

Silomais als Biogassubstrat



Nr. 1 – 4/2012

Zusammengestellt für die Arbeitsgruppe I (Substratproduktion) im „Biogas Forum Bayern“ von:



Dr. Joachim Eder, Dr. Barbara Eder, Dorothea Hofmann, Dr. Birte Darnhofer

Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft
Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung



Fabian Lichti

Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft
Institut für Agrarökologie, Ökologischen Landbau und Bodenschutz

Inhaltsverzeichnis

1	Allgemeines	2
2	Standortansprüche	2
3	Bodenbearbeitung, Saatbettbereitung.....	3
4	Saattermin, Saatechnik, Saatmenge - Bestandesdichte, Reihenentfernung.....	3
5	Sortenwahl	3
6	Platz in der Fruchtfolge	7
7	Pflege – Pflanzenschutz	7
8	Düngung und Gärrestverwertung.....	7
9	Ernte und optimaler Erntetermin	8
10	Erträge.....	9
11	Eignung zum Zweitfruchtanbau.....	9
12	Ökologische Aspekte	10

1 Allgemeines

Silomais ist die wichtigste Kulturpflanze zur Erzeugung von Biogas aus nachwachsenden Rohstoffen. In Bayern lag die Maisanbaufläche bis zum Jahr 2002 für einen Zeitraum von über 20 Jahren relativ konstant bei rund 400.000 ha (Abb. 1). In den letzten Jahren ist jedoch ein deutlicher Anstieg festzustellen. Während die Körnermaisfläche nur wenig ausgedehnt wurde, ist beim Silomais ein deutlicher Zuwachs zu verzeichnen, der der Biogasproduktion zuzurechnen ist. Etwa 130.000 ha Mais, ein Viertel der gesamten Maisanbaufläche Bayerns, werden zurzeit für die Biogasproduktion beansprucht. Eine weitere Ausdehnung des Anbauumfangs wird von der Öffentlichkeit kritisch gesehen.

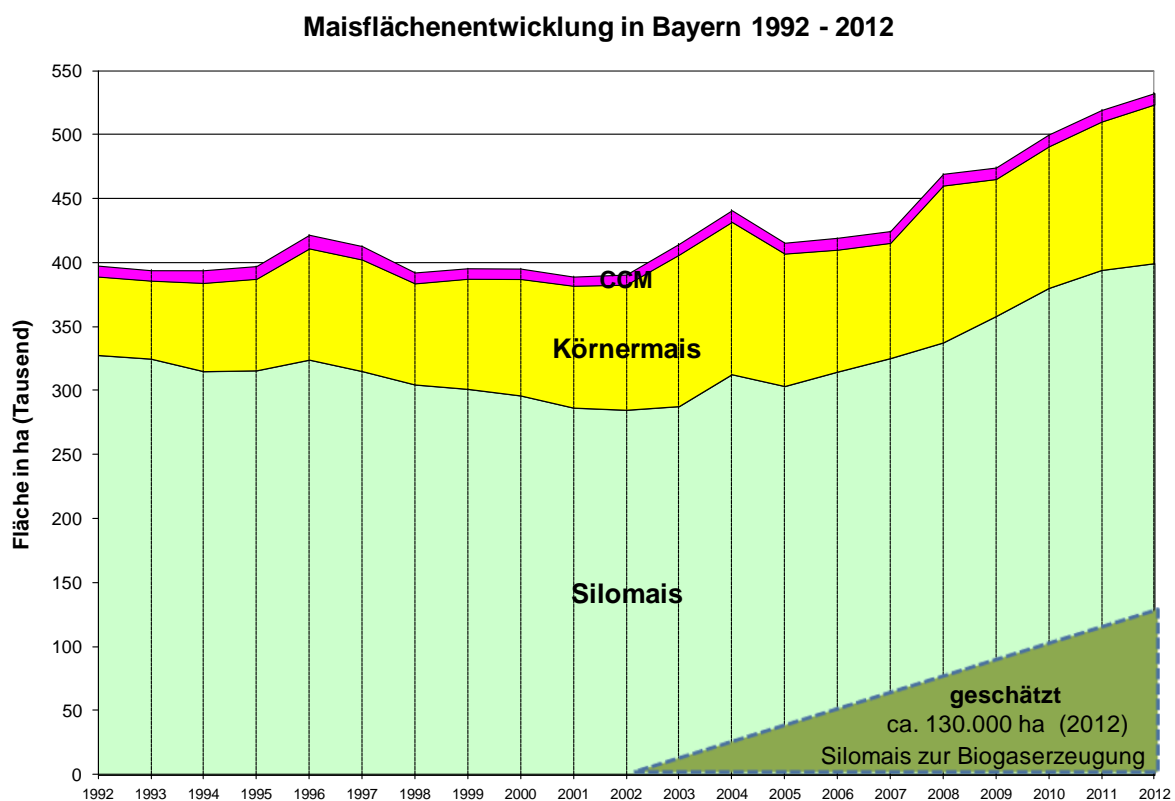


Abb.1: Entwicklung der Maisanbauflächen in Abhängigkeit der Verwertungsrichtung von 1992 - 2012 in Bayern (Quelle: Statistisches Landesamt Bayern)

2 Standortansprüche

Die Standortansprüche für Energiemais (Temperatur, Niederschlag, Boden) sind identisch mit denen für andere Verwertungsrichtungen.

3 Bodenbearbeitung, Saatbettbereitung

Im Wesentlichen gibt es keine Unterschiede zu den anderen Verwertungsrichtungen. Bei hängigem Gelände ist Mulchsaat eine wichtige Maßnahme zu Erosionsvermeidung. Bei ungünstiger Wasserversorgung des Standortes ist auch beim Anbau von Mais als Zweitfrucht (z. B. Mais nach Grünroggen) eine wasserschonende, nicht wendende Bodenbearbeitung bzw. Saatbettbereitung mit Mulchsaattechnik zu empfehlen.

4 Saattermin, Saattechnik, Saatmenge - Bestandesdichte, Reihenentfernung

Der Saattermin, die Saattechnik, die Saatmenge sowie die Reihenentfernung beim Anbau von Mais zur Biogaserzeugung entsprechen den allgemeinen Empfehlungen zum Silomaisanbau. Die Saatstärken sind in Abhängigkeit des Sortentyps zu wählen, in der Regel werden 10 Pfl./m² (Reihenweite 75 cm) ausgesät. Höhere Pflanzenzahlen (bis 12 Pfl./m²) können den Massenertrag weiter erhöhen, bedeuten aber unter Umständen ein erhebliches Lagerisiko. Sie sind nur mit Sorten möglich, die über eine gute Standfestigkeit verfügen. Aktuelle Untersuchungen zeigen, dass auch etwas spätere Reifetypen mit der standortüblichen Saatstärke gesät werden sollten.

Neben der klassischen Einzelkornsätechnik kann der Einsatz von Universaldrilltechnik eine sinnvolle, weil schlagkräftige Alternative darstellen. Zudem können beim Einsatz von Universaldrilltechnik unter Umständen Reihen- und Spurweiten an die Gülletechnik angepasst werden, falls eine Gärrestdüngung in den Maisbestand geplant ist. Die Ernte mit Selbstfahrem wird heute größtenteils mit reihenunabhängigen Maisvorsätzen durchgeführt, so dass eine Aussaat mit Reihenweite 75 cm nicht mehr zwingend ist. Beim Einsatz schlagkräftiger Getreide-Universaldrilltechnik ist darauf zu achten, dass der Feldaufgang in der Regel niedriger ist als bei der Einzelkornsätechnik. Die Aussaatstärke sollte deshalb um etwa 10 % erhöht werden.

5 Sortenwahl

Sortentyp/Qualität

Wichtigste Zielgröße für den wirtschaftlichen Betrieb einer Biogasanlage ist der Methanertrag je Hektar Anbaufläche. Dieser setzt sich zusammen aus dem pro Fläche erzielten Massenertrag (dt Trockenmasse/ha) und der daraus erzielbaren Methanausbeute, ausgedrückt in Normliter Methan pro kg organische Trockensubstanz (NI CH₄(kg oTS)⁻¹).

Von der LfL werden jährlich in einem speziell für die Biogaserzeugung angelegten Landesortenversuch ca. 20 Sorten aus einem Reifebereich von S240 bis S300 an acht verschiedenen Standorten geprüft (<http://www.lfl.bayern.de/ipz/mais/15094/index.php>). Im Mittel erzielen diese Sorten in den letzten Jahren Versuchserträge von ca. 230 dt TM ha⁻¹. In der Praxis liegt das Ertragspotential erfahrungsgemäß um rund 10 – 20 % niedriger, so dass hier mit Trockenmasse-Erträgen zwischen 180 und 210 dt/ha⁻¹ gerechnet werden kann. Die Variation zwischen den Orten und zwischen den verschiedenen Sorten ist annähernd gleich hoch und beläuft sich auf etwa 10 %.

Zur spezifischen Methanausbeute liegt zwischenzeitlich eine Vielzahl von Ergebnissen vor. Im Mittel der Versuche, welche mit dem Hohenheimer Biogastest durchgeführt wurden, konnte für Silomais eine Methanausbeute von durchschnittlich ca. $330 \text{ NI CH}_4 \text{ (kg oTM)}^{-1}$ ermittelt werden. [Berechnungen von Keymer](#) ergeben eine mittlere Ausbeute von $304 \text{ NI CH}_4 \text{ (kg oTM)}^{-1}$.

Zum Thema des Einflusses der Sortenqualität auf die Methanausbeute von Mais wurden an der LfL umfangreiche Untersuchungen durchgeführt. Insbesondere der immer wiederkehrenden Frage nach dem Einfluss des Kolben- und Kornanteils, also dem Gehalt an Stärke, auf die Gasausbeute wurde nachgegangen. Bei den Versuchen von Mais-Ganzpflanzen war nur ein geringer Einfluss der Inhaltstoffzusammensetzung, des Kolbenanteils, des Stärkegehalts oder der Wahl des Erntetermins (früh, spät) feststellbar. Die Sorten erzielten unabhängig ihrer Reife etwa $350 \text{ NI CH}_4 \text{ (kg oTS)}^{-1}$.

Wurden die Maispflanzen in Kolben und Restpflanze (Stängel und Blätter) getrennt auf die Methanausbeute analysiert, so lieferten die Kolben eine höhere Gasausbeute als die Restpflanze (Abb. 2). Die Ergebnisse des Versuches zeigen, dass die Gasbildung aus den einzelnen Pflanzenteilen unterschiedlich verläuft. Aus den Kolben bilden sich zwischen dem 5. und 10. Tag der Vergärung deutlich höhere Gasmengen. Ab dem 11. Tag ist die Gasbildung nur noch gering und für die verschiedenen Pflanzenteile in etwa gleich. Letztendlich erzielten die reinen Kolben die höchsten Gasertragspotentiale von $370 \text{ NI CH}_4 \text{ (kg oTS)}^{-1}$, Stängel und Blätter $300 \text{ NI CH}_4 \text{ (kg oTS)}^{-1}$, also etwa 25 % weniger. Das Gasertragspotential der Ganzpflanze betrug ca. $350 \text{ NI CH}_4 \text{ (kg oTS)}^{-1}$.

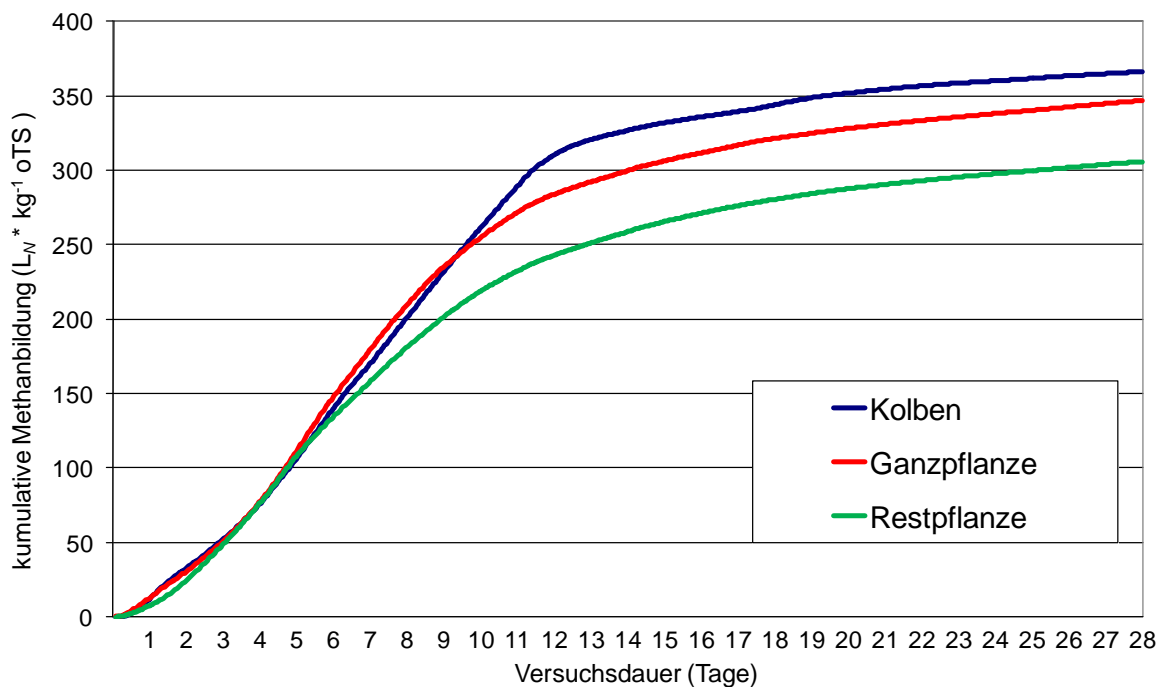


Abb. 2: Verlauf der Methanproduktion von Silomais in 30 Tagen im Fermenter (Batch-Versuch) Kolben, Rest- und Ganzpflanze (Mittelwert über 2 Sorten und 3 Erntetermine und 4 Umwelten); Quelle: LfL-ILT

Das Maiskorn besteht zu großen Teilen aus gut verwertbarer Stärke und zusätzlich ist dort, wenn auch in geringen Mengen, Fett eingelagert, aus welchem sehr hohe Gasmengen gebildet werden können. Die Restpflanze besteht überwiegend aus in unterschiedlichem Umfang lignifizierter Zellulose und Hemizellulose, welche mikrobiell schwer abzubauen sind. So liefert die Restpflanze etwa 75 % der Gasmenge, die aus dem Maiskolben zu erwarten ist.

Kolbenbetonte Sorten haben somit aufgrund ihres höheren Kolbenanteils einen geringfügigen Vorteil bei der Gasbildung, kolbenarme aber massenwüchsige Silomaisarten haben wiederum ihre Stärke in der Massenproduktion. Bezüglich des Ertrages an Gesamttrockenmasse sind sie den Sorten mit hohen Kolbenanteilen (Typ Körnermais) in der Regel deutlich überlegen. Die höheren Trockenmasseerträge bedeuten hohe Gaserträge, so dass diese Sorten den geringfügigen Vorteil der kolbenbetonten Sorten in der Regel kompensieren, wenn nicht gar überkompensieren.

Qualitätsaspekte für Maissorten, die in der Rinderfütterung erforderlich sind, wie der Stärke- oder der Rohfasergehalt, spielen somit in der Biogasproduktion keine bedeutende Rolle. Sonst als schwerverdaulich eingestufte Bestandteile der Maispflanze, wie sie in Stängel und Blättern vorkommen, werden in der Biogasanlage ebenfalls gut abgebaut, da die Verweilzeiten im Fermenter um ein Vielfaches höher sind als im Verdauungstrakt eines Wiederkäuers. Den Bakterien bleibt wesentlich mehr Zeit, die Pflanzennährstoffe aufzuschließen, auch stärker faserhaltiges Material unterliegt einem stärkeren Abbau.

Für den Maisanbau zur Biogasproduktion bedeutet dies, dass das vorrangige Ziel sein muss, auf der vorhandenen Fläche möglichst viel organische Masse, die sich gut konservieren und vergären lässt, zu gewinnen. Dies ist auch der wichtigste Gesichtspunkt für die Sortenwahl.

Für die Energieproduktion eignen sich deshalb besonders gut massenwüchsige Silomaisarten, eventuell auch spätreifere Typen, die viel organische Substanz pro Flächeneinheit produzieren. Kolbenreiche Sorten sind nur dann von Vorteil, wenn sie ebenfalls einen hohen Massenertrag bringen.

Reifegruppe

Bei der Wahl der Reifegruppe ist darauf zu achten, dass bei der Ernte Trockensubstanzgehalte von mindestens 28 – 30 % erreicht werden. Diese sind in der Regel ausreichend, um eine ordnungsgemäße Silierung zu gewährleisten. Somit können auch etwas spätreifere Sorten, als im regulären Silomaisanbau üblich, verwendet werden.

Die besten und zuverlässigsten Resultate wurden in den Versuche der LfL in den letzten Jahren mit Sorten erzielt, die den ortsüblichen Reifebereich um nicht mehr als 30 bis 40 Reifeinheiten übersteigen (Reifezahl Energiemais = Reifezahl ortsüblich + 30 bis 40).

Den spätreifen Sorten sind jedoch Grenzen gesetzt. In Regionen, deren klimatischen Bedingungen den zur Silierung erforderlichen Trockensubstanzgehalt nicht sicherstellen können (Grenzlagen), sollte man keine höheren Reifezahlen als ortsüblich vorsehen.

Extrem spätreife Sorten (Reifezahlen 350 und höher) haben sich generell als für Bayern ungeeignet herausgestellt. Sie bringen keine höheren Erträge (bezogen auf die Trockenmasse) als Sorten aus einem angepassten Reifebereich. Vor allem aber besteht die Gefahr, dass sie den für eine erfolgreiche Konservierung erforderlichen TS-Gehalt nicht erreichen. Sie belas-

ten die Wirtschaftlichkeit der Biogasproduktion durch hohe Transportkosten der nassen Ware und können durch Sickersaftbildung zu einer Umweltbelastung werden.



Abb. 3: Unterschiede in der Kolbengröße und –ausreife zur Ernte in Abhängigkeit von der Reifezahl der Sorte

Züchtung

Einige Züchter beschäftigen sich mit der Entwicklung spezieller Maissorten für die Biogasproduktion. Sorten mit besonders hoher Gasausbeute wurden jedoch bisher **nicht** entwickelt. Spezielle Biogassorten sind deshalb solche, die sich durch einen besonders hohen Massenertrag pro ha auszeichnen.

Aktuelle regionale Empfehlungen

Aktuelle regionale Empfehlungen zur Sortenwahl von Energiemais für Bayern werden von der LfL zur Verfügung gestellt. Grundlage der Empfehlungen sind mehrortige und mehrjährige Sortenversuche, in denen neben dem Biomasseertrag je Hektar und dem zugehörigen TS-Gehalt auch weitere Sorteneigenschaften wie Standfestigkeit und Krankheitsresistenz erfasst werden. ([aktuelle Sortenempfehlung](#)).

Zweitfruchtanbau

Sortenwahl bei Zweitfruchtanbau siehe Punkt 11

6 Platz in der Fruchtfolge

Für Energiemais gelten die gleichen Fruchtfolgeansprüche wie für Mais anderer Verwertungen.

7 Pflege – Pflanzenschutz

Die wichtigste und einzig übliche Pflanzenschutzmaßnahme bleibt auch bei Energiemais die Unkrautbekämpfung (http://www.lfl.bayern.de/ips/blattfruechte_mais/).

8 Düngung und Gärrestverwertung

Mais kann die Nährstoffe aus Gülle und Gärresten gut nutzen. Gerade von spätreifen Sorten werden die im Spätsommer aus dem organischen Bodenvorrat freigesetzten N-Mengen gut verwertet. Die Nährstoffmenge oder dessen Verteilung unterscheidet sich nicht von Mais für andere Verwertungen. Beispiele für optimale Gärrestausbringung finden sich unter (<http://www.lfl.bayern.de/iab/duengung/>).

Abbildung 4 soll ein Beispiel zur Düngung von Silomais aufzeigen. Der Gesamtsollwert für Erträge von 210 – 240 dt TM/ha (entspricht ca. 700 – 799 dt FM/ha) entspricht 220 kg N/ha. Davon ist der standortspezifische N_{\min} -Gehalt (in diesem Fall mit 70 kg N/ha angesetzt) abzuziehen. Bei einer Einmalgabe vor der Maissaat können 120 kg NH_4 -N über Gärreste ausgebracht werden (sofort einarbeiten!). Hiervon werden 80 % als im Anwendungsjahr pflanzenverfügbarer Stickstoff angerechnet. Für eine gesicherte Jugendentwicklung sollte eine Unterfußdüngung nicht ausbleiben (30 kg N/ha). Wird als Unterfußdünger eine Kombination aus Stickstoff- und Phosphatdünger ausgebracht, ist bei hohem Maisanteil gesondert auf den zulässigen Phosphatüberschuss von maximal +20 kg P_2O_5 /ha im betrieblichen Durchschnitt zu achten. Eine zweite mineralische Stickstoffgabe in den Maisbestand zur Deckung des Stickstoffbedarfs kann dann sowohl mineralisch (30 kg N/ha) als auch organisch mit Biogasgärrest erfolgen. Bei entsprechender Technik können bis zu 40 kg NH_4 -N über Biogasgärreste zwischen 20 – 50 cm Wuchshöhe ausgebracht werden. Bei organischer Düngung ist unbedingt zu beachten, dass die zur Ausbringung nötige Infrastruktur vorhanden sein muss (Feldein- und ausfahrten, Wendemöglichkeit, Feldlänge und Ausbringmenge bzw. –breite usw.)

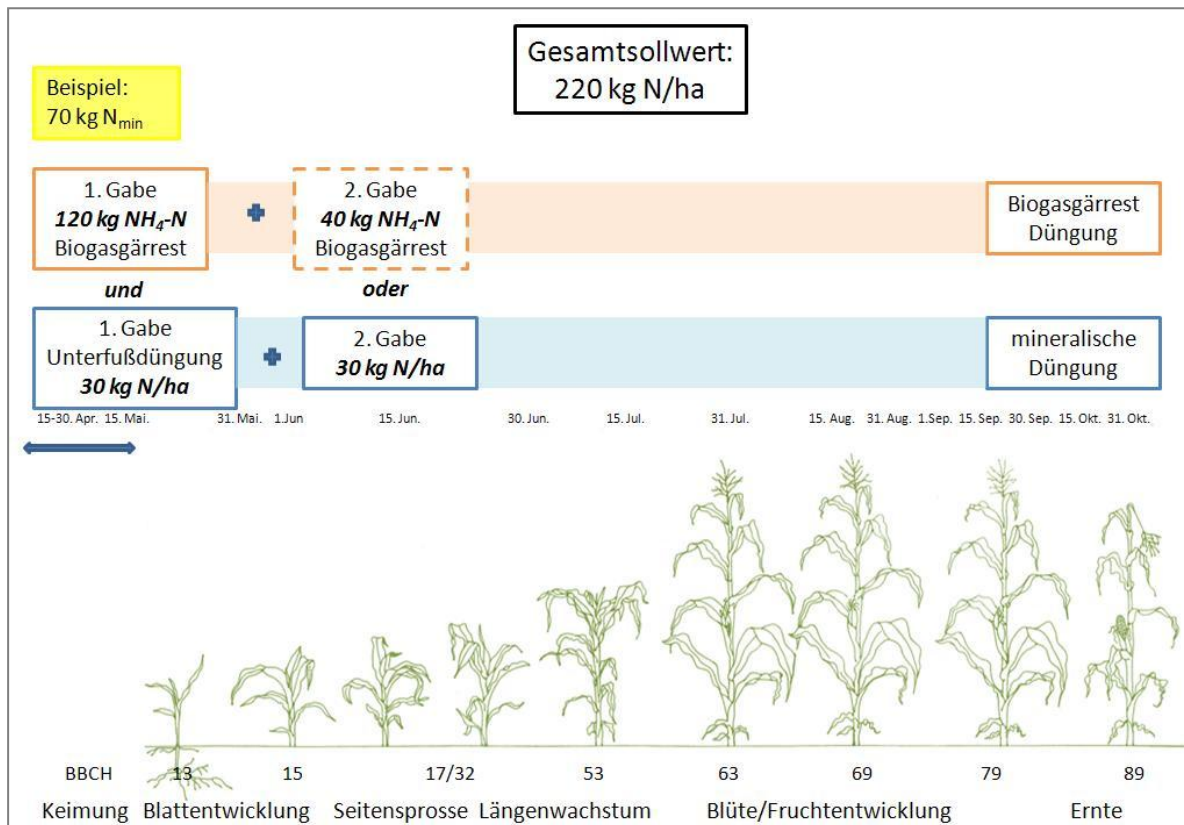


Abb. 4: Beispiel einer Düngempfehlung mit Gärresten zu Silomais

9 Ernte und optimaler Erntetermin

Wichtig ist es, ein gut silierfähiges Pflanzenmaterial mit einem TS-Gehalt von mindestens 28 % zu produzieren. Niedrigere TS-Gehalte führen im Silo zu Sickersaftbildung und sind unbedingt zu vermeiden. Insbesondere bei großen Siloanlagen mit einer hohen Stapelhöhe sind TS-Werte von mindestens 30 % einzuhalten, um die Sickersaftbildung zu verhindern. Der spätest mögliche Erntetermin ist bei einem TS-Gehalt von etwa 35 % anzusetzen, da die Silierfähigkeit und verlustfreie Lagerung des Substrats sonst ebenfalls beeinträchtigt sein kann. Je trockener das Material, desto schwieriger ist eine ausreichende Verdichtung.

Der optimale Erntezeitpunkt für Biogasmals liegt somit in einem Bereich von 30 – 33 % TS in der Gesamtpflanze.

Weitere Informationen zur Silagebereitstellung und Sickersaftvermeidung sind in folgenden Publikationen zu finden:

- [Bereitung hochwertiger Silage – die Grundlage für hohen Biogasertrag](http://www.biogas-forum-bayern.de/publikationen/Bereitung_hochwertiger_Silage.pdf)
(www.biogas-forum-bayern.de/publikationen/Bereitung_hochwertiger_Silage.pdf)
- [Silagesickersaft und Gewässerschutz](http://www.lfl.bayern.de/publikationen/daten/informationen/p_35534.pdf)
(www.lfl.bayern.de/publikationen/daten/informationen/p_35534.pdf)
- [Praxishandbuch Futterkonservierung - Literaturempfehlung](http://www.biogas-forum-bayern.de/publikationen/Praxishandbuch_Futterkonservierung_uberarbeitet.pdf)
(http://www.biogas-forum-bayern.de/publikationen/Praxishandbuch_Futterkonservierung_uberarbeitet.pdf)



Abb. 5: Deutlich zu erkennen sind die unterschiedlichen Abreifeerscheinungen von Silomais in Abhängigkeit vom Reifetyp

10 Erträge

Der pro Flächeneinheit erzielbare Ertrag an Methan wird in erster Linie durch die produzierte Trockenmasse/ha bestimmt. Bei einem Trockenmasse Ertrag von 200 dt/ha (entspricht 600 dt/ha Frischmasse mit einem Trockensubstanzgehalt von 33 %) und einer Methanausbeute von 350 NI CH₄ (kg OTM)⁻¹ ergibt sich eine Methanmenge von 7000 m³/ha.

11 Eignung zum Zweitfruchtanbau

Mais kann auf Standorten mit ausreichendem Wasserangebot als Zweitfrucht angebaut werden ([Ertragsleistung von Energiemais nach Winterzwischenfrüchten](#)). Bei der Wahl der Reifezahl ist der Saattermin zu berücksichtigen. Bei früher Vorfruchternte (z.B. Grünroggen) bis zur ersten Maidekade sind Sorten der ortsüblichen Reifezahl (ohne Zuschlag) zu empfehlen. Letzter sinnvoller Saattermin in klimatisch günstigen Regionen ist die erste Junidekade. Nur sehr frühreife Sorten kommen für einen solchen späten Saattermin in Frage. Als optimal haben sich hier in Versuchen Sorten mit Reifezahlen von S180 - S200 herausgestellt ([Sortenversuche Spätsaat](#)). Bei Saatterminen ab Anfang Juni ist nicht auszuschließen, dass unter ungünstigen Witterungsbedingungen die erforderlichen TS-Gehalte für die Silierung nicht mehr erreicht werden. Solches Erntegut ist für eine Lagerung in Feldsilos auf keinen Fall geeignet.

Weitere Information in folgenden Publikationen:

- [Welsches Weidelgras im Winterzwischenfruchtanbau für die Biogasanlage](http://www.biogas-forum-bayern.de/publikationen/Welsches.Weidelgras.im.Winterzwischenfruchtanbau.fuer.die.Biogasanlage.pdf)
(<http://www.biogas-forum-bayern.de/publikationen/Welsches.Weidelgras.im.Winterzwischenfruchtanbau.fuer.die.Biogasanlage.pdf>)
- [Grünroggen für die Biogasanlage](http://www.biogas-forum-bayern.de/publikationen/Gruenroggen.fuer.die.Biogasanlage.pdf)
(<http://www.biogas-forum-bayern.de/publikationen/Gruenroggen.fuer.die.Biogasanlage.pdf>)

- [Wintergetreide zur Erzeugung von Ganzpflanzensilage](http://www.biogas-forum-bayern.de/publikationen/Wintergetreide.zur.Erzeugung.von.Ganzpflanzensilage.fuer.die.Biogasproduktion_2.Auflage.pdf)
(http://www.biogas-forum-bayern.de/publikationen/Wintergetreide.zur.Erzeugung.von.Ganzpflanzensilage.fuer.die.Biogasproduktion_2.Auflage.pdf)

12 Ökologische Aspekte

Die Produktionstechnik für Mais zur Biogaserzeugung unterscheidet sich nicht wesentlich von der zur Futtermittel- oder Nahrungsmittelproduktion. Somit kann davon ausgegangen werden, dass alleine durch die Nutzung zur Energieerzeugung keine zusätzlichen oder erhöhten Umweltbelastungen auftreten ([Umweltwirkungen eines zunehmenden Energiepflanzenbaus Schriftenreihe 11, 2008](#)).

Mögliche negative Umweltfolgen des Silomaisanbaus durch Fehler in der Bewirtschaftung gilt es zu vermeiden. In erosionsgefährdeten Lagen ist Mulchsaat eine wichtige Vorbeugungsmaßnahme um Bodenabtrag zu verhindern. Ein langfristig überhöhter Maisanteil in der Fruchtfolge kann zum Humusabbau und dadurch zum Rückgang der Bodenfruchtbarkeit führen und zur Erhöhung der Kohlendioxidkonzentration in der Atmosphäre beitragen. Für eine nachhaltige Wirtschaftsweise ist daher eine ausgewogene Fruchtfolge oder der Anbau von Zwischenfrüchten, die am Feld verbleiben, nötig. Der Einsatz von Pflanzenschutzmitteln beschränkt sich beim Energiemais nahezu ausschließlich auf den Herbizideinsatz. Damit bestehen hier ebenfalls keine grundsätzlichen Unterschiede zum Maisanbau für Futterzwecke.

Das „Biogas Forum Bayern“ ist eine Informationsplattform zum Wissenstransfer für die landwirtschaftliche Biogasproduktion in Bayern

Arbeitsgruppe I (Substratproduktion)

hier erarbeiten Experten Publikationen zu folgenden Themen:

- Züchtung und Anbau von Nachwachsenden Rohstoffen
- Fruchtfolgen
- Gärrestverwertung und Düngung

Mitglieder der Arbeitsgruppe I (Substratproduktion)

- **Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft**
Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung
Institut für Landtechnik und Tierhaltung
Institut für Agrarökologie, Ökologischen Landbau und Bodenschutz
- **Technologie- und Förderzentrum im Kompetenzzentrum für Nachwachsende Rohstoffe**
- **Bayerisches Landesamt für Umwelt**
- **Amt für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten Bamberg und Ansbach**
- **Landwirtschaftliche Lehranstalten Triesdorf**
- **Landesvereinigung für den ökologischen Landbau in Bayern e.V.**
- **Landeskuratorium für pflanzliche Erzeugung**
- **Arbeitsgemeinschaft Landtechnik und landwirtschaftliches Bauwesen in Bayern e.V.**



Herausgeber:

Arbeitsgemeinschaft Landtechnik
und landwirtschaftliches Bauwesen in Bayern e.V.
Vöttinger Straße 36
85354 Freising
Telefon: 08161/71-3460
Telefax: 08161/71-5307
Internet: <http://www.biogas-forum-bayern.de>
E-Mail: info@biogas-forum-bayern.de