restpflanze bildete 274 NI CH<sub>4</sub>/kg oTS. Der Bruttoenergiegehalt der Ganzpflanzensilage lag bei 19,2 MJ/kg oTS. Der von Restpflanzensilage lag bei 18,2 MJ/kg oTS. CCM Silage wies einen Bruttoenergiegehalt von 17,3 MJ/kg oTS, Körnersilage von 16,7 MJ/kg oTS auf. Analysen des Rohprotein-, Rohfett-, Stärke-, Cellulose-, Hemizellulose- und Ligningehaltes der Silagen zeigen, dass Ganzpflanzensilage insgesamt ein höheres methanogenes Potential aufweist als CCM- und Körnersilage. Im Verlauf der Vegetation nahm das methanogene Potential der Silagen ab.

Der Biomassertrag der Ganzpflanzen und der Maispflanzenteile wurde zu jedem Erntetermin ermittelt und der Methanhektarertrag errechnet (Abb. 5, 6).



**Abbildung 5.** Biomassehektarertrag von Silagen der Ganzpflanze, der Restpflanze (Pflanze ohne Kolben), des Kolbens und der Körner von Mais der Sorte Benicia (FAO 300) bei verschiedenen Erntezeitpunkten (nach AMID 2004)



**Abbildung 6.** Methanhektarertrag von Silagen der Ganzpflanze, der Restpflanze (Pflanze ohne Kolben), des Kolbens und der Körner von Mais der Sorte Benicia (FAO 300) bei verschiedenen Erntezeitpunkten (nach AMID 2004)

Wie Abbildung 6 zeigt, lag der Methanhektarertrag von Ganzpflanzensilage deutlich über dem der Pflanzenteile. Im Stadium der Teigreife wurden die höchsten Methanhektarerträge erreicht. Zu diesem optimalen Erntezeitpunkt wurden von der Ganzpflanzensilage  $8.954 \text{ Nm}^3 \text{ CH}_4/\text{ha}$  gebildet. Die CCM-Variante erzielte  $5.069 \text{ Nm}^3 \text{ CH}_4/\text{ha}$ , die Restpflanzen erzeugten  $3.291 \text{ Nm}^3 \text{ CH}_4/\text{ha}$  und die Körnervariante erreichte  $2.625 \text{ Nm}^3 \text{ CH}_4/\text{ha}$ . Im Vergleich zur Ganzpflanzensilage bedeutet dies einen Anteil von ca. 30 %. Aus energetischer Sicht sind demnach bei Mais die Ganzpflanzensilagen der Körner- und CCM-Linie deutlich überlegen.

### 3. Literatur

- AMID, A. (2004) Biogaserzeugung aus Mais – Einfluss des Ernteverfahrens und des Erntezeitpunktes auf den Methanertrag. Diplomarbeit am Institut für Landtechnik, Department für Nachhaltige Agrarsysteme, Universität für Bodenkultur Wien (in Ausarbeitung).
- AMON, TH.; KRYVORUCHKO, V.; AMON, B.; MOITZI, G.; LYSON D.; HACKL, E.; JEREMIC, D.; ZOLLITSCH, W.; PÖTSCH, E.; MAYER, K.; PLANK, J. (2002): 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.; KRYVORUCHKO, V.; AMON, B.; MOITZI, G.; LYSON D.; HACKL, E.; JEREMIC, D.; ZOLLITSCH, W.; PÖTSCH, E. (2003): Optimierung der Biogaserzeugung aus den Energiepflanzen Mais und Klee gras. Endbericht Juli 2003. Im Auftrag des Bundesministeriums für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt- und Wasserwirtschaft. Forschungsprojekt Nr. 1249 GZ 24.002/59-IIA1/01
- OECHSNER, H.; LEMMER, A.; NEUBERG, C. (2003): Feldfrüchte als Gärsubstrat in Biogasanlagen. In: Landtechnik, H. 3, 2003, S. 146-147