

# ENERGIEPFLANZEN FÜR BIOGASANLAGEN



  
Technologie- und  
Förderzentrum

BAYERN

Gefördert durch:



Bundesministerium für  
Ernährung, Landwirtschaft  
und Verbraucherschutz



aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

# IMPRESSUM

## **Herausgeber**

Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. (FNR)  
OT Gülzow, Hofplatz 1  
18276 Gülzow-Prüzen  
Tel.: 03843/6930-0  
Fax: 03843/6930-102  
info@fnr.de  
www.nachwachsende-rohstoffe.de  
www.fnr.de

Mit Förderung des Bundesministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages

## **Text**

Aigner, A.; Biertümpel, A.; Conrad, M.; Deiglmayr, K.; Diepolder, M.; Eder, B.; Eder, J.; Formowitz, B.; Fritz, M.; Gehring, K.; Hartmann, A.; Hartmann, S.; Heiermann, M.; Herrmann, C.; Hofmann, D.; Idler, C.; Kawasch, M.; Kornatz, P.; Lichti, F.; Nehring, A.; Salzedo, G.; Schaffner, S.; Stickel, E.; Stockmann, F.; Vetter, A.; Vollrath, B.; von Buttlar, C.; Wendland, M.; Willms, M.; Wolf, G.; Zeise, K.  
Für den Inhalt der Broschüre zeichnen die Autoren verantwortlich.

## **Redaktion**

FNR, Abt. ÖA

## **Bilder**

Titel: Formowitz, B. (TFZ); FNR; LWK-Niedersachsen  
FNR, LWG Bayern  
sofern nicht am Bild vermerkt: TFZ

## **Gestaltung und Realisierung**

www.tangram.de, Rostock

## **Druck**

www.druckerei-weidner.de, Rostock

Gedruckt auf 100 % Recyclingpapier  
mit Farben auf Pflanzenölbasis

Bestell-Nr. 558  
1. Auflage  
FNR, August 2012

# ENERGIEPFLANZEN FÜR BIOGASANLAGEN

Bayern



# VORWORT

Sehr geehrte Damen und Herren,  
im Zuge der von der Bundesregierung beschlossenen Energiewende sind die Anforderungen und Erwartungen an die Land- und Forstwirtschaft stark gewachsen; die Branche spielt als Rohstofflieferant für Bioenergie sowie als dezentraler Energieversorger eine zentrale Rolle. Dank ihrer vielen positiven Eigenschaften wird Biomasse als Energieträger zunehmend nachgefragt. Mit dem steigenden Anbau von Energiepflanzen gehen aber auch Skepsis und Unbehagen in der Bevölkerung einher. Aus diesem Grund wird vom Landwirt umsichtiges Handeln erwartet, das weit mehr als rein betriebswirtschaftliche Aspekte berücksichtigen soll. Es geht darum, Kulturlandschaften zu erhalten, Ökosysteme zu bewahren, nachhaltig zu wirtschaften, Arbeitsplätze zu schaffen, regionale Entwicklung zu generieren und einen Beitrag zur Unabhängigkeit von fossilen Energieträgern zu leisten. Dem Landwirt wird damit Verantwortung und Bewusstsein in hohem Grad abverlangt – eine Bürde, die er allein nicht tragen kann.

Als Projektträger des Bundesministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz ist es die Aufgabe der Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. (FNR), die Landwirte bei diesem Wirken maßgeblich zu unterstützen. Mit den vorliegenden, regional bezogenen Broschüren zum Energiepflanzenanbau möchte ich den Landwirten eine Handlungshilfe an die Hand geben. Sie fasst die Ergebnisse der umfangreichen nationalen Agrarforschungsprojekte des BMELV zusammen und integriert Ergebnisse aus Projekten mit regionalem Bezug.

Gemeinsam mit Partnern aus dem Verbundvorhaben „EVA“ (Entwicklung und Vergleich von optimierten Anbausystemen für die landwirtschaftliche Produktion von Energiepflanzen unter den verschiedenen Standortbedingungen Deutschlands) und den einzelnen Bundesländern ist es nun gelungen, für beinahe jedes Bundesland eine Broschüre zu erarbeiten, die die regional aufbereiteten Ergebnisse umfasst. Landwirte finden darin Empfehlungen zu alternativen Anbausystemen, mit deren Hilfe Energiefruchtfolgen mit hohen Erträgen bei gleichzeitig großer Vielfalt, Risikostreuung und Nachhaltigkeit zu realisieren sind.



Ich hoffe, dass es mit diesen Handlungsempfehlungen gelingt, den heutigen vielschichtigen Anforderungen an die Landwirtschaft einen Schritt näher zu kommen und bedanke mich bei allen Autoren und Partnern, die diese Veröffentlichung möglich gemacht haben.

Dr.-Ing. Andreas Schütte,  
Geschäftsführer Fachagentur Nachwachsende  
Rohstoffe e. V. (FNR)

# GRUSSWORT

## **Energiewende – Herausforderung und Chance für den ländlichen Raum**

Das Jahr 2011 hat mit der Reaktorkatastrophe in Fukushima/Japan zu einem großen Umdenken bezüglich der zukünftigen Energieversorgung in Deutschland geführt. Der Ausstieg aus der Atomenergie hat die Umsetzung der schon für den Klimaschutz geplanten Energiewende beschleunigt. Allerdings bedeutet der baldige Verzicht auf die zumindest vordergründig klimagasneutrale Atomenergie eine große Herausforderung. In Bayern lag der Anteil Atomenergie am Strom-Mix im Jahr 2010 bei etwa 60%, gerade in diesem Bereich ergeben sich große Herausforderungen für den Einsatz erneuerbarer Energieträger.

Die Erzeugung von Biogassubstraten, aber auch anderen biogenen Energieträgern, wie Festbrennstoffen oder Biokraftstoffen, bietet Chancen wie neue Einkommensquellen und eine Stärkung des ländlichen Raums. Bioenergieträger haben anderen erneuerbaren Energien gegenüber den oft unterschätzten Vorteil, dass sie gespeicherte Sonnenenergie darstellen, die bedarfsgerecht eingesetzt werden kann. Photovoltaik, Solarthermie und Windkraft stehen nur bei den passenden Witterungsbedingungen zur Verfügung, ihre Überschüsse können nur mit hohem technischem Aufwand in eine speicherbare Form überführt werden.

In diesem Wandlungsprozess hat Bayern schon viel erreicht: Es ist das Bundesland mit der höchsten Anzahl an Biogasanlagen. Die Versorgung dieser Biogasanlagen mit nachhaltig erzeugten Substraten und Reststoffen stellt allerdings eine gewaltige agrarökologische, pflanzenbauliche und gesellschaftliche Herausforderung dar. Vor allem vor dem Gesichtspunkt, dass die Biogaserzeugung bis 2020 noch deutlich ausgeweitet werden wird, um die Ziele des Energiekonzepts zu erreichen. Dabei muss gerade im kleinräumig strukturierten und auf traditionelle Werte bedachten Bayern eine Gratwanderung zwischen gesteigerter Produktivität und Erhaltung bzw. sanftem Wandel der gewohnten Kulturlandschaft vollbracht werden.

Ziel ist dabei eine möglichst große Vielfalt an Energiepflanzen, die in umweltverträgliche Fruchtfolgen eingebunden sind. Die Regionalbroschüre soll Praktikern und Beratern, aber auch den interessierten Bürgern eine umfassende Übersicht zu den derzeit in Bayern genutzten und künftig denkbaren Energiepflanzen und deren Anbau geben. Viele Ergebnisse wurden im Laufe der vergangenen sieben



Jahre im Rahmen des EVA-Projektes erarbeitet. Mein Dank gilt daher allen Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern sowie dem versuchstechnischen Personal meines Hauses für die unermüdliche Arbeit für eine zukunftsfähige nachhaltige Energiepflanzenproduktion.

Neben den vom TFZ im Rahmen des EVA-Projektes erarbeiteten Ergebnissen umfasst die Broschüre auch Beiträge von Autoren der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL) und des „Biogas Forum Bayern“, einer Informations- und Weiterbildungsplattform der LfL und der Arbeitsgemeinschaft Landtechnik und landwirtschaftliches Bauwesen in Bayern e. V. (ALB). Ich darf mich daher bei den Kolleginnen und Kollegen der LfL, der ALB und des „Biogas Forum Bayern“ herzlich bedanken, dass sie sich auf besondere Weise in die Erstellung dieser Broschüre eingebracht haben.

*Bernhard Widmann*

Dr. Bernhard Widmann,  
Leiter des TFZ



# INHALT

<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>6</b>
<b>2</b>	<b>Energiepflanzen für die Biogasproduktion</b>	<b>8</b>
2.1	Silomais	8
2.2	Wintergetreide zur Erzeugung von Ganzpflanzensilage	14
2.3	Grünroggen	18
2.4	Wickroggen	21
2.5	Sorghum	24
2.6	Mischanbau verschiedener Sorghumtypen zur Kontrolle von Lagerverlusten	28
2.7	Rüben als Biogassubstrat – Überblick über Verfahrenswege zu Transport, Aufbereitung und Lagerung	29
2.8	Durchwachsene Silphie	36
2.9	Welsches Weidelgras im Winterzwischenfruchtanbau	40
2.10	Weidelgras-Untersaaten in Wintergetreide zur GPS-Nutzung	43
2.11	Kleegrass	49
2.12	Grünland	54
2.13	Buchweizen	59
2.14	Amarant	62
2.15	Für die Biogasgewinnung optimierte Wildpflanzenmischungen	64
2.16	Miscanthus als Energie- und Rohstoffpflanze	66
2.17	Exoten und neue bzw. Sonderkulturen	69
2.17.1	Knöterichsorten	69
2.17.2	Topinambur	69
2.17.3	Sida	70
2.17.4	Rutenhirse	70
2.17.5	Rumex Schavnat	70
2.17.6	Riesenweizengras/Energiegras	71
<b>3</b>	<b>Einbindung in Anbausysteme</b>	<b>72</b>
3.1	Einbindung von Energiepflanzen in Fruchtfolgen	72
3.2	Fruchtfolgen der Vor- und Mittelgebirgslagen – Standortcharakteristik und Versuchsbeschreibung	73
3.3	Mischfruchtanbau	79
3.4	Zweikulturnutzungssystem (ZKNS) im Vergleich zu herkömmlichen Anbauverfahren	83
3.5	Reduzierung von Pflanzenschutz und Düngung bei der Substratproduktion	87
3.6	Effiziente Nutzung von Biogasgärresten	90
3.6.1	Biogasgärreste – Einsatz von Gärresten aus der Biogasproduktion als Düngemittel	90
3.7	Humusbilanzen	98
3.8	Grundwasserschonender Biomasseanbau nach den Anforderungen der EG-Wasserrahmenrichtlinie (EG-WRRL)	101
<b>4</b>	<b>Silierung und Gasausbeuten</b>	<b>104</b>
<b>5</b>	<b>Ökonomie des Energiepflanzenanbaus</b>	<b>106</b>
<b>6</b>	<b>Anhang</b>	<b>110</b>
	Beratungsangebote und Adressen	110
	Weiterführende Internetadressen	110
	Abbildungsverzeichnis	111
	Tabellenverzeichnis	113

# 1 EINLEITUNG

## AUSGANGSLAGE UND REGIONALE STANDORTBEDINGUNGEN

### Ausgangslage der Biogaserzeugung in Bayern

Das Bundesland Bayern weist eine hohe Dichte an Biogasanlagen auf. Nach Angaben des Institutes für Agrarökonomie der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft in der Biogas-Betreiberdatenbank Bayern gab es am 31.12.2011 (Stichtag) 2.372 Biogasanlagen mit einer installierten elektrischen Nennleistung von insgesamt 674 MW<sub>el</sub> (LfL, 2012). Dabei hatte Oberbayern mit 596 die höchste Anzahl vor Schwaben mit 528 Anlagen, während Unterfranken mit 90 Anlagen die geringste Anzahl aufwies. Im Landkreis Ansbach (Mittelfranken) war die Anlagendichte mit 176 Biogasanlagen am höchsten, wobei auch andere Landkreise hohe Anlagenkonzentrationen aufweisen wie beispielsweise Rosenheim (Oberbayern, 101 Anlagen), Rottal-Inn (Niederbayern, 95 Anlagen) und Donau-Ries (Schwaben, 85 Anlagen) (LfL, 2012).

Der Vergleich mit den Biogas Branchenzahlen für die Bundesrepublik Deutschland, in denen für Ende 2011 insgesamt 7.100 Biogasanlagen mit einer installierten elektrischen Nennleistung von 2.780 MW<sub>el</sub> prognostiziert wurden (Fachverband Biogas e. V., 2011), zeigt, dass in Bayern ein Drittel der derzeit vorhandenen Biogasanlagen betrieben werden.

Mit dem Biogasboom stieg die Maisanbaufläche stark an. Im Jahr 2011 wurden in Bayern 114.000 Hektar Körnermais (-3,8% zum Vorjahr) und 400.500 Hektar Silomais (+12,2% zum Vorjahr) angebaut (Statistisches Bundesamt, Stand Juli 2011). Damit liegt die Maisanbaufläche in Bayern auf über einer halben Million Hektar und um +8,2% höher als in 2010. In Deutschland blieb die Körnermaisfläche (inkl. Corn-Cob-Mix) unverändert bei 466.700 Hektar, während die Silomaisfläche um +8,5% auf 1.984.500 Hektar anstieg (Statistisches Bundesamt, Stand Juli 2011). Diese Ausweitung des Maisanbaus wird aus Sicht der nachhaltigen Bewirtschaftung der ackerbaulichen Fläche kritisch beurteilt, auch wenn Silomais derzeit die leistungsfähigste Kultur für die Biogaserzeugung wie auch für die Fütterung ist.

Zum einen reduziert ein hoher Anteil des Humuszehrsers Silomais in der Fruchtfolge langfristig den Humusgehalt des Bodens. Humus ist – zusammen mit dem davon abhängenden Bodenleben – entscheidend für das Wasser- und Nährstoffhaltevermögen sowie die Struktureigenschaften des Bodens. Zusätzlich werden im Humus große Mengen Kohlenstoff gespeichert, der bei Humusabbau als CO<sub>2</sub> freigesetzt wird und zum Klimawandel beiträgt. Zum anderen

wird die Biodiversität in der Agrarlandschaft bei starker Fokussierung auf nur eine bzw. wenige Kulturarten und gleichzeitiger Einschränkung der entsprechenden Begleitflora und -fauna verringert. Auch die erschwerte Bejagung von Schwarzwild und die zunehmende Gefahr von Wildschäden im Mais sorgen für Kritik. Die Gesellschaft bemängelt das veränderte Landschaftsbild vor allem aufgrund hoher Maisbestände, die eine Sicht über die Landschaft verhindern.

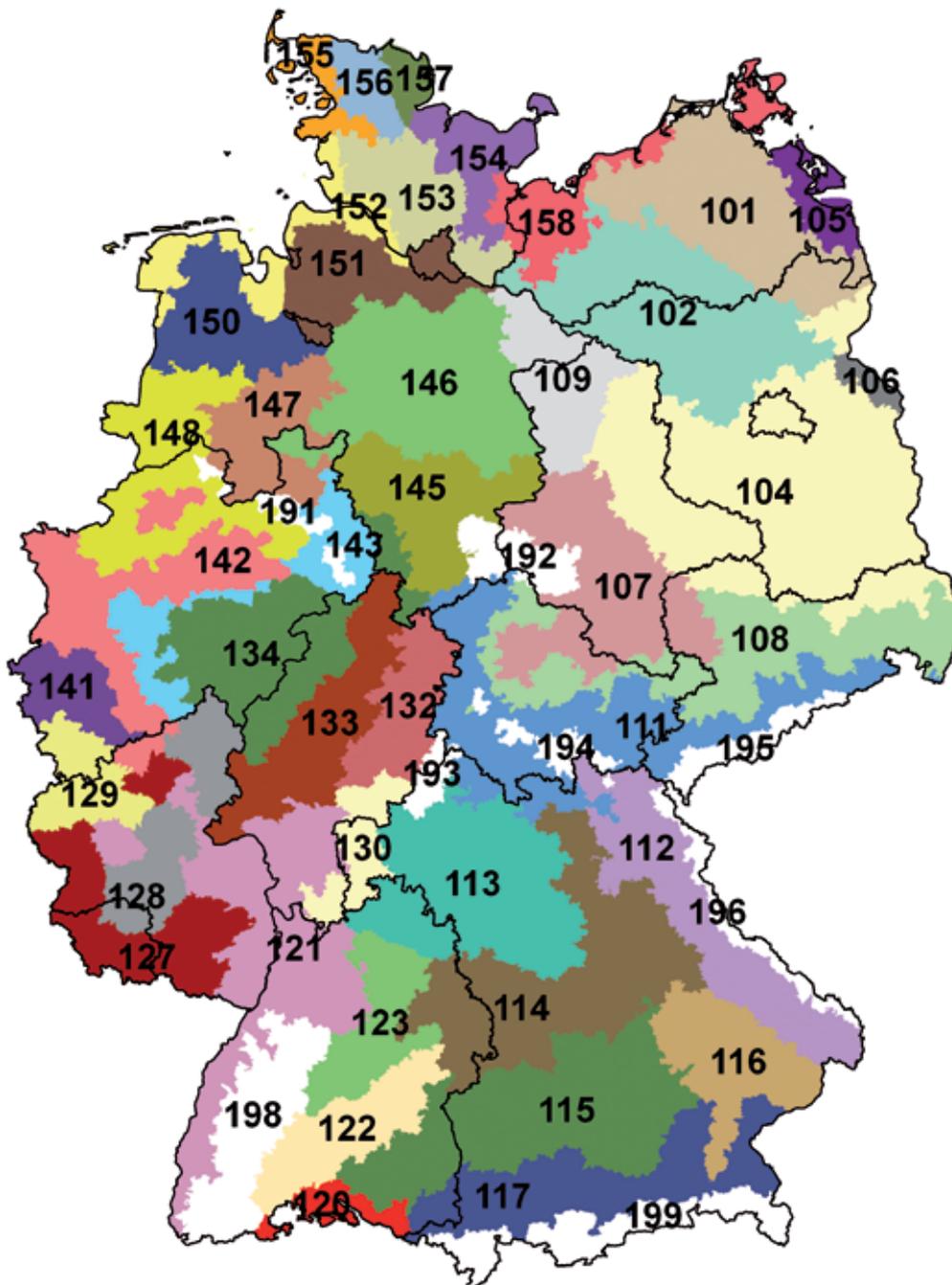
Neben der Akzeptanzförderung bietet die Erweiterung der Fruchtfolge mit bewährten wie auch neuen Energiepflanzen zu den bekannten ökologischen Vorteilen auch die Chance, das Anbausisiko auf mehrere Kulturen zu verteilen sowie die Gärrestverwertung pflanzenbaulich sinnvoll auf mehr Zeiträume im Jahr aufzuteilen. Diese Faktoren lassen sich nur auf Ebene des Einzelbetriebes bewerten, wodurch sie bei einem Vergleich der Deckungsbeiträge von Energiepflanzen nicht berücksichtigt werden können. Trotzdem können genau solche Argumente wichtige Gründe für einen Energiepflanzenanbau auf einer breiteren Kulturartenbasis liefern.

### Regionale Standortbedingungen

Bayern wird in 11 Boden-Klima-Räume unterteilt, wobei einige dieser Räume über die Grenzen des Freistaates hinaus in andere Bundesländer reichen (ROSSBERG ET AL. 2007). Diese Boden-Klima-Räume auf Basis der Gemeindegrenzen fassen Anbauggebiete zusammen, die aufgrund ihrer wesentlichsten Standortbedingungen Boden und Witterung (Klima) als ähnlich gelten können. Diese Gruppierung wird beispielsweise im Sortenwesen genutzt, um die Versuchsstandorte optimal zu platzieren. Im Nordwesten und Norden Bayerns liegen die Räume „Odenwald, Spessart“ (130), „Rhön“ (193) und „Verwitterungsböden in den Übergangslagen“ (111). Nach Süden folgen die Räume „Nordwestbayern-Franken“ (113), „Albflächen und Ostbayerisches Hügelland“ (114), „Tertiär-Hügelland Donau-Süd“ (115), „Moränen-Hügelland und Voralpenland“ (117) und schließlich die „Alpen“ (199). Im Osten Bayerns liegen die Räume „Verwitterungsböden in den Höhenlagen (östliches Bayern)“ (112), „Bayerischer Wald“ (196) und „Gäu, Donau- und Inntal“ (116).

Diese Unterteilung kann den Praktiker bei der Einordnung der Ergebnisse aus dem pflanzenbaulichen Versuchswesen unterstützen und erlaubt ggf. auch eine gewisse Übertragung von Erkenntnissen aus anderen Bundesländern auf den eigenen Betriebsstandort. Die Versuchsstandorte Straubing und Aholting des Technologie- und Förderzentrums liegen im Boden-Klima-Raum 116 – Gäu, Donau- und Inntal, während die Fruchtfolgeversuche am Standort Ascha dem Boden-Klima-Raum 112 – Verwitterungsböden in den Höhenlagen (östliches Bayern) – zuzuordnen sind.

# BODEN-KLIMA-RÄUME



Quelle: Roßberg et al. (2007)

Abb. 1: Boden-Klima-Räume 2007 für Deutschland

## Literatur

Roßberg, D.; Michel, V.; Graf, R.; Neukampf, R. (2007): Definition von Boden-Klima-Räumen für die Bundesrepublik Deutschland. Nachrichtenblatt Deutscher Pflanzenschutzdienst 59, (7), S. 155-161, ISSN 0027-7479.

Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL) (2012): Biogas-Betreiberdatenbank Bayern (BBD), München, Stand 05.03.2012.

Autorin: Fritz, M. (Technologie- und Förderzentrum)

## 2 ENERGIEPFLANZEN FÜR DIE BIOGASPRODUKTION

### 2.1 Silomais

#### 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. 2). In den letzten Jahren ist jedoch ein deutlicher Anstieg festzustellen. Während die Körnermaisfläche nur wenig ausgedehnt wurde, ist bei Silomais ein deutlicher Zuwachs zu verzeichnen, der der Biogasproduktion zuzurechnen ist. Etwa 130.000 ha Mais, entsprechend etwa einem Viertel der gesamten Maisfläche Bayerns, werden zurzeit für die Biogasproduktion beansprucht. Eine weitere Ausdehnung des Anbauumfangs wird von der Öffentlichkeit kritisch gesehen.

#### Standortansprüche

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

#### Bodenbearbeitung und Saatbettbereitung

Im Wesentlichen gibt es keine Unterschiede zu den anderen Verwertungsrichtungen. Bei hängigem Gelände ist Mulchsaat eine wichtige Maßnahme zur 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.

#### Saattermin, -technik, -menge, Bestandesdichte und Reihenentfernung

Der Saattermin, die Saattechnik, die Saatmenge sowie die Reihenentfernung beim Anbau von Mais zur Biogasproduktion entsprechen den allgemeinen Empfehlungen zum Silomaisanbau. Die Saatstärken sind in Abhängigkeit des Sortentyps zu wählen, in der Regel werden 10 Pflanzen/m<sup>2</sup> (Reihenweite 75 cm) ausgesät. Höhere Pflanzenzahlen (bis 12 Pflanzen/m<sup>2</sup>) können den Massenertrag weiter erhöhen, bedeuten aber unter Umständen ein erhebliches Lagerrisiko. 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 Einzelkornsaattechnik kann der Einsatz von Universaldrilltechnik eine sinnvolle, weil schlagkräftige Alternative darstellen. Die Ernte mit Selbstfahrem wird heute größtenteils mit reihenunabhängigen Maisvorsätzen durchgeführt, sodass eine Aussaat mit Reihenweite 75 cm nicht mehr zwingend ist. Beim Einsatz schlagkräftiger Getreide - Universaldrilltechnik ist darauf zu achten, dass der Felddaufergang in der Regel niedriger ist als bei der

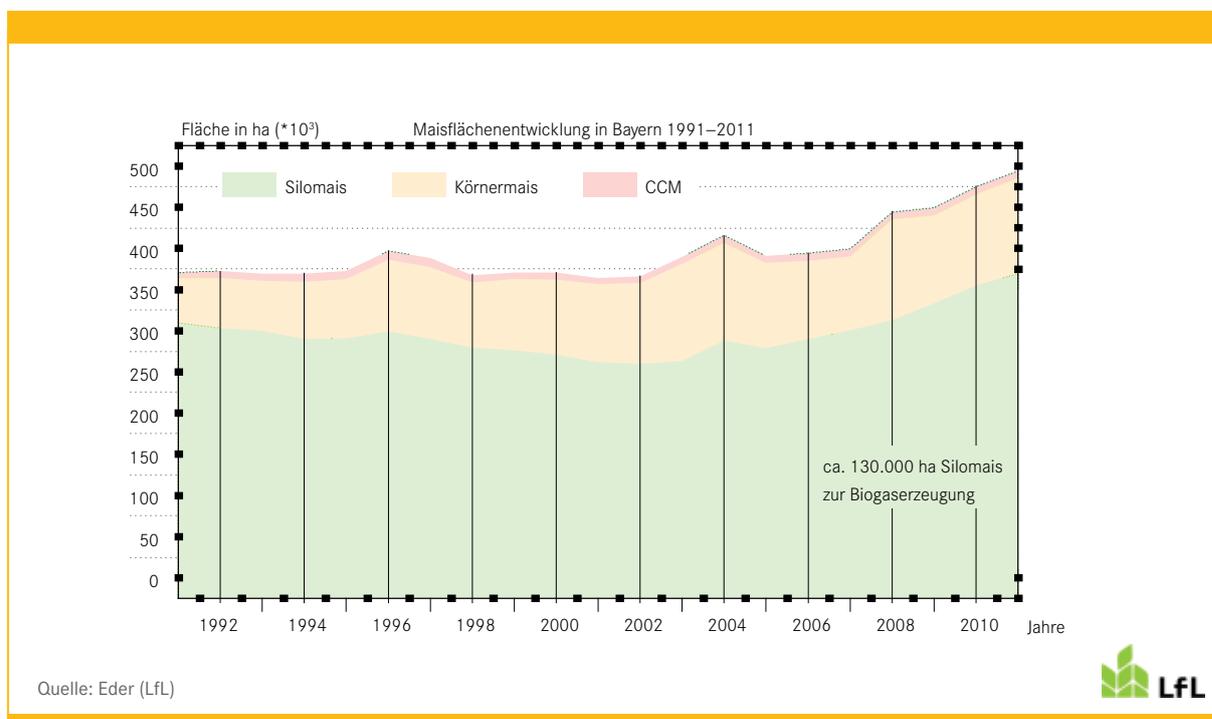


Abb. 2: Entwicklung der Maisanbauflächen in Abhängigkeit der Verwertungsrichtung von 1991-2011 in Bayern



Einzelkornsätechnik. Die Aussaatstärke sollte deshalb um etwa 10 % erhöht werden.

### 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 Gasausbeute, ausgedrückt in Normliter Methan pro kg organische Trockensubstanz (NI CH<sub>4</sub> (kg oTS)<sup>-1</sup>).

Von der LfL werden jährlich in einem speziell für die Biogaserzeugung angelegten Landessortenversuch ca. 20 Sorten aus einem Reifebereich von S240 bis S300 an acht verschiedenen Standorten geprüft ([www.lfl.bayern.de/ipz/mais/](http://www.lfl.bayern.de/ipz/mais/)). Im Mittel erzielten diese Sorten in den letzten Jahren Versuchserträge von ca. 230 dt TM ha<sup>-1</sup>. In der Praxis liegt das Ertragspotenzial erfahrungsgemäß um rund 10–20 % niedriger, so dass hier mit Trockenmasse-Erträgen zwischen 180 und 210 dt ha<sup>-1</sup> 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. 335 NI CH<sub>4</sub> (kg oTM)<sup>-1</sup> ermittelt werden. Berechnungen von Keymer ergeben eine mittlere Ausbeute von 304 NI CH<sub>4</sub> (kg oTM)<sup>-1</sup>.

Zum Thema des Einflusses der Sortenqualität auf die Methanausbeute von Mais wurden an der LfL umfangreiche Untersuchungen durchgeführt. Insbesondere der immer wieder kehrenden Frage nach dem Einfluss des Kolben- und Kornanteils, also dem Gehalt an Stärke, auf die Gasausbeute wurde nachgegangen. Bei den Untersuchungen

von Mais-Ganzpflanzen war nur ein geringer Einfluss der Inhaltsstoffzusammensetzung, des Kolbenanteils, des Stärkegehalts oder der Wahl des Erntetermins (früh, spät) feststellbar. Die Sorten erzielten unabhängig ihrer Reife etwa 350 NI CH<sub>4</sub> (kg oTS)<sup>-1</sup>.

Wurden die Maispflanzen in Kolben und Restpflanze (Stängel und Blätter) getrennt auf die Methanausbeute analysiert, so lieferten die Kolben eine höhere Gasausbeute als die Restpflanzen (Abb. 3). Die Ergebnisse des Versuches zeigen, dass die Gasbildung aus den einzelnen Pflanzenteilen unterschiedlich verläuft. Aus den Kolben bilden sich zwischen dem 5. und dem 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 Gasertragspotenziale von 370 NI CH<sub>4</sub> (kg oTS)<sup>-1</sup>, Stängel und Blätter 300 NI CH<sub>4</sub> (kg oTS)<sup>-1</sup>, also etwa 25 % weniger. Das Gasertragspotenzial der Ganzpflanze betrug ca. 350 NI CH<sub>4</sub> (kg oTS)<sup>-1</sup>.

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 Hemizellulosen, welche mikrobiell schwerer 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 massewüchsige Sorten haben wiederum ihre Stärke in der Biomasseproduktion. Bezüglich des Ertrages an Gesamttrockenmasse pro Hektar sind sie den Sorten mit hohen Kolbenanteilen, Typ Körnermais, in der Regel deutlich überlegen. Die höheren Trockenmasse-Erträge/ha bedeuten hohe Gaserträge, sodass diese Sorten den scheinbar geringfügigen Vorteil der kolbenbe-

tonten 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 so entscheidende Rolle. Sonst als schwerverdaulich eingestufte Bestandteile der Maispflanze, wie sie in Stängel und Blättern vorkommen, werden in der Biogasanlage ebenfalls relativ 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 es 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 Silomaisorten, 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. So-

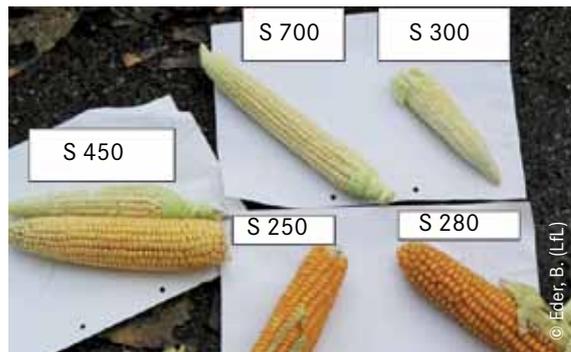


Abb. 4: Unterschiede in der Kolbengröße und -ausreife zur Ernte in Abhängigkeit von der Reifezahl der Sorte

mit können auch etwas spätreifere Sorten, als im regulären Silomaisanbau üblich, verwendet werden.

Die besten und zuverlässigsten Resultate wurden in den Bayerischen Landessortenversuchen in den letzten Jahren mit Sorten erzielt, die den ortsüblichen Reifebereich um nicht mehr als 20 bis 30 Reifeinheiten übersteigen (Reifezahl Energiemais = Reifezahl ortsüblich +20 bis 30).

Den spätreifen Sorten sind jedoch Grenzen gesetzt. In Regionen, deren klimatische 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 Reifebe-

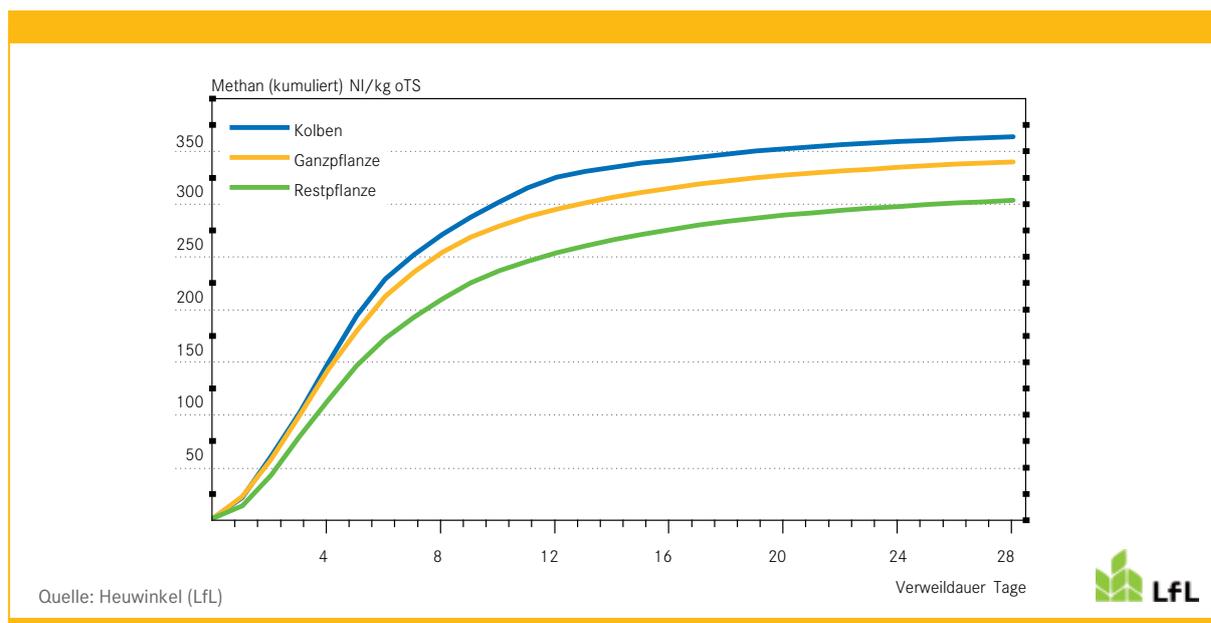


Abb. 3: Verlauf der Methanproduktion von Silomais in 30 Tagen im Fermenter (Batch-Versuch) Kolben, Rest- und Ganzpflanze (Mittelwert über 2 Sorten und 3 Ernteterminen)

reich. Vor allem aber besteht die Gefahr, dass sie den für eine erfolgreiche Konservierung erforderlichen TS-Gehalt nicht erreichen. Sie belasten die Wirtschaftlichkeit der Biogasproduktion durch hohe Transportkosten der nassen Ware und können durch Sickersaftbildung zu einer Umweltbelastung werden.

### 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 Biomassertrag je Hektar und dem zugehörigen TS-Gehalt auch weitere Sorteneigenschaften wie Standfestigkeit und Krankheitsresistenz erfasst werden. ([www.lfl.bayern.de/ipz/mais/37485/empfehlungssorten\\_energiemais\\_2010.pdf](http://www.lfl.bayern.de/ipz/mais/37485/empfehlungssorten_energiemais_2010.pdf))

### Zweitfruchtanbau

Sortenwahl bei Zweitfruchtanbau siehe Seite 13.

### Platz in der Fruchtfolge

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

### Pflege und Pflanzenschutz

Die wichtigste und einzig übliche Pflanzenschutzmaßnahme bleibt auch bei Energiemais die Unkrautbekämpfung ([www.lfl.bayern.de/ips/landwirtschaft/07071/index.php?context=/lfl/ips/unkraut/](http://www.lfl.bayern.de/ips/landwirtschaft/07071/index.php?context=/lfl/ips/unkraut/)).

### 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 Gärrestausrückführung finden sich unter ([www.lfl.bayern.de/iab/duengung/](http://www.lfl.bayern.de/iab/duengung/)).

Abbildung 5 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

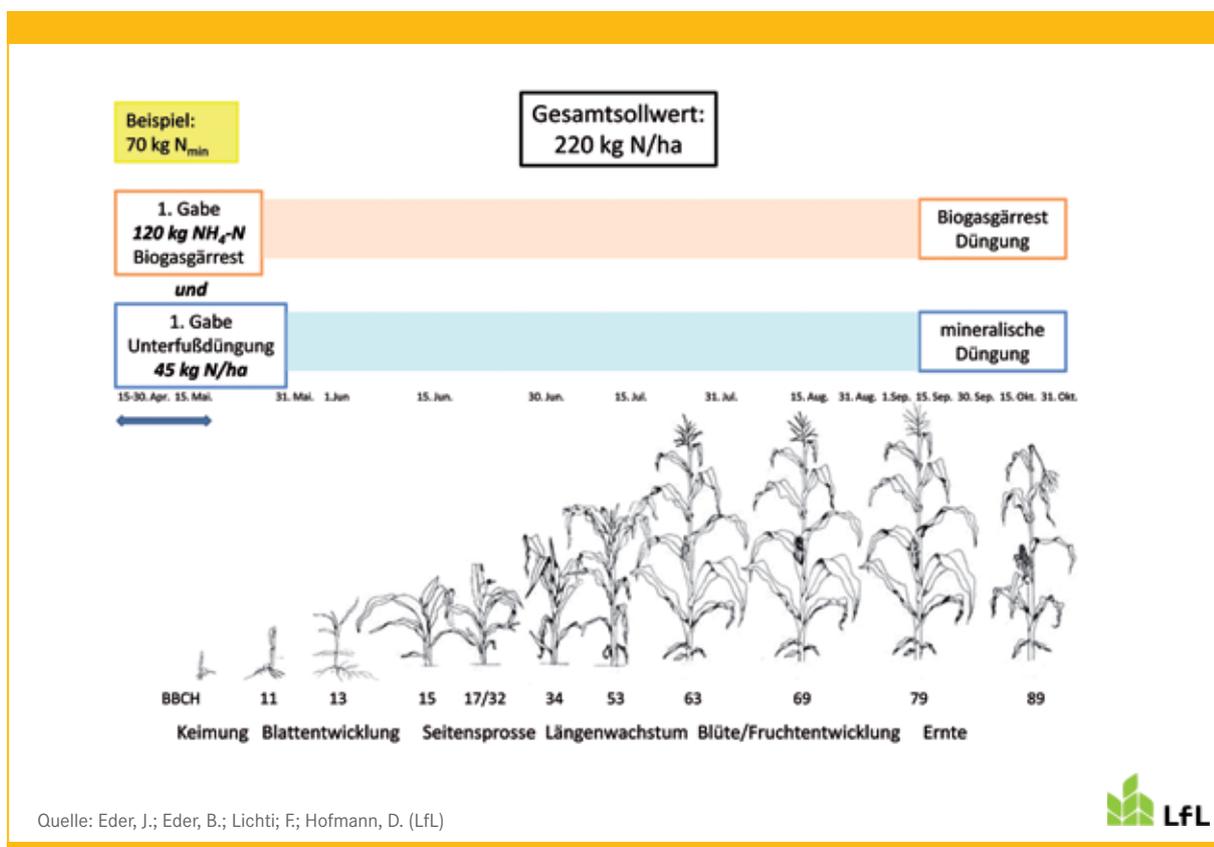


Abb. 5: Beispiel einer Düngeempfehlung mit Gärresten zu Silomais (Einmalgabe)

Fall mit 70 kg N/ha angesetzt) abzuziehen. Zur Berechnung des im Anwendungsjahr zur Verfügung stehenden Stickstoffes werden der gesamte Ammoniumanteil sowie 10 % des org. Stickstoffanteils des Gärrestes herangezogen. Hiervon werden für die Düngeempfehlung 75 % angerechnet. Bei einer Einmalgabe vor der Maissaat können somit 120 kg NH<sub>4</sub>-N über Gärreste ausgebracht werden (sofort einarbeiten!). Für eine gesicherte Jugendentwicklung sollte eine Unterfußdüngung zwischen 30–45 kg N/ha nicht ausbleiben. Da über Gärreste bereits ein großer Teil des Phosphatbedarfes gedeckt ist (Nährstoffuntersuchungen beachten), sollte die Unterfußdüngung auf 30 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha und Jahr beschränkt werden.

Der nach DüV maximal zulässige Nährstoffüberschuss im Durchschnitt der letzten sechs Düngejahre von 20 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha muss zusätzlich beachtet werden.

Auf die Möglichkeit einer Aufteilung der Gabe vor der Maissaat auf zwei Gaben sei in Abbildung 6 hingewiesen. Bei entsprechender Technik können bis zu 40 kg NH<sub>4</sub>-N über Biogasgärreste zwischen 20–50 cm Wuchshöhe ausgebracht werden. Auf eine Unterfußdüngung sollte auch in diesem Fall nicht verzichtet werden. Ebenso kann die zweite Gabe als Mineraldünger verabreicht werden.

### 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 Biogasmais 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 ([www.biogas-forum-bayern.de/publikationen/Bereitung\\_hochwertiger\\_Silage.pdf](http://www.biogas-forum-bayern.de/publikationen/Bereitung_hochwertiger_Silage.pdf))
- **Gewässerschutz verbessern** (Silagesickersaft und Gewässerschutz [www.lfl.bayern.de/publikationen/daten/informationen/p\\_35534.pdf](http://www.lfl.bayern.de/publikationen/daten/informationen/p_35534.pdf))
- **Praxishandbuch Futterkonservierung** – Literaturempfehlung ([www.biogas-forum-bayern.de/publikationen/Praxishandbuch\\_Futterkonservierung\\_uberarbeitet.pdf](http://www.biogas-forum-bayern.de/publikationen/Praxishandbuch_Futterkonservierung_uberarbeitet.pdf))

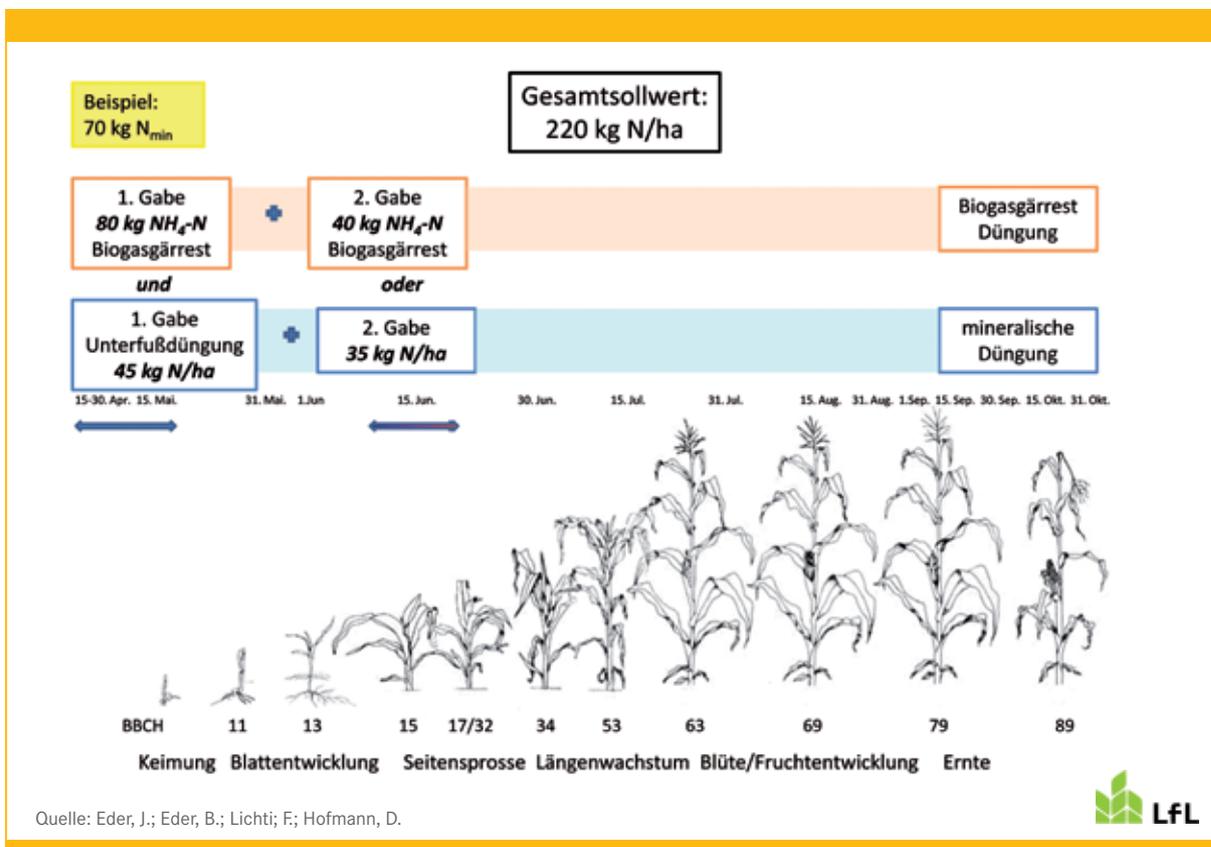


Abb. 6: Beispiel einer Düngeempfehlung mit Gärresten zu Silomais (geteilte Gabe)



### 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 Trockenstoffgehalt von 33 %) und einer Methanausbeute von 350 NI CH<sub>4</sub> (kg oTS)<sup>-1</sup> ergibt sich eine Methanmenge von etwa 7.000 m<sup>3</sup>/ha.

### Eignung zum Zweitfruchtanbau

Mais kann auf Standorten mit ausreichendem Wasserangebot als Zweitfrucht angebaut werden (Ertragsleistung von Energiemais nach Winterzwischenfrüchten, [www.lfl.bayern.de/ipz/pflanzenbau\\_biogas/29705/](http://www.lfl.bayern.de/ipz/pflanzenbau_biogas/29705/)). 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 infrage. Als optimal haben sich hier in Versuchen Sorten mit Reifezahlen von S180-S200 herausgestellt. 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 ([www.biogas-forum-bayern.de/publikationen/Welsches\\_Weidelgras.pdf](http://www.biogas-forum-bayern.de/publikationen/Welsches_Weidelgras.pdf))
- Grünroggen für die Biogasanlage ([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 ([www.biogas-forum-bayern.de/publikationen/Wintergetreide\\_zur\\_Erzeugung\\_2.Auflage.pdf](http://www.biogas-forum-bayern.de/publikationen/Wintergetreide_zur_Erzeugung_2.Auflage.pdf))

### 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 Energiepflanzenanbaus, Schriftenreihe 11, 2008, [www.lfl.bayern.de/iab/kulturlandschaft/33156/index.php](http://www.lfl.bayern.de/iab/kulturlandschaft/33156/index.php)).

Mögliche negative Umweltwirkungen des Silomaisanbaus durch Fehler in der Bewirtschaftung gilt es zu vermeiden. In erosionsgefährdeten Lagen ist die Mulchsaat eine wichtige Vorbeugemaßnahme 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.

*Autoren: Eder, J. (Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung, LfL); Eder, B. (Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung, LfL); Hofmann, D. (Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung, LfL); Lichti, F. (Institut für Agrarökologie, Ökologischen Landbau und Bodenschutz, LfL)*

*Nachdruck mit freundlicher Genehmigung des Biogas Forums Bayern*

## 2.2 Wintergetreide zur Erzeugung von Ganzpflanzensilage

### Allgemeines

In Bayern wird Getreide-Ganzpflanzensilage (GPS) für die Biogaserzeugung auf einer Fläche von rund 20.000 ha angebaut. GPS hat ein deutlich niedrigeres Ertragspotenzial als der Silomais, allerdings lassen sich mit GPS maisbetonte Fruchtfolgen auflockern und vielgliedrige Energiefruchtfolgen gestalten. Der Anbau von GPS ist somit ein Beitrag zur langfristigen Sicherung der Bodenfruchtbarkeit und des Ertragspotenzials.

### Saatbettbereitung, -technik, -termin, -menge, Standortansprüche und Bodenbearbeitung

Hinsichtlich der Standortansprüche, Bodenbearbeitung, Saatbettbereitung und Saatechnik, bestehen keine Unterschiede zwischen Getreide für die GPS-Nutzung bzw. für die Kornnutzung.

### Arten- und Sortenwahl

Bei der Wahl der Getreideart für die GPS-Nutzung und deren Einbindung in die Fruchtfolge sind die Ansprüche an den Saat- und Erntetermin der jeweiligen Art zu berücksichtigen. Einen Überblick über die Saat- und Erntetermine gibt Tabelle 1.

**TABELLE 1: SAATTERMINE UND MITTLERER EINTRITT DER SILOREIFE VON WINTERGETREIDE IN BAYERN**

	Saattermin	Siloreife
Wintergerste	15. Sep.-25. Sep.	29. Mai-15. Juni
Winterroggen	25. Sep.-10. Okt.	08. Juni-25. Juni
Wintertriticale	25. Sep.-10. Okt.	10. Juni-30. Juni
Winterweizen	01. Okt.-20. Okt.	15. Juni-05. Juli

Das Ertragspotenzial der Getreidearten entspricht der Abfolge der Erntereife. So hat die am frühesten räumende Getreideart Wintergerste ein geringeres Ertragspotenzial als Winterroggen (Tab. 2). Die spätreifen Arten Weizen bzw. Triticale haben dagegen das höchste Ertragspotenzial. Grünschnittroggen, der bereits zum Beginn des Ährenschiebens (erste Maiwoche) geerntet wird, bleibt hier unberücksichtigt. Aufgrund seiner hervorragenden Eignung als Vorfrucht vor Silomais wird Grünschnittroggen in einem eigenen Beitrag betrachtet (Grünroggen für die Biogasanlage), eine detaillierte Darstellung findet sich unter [www.lfl.bayern.de/ipz/pflanzenbau\\_biogas/30222/grunroggen\\_substrat.pdf](http://www.lfl.bayern.de/ipz/pflanzenbau_biogas/30222/grunroggen_substrat.pdf).

In einem aktuellen Versuchsvorhaben der LfL wird der GPS-Ertrag von Wintergetreide für unterschiedliche Sorten geprüft. Erste Ergebnisse zeigen, dass innerhalb der jeweiligen Art die sortenbedingten Ertragsunterschiede durchaus 20 dt TM/ha betragen können.



Bei der Sortenwahl ist auf eine gute Standfestigkeit der Sorten zu achten, insbesondere wenn hohe Gärrestgaben eingeplant werden. Lagerndes Getreide führt nicht nur zu Ertragsverlusten und Ernteerschwernissen, nachteilig ist auch der hohe Schmutzeintrag in den Fermenter. Aus diesem Grund ist auch der Einsatz von Wachstumsreglern in der Regel zu empfehlen.

### Platz in der Fruchtfolge

Getreide-GPS eignet sich als Erstfrucht in einem Zweikulturnutzungssystem (ZKNS). Die Besonderheiten dieses Anbauverfahrens sind unter [www.biogas-forum-bayern.de/publikationen/ZKNS.im.Vergleich.zu.herkoemmlichen.Anbauverfahren.pdf](http://www.biogas-forum-bayern.de/publikationen/ZKNS.im.Vergleich.zu.herkoemmlichen.Anbauverfahren.pdf) nachzulesen. Unter bayrischen Anbaubedingungen ist für einen ertragreichen Zweitfruchtanbau eine früh räumende Erstfrucht, also bevorzugt Wintergerste oder Winterroggen, vorzusehen. Nach spät räumender Triticale oder Weizen ist ein Zweitfruchtanbau nicht mehr sinnvoll, da die Zweitfrüchte bei solch späten Saatterminen keinen ausreichend hohen Trockensubstanzgehalt erreichen.

Nach einer spät räumenden Getreide-GPS können auch Zwischenfrüchte angebaut werden. Als Substrat für die Biogasproduktion sind Zwischenfrüchte nicht unproblematisch (z. B. [www.lfl.bayern.de/ipz/pflanzenbau\\_biogas/30222/zwischenfrucht\\_substrat.pdf](http://www.lfl.bayern.de/ipz/pflanzenbau_biogas/30222/zwischenfrucht_substrat.pdf)). Je nach den betrieblichen Gegebenheiten ist zu prüfen, ob der Zwischenfruchtanbau nach Getreide-GPS bewährte Funktionen erfüllen soll (z. B. Bodenpflege, Humusmehrung, Erosionsschutz) oder der Substratproduktion dienen kann.

Weizen und Triticale sind so spätsaatverträglich, dass sie in den meisten Fällen nach Silomais angebaut werden können. Gleichzeitig sind diese beiden Arten deutlich ertragsstärker als Roggen oder Gerste, sodass sich die Kombination aus Wintergetreide-Hauptfrucht nach Silomais als eine robuste Alternative anbietet, die deutlich geringere Ansprüche als das ZKNS stellt.

## Pflege und Pflanzenschutz

Pilzbefall stört nach derzeitigem Kenntnisstand die Methanproduktion nicht. Demzufolge können Krankheiten in einem höheren Maße als bei der Kornnutzung toleriert werden. Hinweise zu praxisüblichen Herbizidanwendungen zur Unkrautkontrolle finden Sie unter [www.lfl.bayern.de/ips/landwirtschaft/06720/index.php?context=/lfl/ips/unkraut/](http://www.lfl.bayern.de/ips/landwirtschaft/06720/index.php?context=/lfl/ips/unkraut/)

## Düngung und Gärrestverwertung

Bei einem Frischmasseertrag von ca. 300 dt/ha werden durch das Erntegut etwa 170 kg N/ha, 70 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha und 140 kg K<sub>2</sub>O/ha entzogen. Die Kali- und Phosphorversorgung ist auf organisch gedüngten Böden meist im ausreichenden Bereich, dennoch sollte auch hier die Bodenversorgungsstufe im Auge behalten werden. Für die Stickstoffdüngung gilt, dass eine frühjahrsbetonte Düngung für die Produktion von GPS vorteilhaft ist, da insbesondere die Förderung des vegetativen Apparates im Vordergrund steht. Um die auszubringende Stickstoffmenge festlegen zu können, sollte auch der N<sub>min</sub>-Gehalt des Bodens berücksichtigt werden. Zu Vegetationsbeginn können über Gärreste bis zu 120 kg NH<sub>4</sub>-N/ha ausgebracht werden. Je nach Ertragserwartung und Bestandsentwicklung kann eine mineralische Ergänzung von 40–60 kg N/ha im 1-Knoten-Stadium nötig sein. Frühe Ausbringungszeitpunkte bei kühler Witterung zu Vegetationsbeginn verringern darüber hinaus gasförmige

Stickstoffverluste bei Gärresten. Dies ist insbesondere wichtig, da der in Gärresten vorhandene Stickstoff zu einem hohen Anteil aus Ammonium besteht, welcher bei höheren Temperaturen verlustgefährdeter ist. Auch bei den frühen Ausbringungsterminen ist eine bodennahe Ausbringung vorzuziehen. Aufgrund der Verwertungsrichtung als GPS und den vorgezogenen Ernteterminen sind N-Spätgaben (3. Gabe) nicht sinnvoll.

Abbildung 7 soll ein Beispiel zur Düngung von Wintertriticale GPS aufzeigen. Hierbei wird von einem Gesamtsollwert von 190 kg N/ha ausgegangen. Davon ist der standortspezifische N<sub>min</sub>-Gehalt (in diesem Fall mit 40 kg N/ha angesetzt) abzuziehen. Je nach zur Verfügung stehenden Gärrestmengen kann sowohl die erste als auch die zweite Gabe durch Biogasgärreste oder mineralische Düngung abgedeckt werden, wobei zur Berechnung des im Anwendungsjahr zur Verfügung stehenden Stickstoffes der gesamte Ammoniumanteil sowie 10% des org. Stickstoffanteils herangezogen werden. Hiervon werden 75% angerechnet.

## Ernte und optimaler Erntetermin

Die Ernte von GPS ist ab einem Trockensubstanzgehalt von 28% möglich, wenn aus dem Stand gehäckselt und siliert werden kann. Unabhängig von der jeweiligen Getreideart ist dieser Wert etwa ab der Milchreife erreicht (Abb. 8).

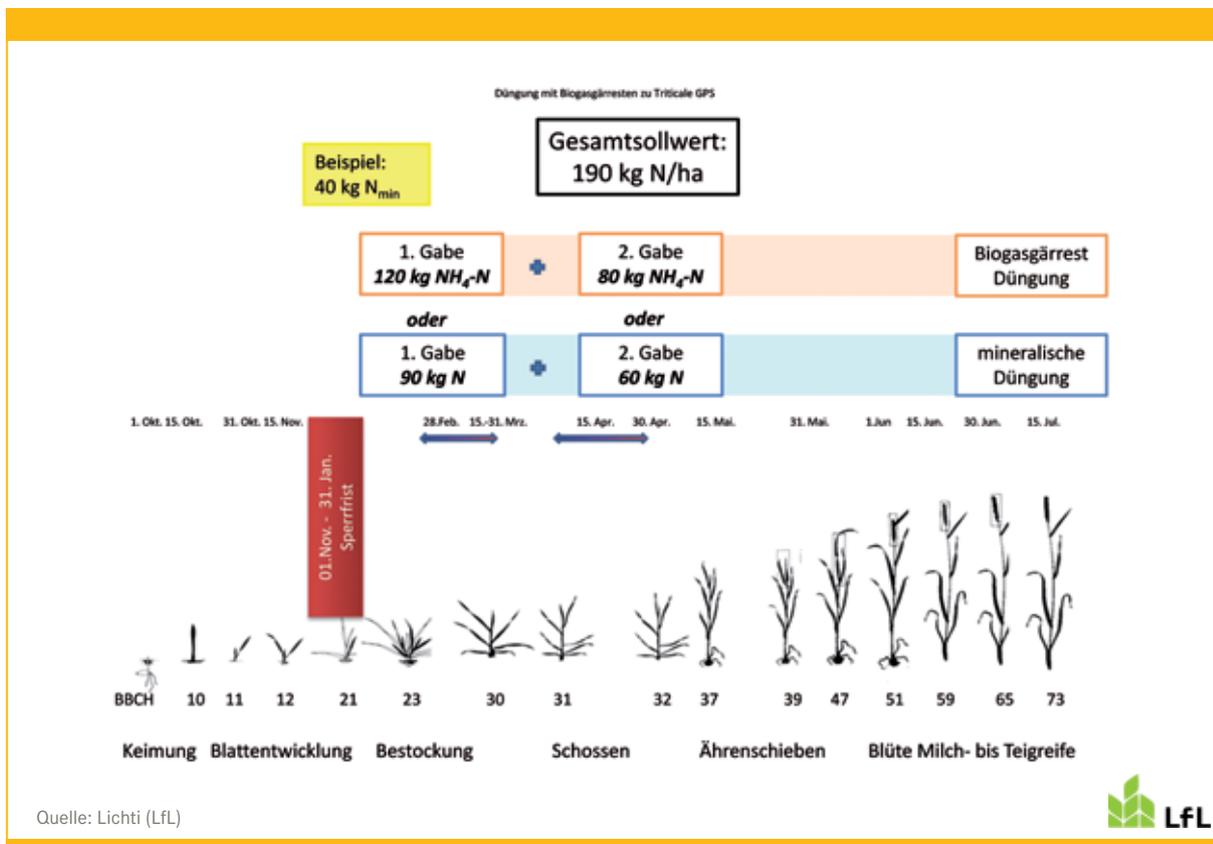


Abb. 7: Beispiel einer Düngeempfehlung zu Wintertriticale Ganzpflanzensilage

Der Korninhalt sollte bei der Nagelprobe noch spritzen, die Pflanzen sind noch grün und beginnen, sich von der Halm-basis her gelb zu verfärben.

TS-Gehalte von weniger als 28 % führen im Silo zu Sickersaftbildung und sind unbedingt zu vermeiden. Der optimale Erntezeitpunkt liegt somit in einem Bereich von 28–33 % TS in der Gesamtpflanze. Insbesondere bei großen Siloanlagen mit einer hohen Stapelhöhe sind die höheren Werte anzustreben. Bei TS-Gehalten der Silage unter 30 % kommt es in sehr hohen Silostapeln durch den hohen Druck zu unerwünschter Sickersaftbildung. Zu hohe Trockensubstanzgehalte (> 40 %) sind nicht zu empfehlen, da der Getreidehalm mehr Lufteinschlüsse enthält als beispielsweise der markgefüllte Stängel der Maispflanze.

Der Zeitraum von Beginn bis Ende Silierreife (28–40 % Trockensubstanz) beträgt etwa zwei bis längstens drei Wochen. Die tägliche Zunahme des Trockensubstanzgehaltes ist bei Triticale und Gerste etwas höher als bei Roggen, sodass Roggen über einen längeren Zeitraum im optimalen Trockensubstanzbereich siliert werden kann. Triticale hat während der Abreife höhere Werte der täglichen Zunahme an Trockenmasse als Gerste oder Roggen, deshalb ist es sinnvoll, bei Triticale einen späteren Erntetermin einzuplanen. Generell sind bei kühler Witterung während der Abreife der tägliche Zuwachs an Trockenmasse-Ertrag und

der Anstieg des Trockensubstanzgehaltes niedriger als bei warmer Witterung.

### Erträge, Qualität des Ernteproduktes, Methanausbeuten

In Tabelle 2 sind die Trockenmasse-Erträge dargestellt, die in einem aktuellen Versuchsvorhaben der LfL bestimmt wurden. Für die absolute Höhe der Werte gilt, dass Parzellenerträge stets durch Randeffekte beeinflusst sind, sodass für den praktischen Anbau rund 20 % abzuziehen sind. Als spezifische Methanausbeute ist in Tabelle 2 sowohl ein berechneter Wert als auch ein experimentell bestimmter Wert angegeben. Dabei basiert die Berechnung der Methanausbeute auf einem Tabellenwerk, in dem durchschnittliche Nährstoffgehalte (Eiweiß, Fett, Kohlenhydrate) und Verdauungsquotienten zugrunde gelegt werden ([www.lfl.bayern.de/ilb/technik/10225](http://www.lfl.bayern.de/ilb/technik/10225)). Die Laborwerte wurden nach der bei HEUWINKEL ET AL. (2009) beschriebenen Methode bestimmt.

Die aus Tabellenwerten bestimmten spezifischen Methanausbeuten differenzieren nicht zwischen den Getreidearten (Tab. 2). Dagegen zeigen die im Labor ermittelten Werte einen leichten Nachteil für den Winterroggen und einen leichten Vorteil für Wintergerste und Winterweizen. Zukünftige Untersuchungen müssen klären, ob diese Beobachtung tatsächlich unterschiedliche Arteeigenschaften

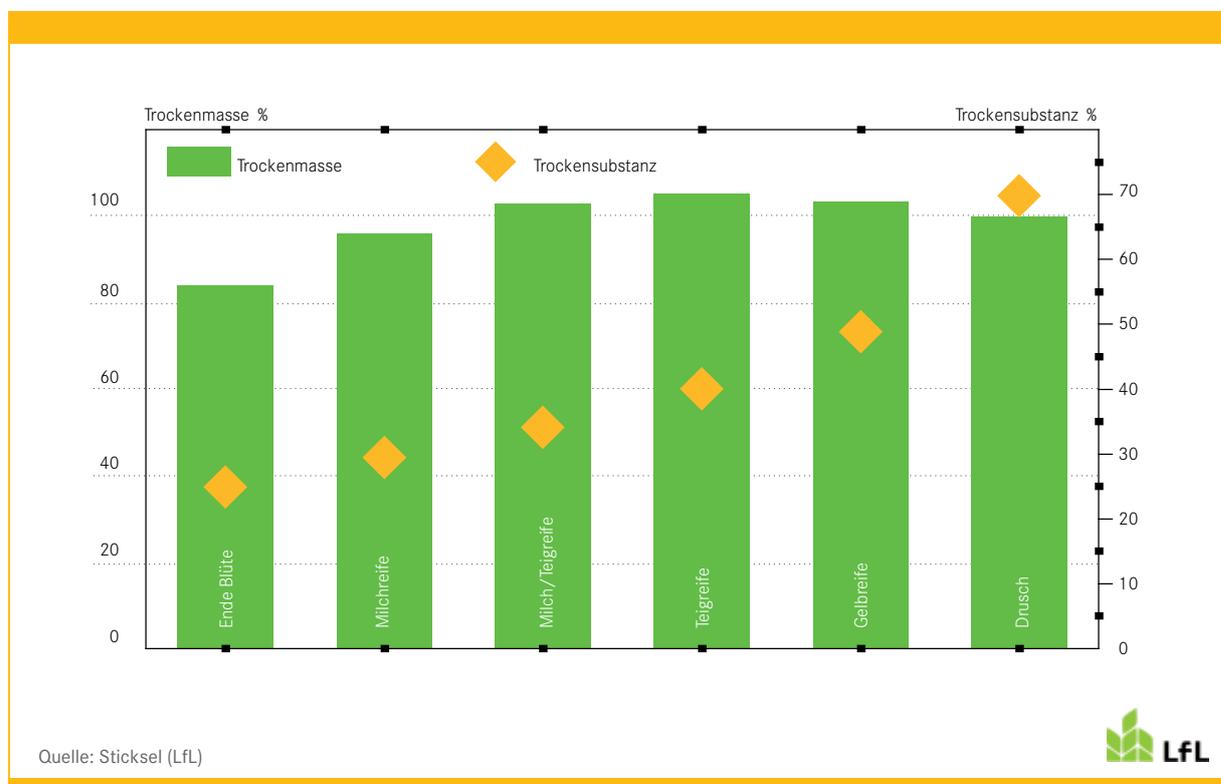


Abb. 8: Schematischer Verlauf der Trockenmassebildung und des Trockensubstanzgehaltes von Getreide (Trockenmasse-Ertrag zur Druschreife = 100 %)



bezüglich der Methanausbeute widerspiegelt oder methodisch (Probenahme und -aufbereitung, Jahrgangs- und Ortseffekte, Laborfehler) bedingt ist. Bis eine abschließende Bewertung der artspezifischen Methanausbeute vorgenommen werden kann, ist davon auszugehen, dass bei Getreide-GPS als Biogassubstrat der Methanertrag je Hektar vom Trockenmasse-Ertrag je Hektar abhängt. Um den Methanertrag je Hektar zu steigern, sind deshalb die produktionstechnischen Maßnahmen auf die Ausschöpfung des art- und sortenspezifischen Ertragspotenziales auszurichten.

### Ökologische Aspekte

Der Anbau von Wintergetreide hat günstige Effekte in einer Biogasfruchtfolge. Dabei ist an erster Stelle die Auflockerung maisbetonter Anbaufolgen zu nennen. Bei der Bekämpfung von Fruchtfolgeschädlingen wie dem Maiswurzelbohrer sind Anbaupausen das wirksamste Mittel. Auch die Bodenbedeckung im Winterhalbjahr und die zeitig im Frühjahr einsetzende Nährstoffaufnahme bringen hinsichtlich der Verminderung der Nährstoffauswaschung und der pflanzenbaulich sinnvollen Ausbringung des organischen Düngers Vorteile gegenüber dem Mais. Zudem stellt sich der kulturarten- und bewirtschaftungsbedingte Bodenabtrag in getreidereichen Fruchtfolgen günstiger dar als in maisbetonten Fruchtfolgen. Bei GPS-Nutzung können Krankheiten und Schädlinge in einem höheren Maße toleriert werden, als dies beim Drusch der Fall ist. Daraus

ergibt sich beim Pflanzenschutzmitteleinsatz ein Einsparpotenzial gegenüber der herkömmlichen Kornnutzung.

Mit dem Anbau von Getreide-GPS können allerdings auch Nachteile verbunden sein. Bei der GPS-Nutzung ist das Produktionsziel silierfähige Biomasse. Das Erntegut besteht aus Korn plus Stroh und hat einen höheren Wassergehalt als bei der Druschreife, sodass bei der GPS-Ernte deutlich mehr Masse anfällt als beim Mähdrusch (ca. Faktor 5). Damit erhöht sich das Risiko von Schadverdichtungen. Außerdem ist der Erntetermin gegenüber dem Drusch vorverlegt. Da im Mai und Juni aber viele Tierarten der Agrarlandschaft ihre Hauptbrut- und Aufzuchtzeit haben, besteht die Gefahr von Störungen und Verlusten.

### Literatur

**Heuwinkel, H.; Aschmann, A.; Gerlach, R. und Gronauer, A. (2009):** Die Genauigkeit der Messung des Gasertragspotenzials von Substraten mit der Batchmethode.

**Lfl Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (Hrsg.):** Internationale Wissenschaftstagung Biogas Science 2009, Erding; Band 1. Lfl-Schriftenreihe 15/2009: 95-103.

*Autoren: Stickse, E. (Lfl-AVB VB); Lichti, F. (Institut für Agrarökologie, Ökologischen Landbau und Bodenschutz, Lfl)*

*Nachdruck mit freundlicher Genehmigung des Biogas Forums Bayern*

**TABELLE 2: ERTRÄGE, SPEZIFISCHE METHANAUSBEUTEN UND EXPERIMENTELL BESTIMMTE METHANERTRÄGE VON WINTERGETREIDE-GPS**

Trockenmasse-Ertrag (dt/ha) <sup>1</sup>		spez. Methanausbeute NI CH <sub>4</sub> /kg oTM		Methanertrag m <sup>3</sup> CH <sub>4</sub> /ha
		experimentell	Tabellenwert <sup>4</sup>	experimentell
Wintergerste	105-125	395 (27) <sup>3</sup>	260-280	4.100-4.500
Winterroggen	125-140	355 (28)		4.500
Wintertriticale	140-165	365 (27)		5.000-5.600
Winterweizen <sup>2</sup>	140-165	385 (27)		n. b.

<sup>1</sup> Parzellerträge sind um 20 % höher als Praxiserträge

<sup>2</sup> Trockenmasse-Erträge Winterweizen geschätzt

<sup>3</sup> Stichprobenumfang in Klammern; Methodenbeschreibung siehe Heuwinkel et al. 2009

<sup>4</sup> [www.lfl.bayern.de/ilb/technik/10225](http://www.lfl.bayern.de/ilb/technik/10225)

## 2.3 Grünroggen

### Allgemeines

Als Grünroggen oder Grünschnittroggen werden Winterroggensorten (*Secale cereale*) bezeichnet, die sich besonders für den Winterzwischenfruchtanbau eignen. Grünroggen unterscheidet sich von herkömmlichen Roggensorten durch ein früher einsetzendes Massenwachstum, eine größere Wuchslänge, geringere Standfestigkeit und einen niedrigeren Kornertrag. Er ist die unter unseren Anbaubedingungen am frühesten räumende Winterzwischenfrucht. Ausführliche Anbau- und Nutzungsempfehlungen sind unter [www.lfl.bayern.de/ipz/pflanzenbau\\_biogas/30222/index.php](http://www.lfl.bayern.de/ipz/pflanzenbau_biogas/30222/index.php) dargestellt.

### Standortansprüche

Bezüglich der Anspruchslosigkeit und Winterhärte ist Grünroggen dem herkömmlichen Roggen gleichzusetzen. Lediglich sehr kalte und schneereiche Lagen mit einer langen Winterruhe scheiden aus. Nach Beendigung der Vegetationspause benötigt der Winterroggen im Mittel eine Wachstumszeit von 50 bis 60 Tagen bis zum Ährenschieben.

### Saatbettbereitung, -technik

#### Bodenbearbeitung und Reihenweite

Das Saatbett muss gut abgesetzt und in der obersten Schicht locker und feinkrümlig sein. Aufgrund der flachen Lage des Bestockungsknotens von Roggen sollte eine Saattiefe von 2–3 cm nicht überschritten werden. Die Saat erfolgt mit der getreideüblichen Drillsaat bei Reihenabständen von 10–15 cm.

### Saattermin und -stärke

Der optimale Saattermin liegt in der dritten Septemberdekade. 2–5 Seitentriebe sind die Voraussetzung für ausreichende Winterhärte und bilden die Grundlage für eine hohe Bestandesdichte und Massenbildung. Bei Saaten ab Mitte Oktober werden nicht mehr genügend Seitentriebe gebildet, was eindeutig auf Kosten des Ertrages geht.

Bei einem optimalen Saattermin Mitte/Ende September beträgt die Saatstärke 350–400 keimfähige Körner/m<sup>2</sup>. Bei Fröhsaaten oder hohem N-Angebot kann die Saatstärke auf 300 Körner/m<sup>2</sup> reduziert werden.

### Sortenwahl und Saatgut

Derzeit sind in der Beschreibenden Sortenliste acht für die Grünnutzung bestimmte Winterroggensorten eingetragen (Beschreibende Sortenliste 2011). Zwischen den Sorten lassen sich keine Unterschiede hinsichtlich der Methan- ausbeute feststellen. Um Substrat für die Biogasanlage zu erzeugen, ist deshalb nur die Höhe des Trockenmasse-Ertrages ausschlaggebend. Für die reibungslose Ernte und eine geringe Verschmutzung des Erntegutes ist auf eine gute Standfestigkeit zu achten.



### Platz in der Fruchtfolge,

#### Eignung als Erstkultur im Zweikulturnutzungssystem

Aufgrund des Saattermins Mitte bis Ende September kommen als Vorfrüchte alle Kulturen in Frage, die bis dahin das Feld räumen.

Wegen der frühen Ernte des Grünroggens (Anfang Mai) können noch ertragreiche Haupt- oder Zweitfrüchte angebaut werden. Allerdings muss über eine ausreichende Niederschlagsmenge (> 700 mm Jahresniederschlag) und eine hohe Wasserspeicherkapazität des Bodens die Wasserversorgung der Nachfrucht sichergestellt sein. Die Grünroggenvornutzung führt generell zu Ertragseinbußen. So erreicht Silomais nach Grünroggen im Mittel nur noch 80 % des Ertrages gegenüber Mais in Hauptfruchtstellung. Neben Mais sind Sonnenblumen und Hirsen weitere mögliche Nachfrüchte in einer Biogasfruchtfolge. Gerade Hirsen eignen sich gut, da diese aufgrund ihrer hohen Keimtemperatur nicht vor Mitte Mai gesät werden dürfen und deshalb durch die Vornutzung des Grünroggens keiner Saatverzögerung unterliegen.

### Pflege und Pflanzenschutz

Aufgrund der hohen Bestandesdichte und des früh einsetzenden Längenwachstums hat Grünroggen eine hohe Konkurrenzskraft gegenüber einer normalen Mischverunkrautung. Deshalb ist ein Herbizideinsatz in aller Regel nicht nötig. Wenn bei Bedarf eine Nachauflaufbehandlung durchgeführt werden muss, sind Breitbandherbizide, die auch im herkömmlichen Roggenanbau empfohlen werden, ausreichend. Eine Herbizidbehandlung im Frühjahr ist aufgrund der frühen Nutzung und zur Vermeidung von Wirkstoffbelastungen für die Folgekultur im Normalfall nicht sinnvoll. Da Grünroggen geerntet wird, bevor die meisten Unkräuter aussamen, kann ein höherer Unkrautbesatz als bei der Kornnutzung toleriert werden. Fungizideinsatz ist nicht nötig.



Grünroggenernte

Der Einsatz von Wachstumsreglern ist bei Bedarf vorzusehen, insbesondere auf Standorten mit hoher organischer Düngung, bei Vorfrüchten mit einer positiven N-Bilanz und nach sehr milden, wüchsigen Wintern. Unter diesen Bedingungen können im BBCH-Stadium 31/32 (1 bis 2-Knoten-Stadium) 1,0–1,5 l/ha CCC oder 0,3 l/ha Modus ausgebracht werden.

### Düngung

Eine Stickstoffdüngung im Herbst ist in aller Regel nicht nötig, da die N-Aufnahme vor Winter gering ist. Der Rest- $N_{\min}$ -Gehalt bzw. die herbstliche N-Mineralisierung reicht meist zur Deckung des Bedarfs aus. Wenn erforderlich, ist die Ausbringung von organischen Düngern möglich, dabei dürfen maximal 40 kg N/ha Ammoniumstickstoff bzw. maximal 80 kg N/ha als Gesamtstickstoff ausgebracht werden.

Ganz wichtig für die Ertragsbildung des Winterroggens ist die frühzeitige Andüngung zu Vegetationsbeginn, damit in der kurzen Vegetationszeit von 50 bis 60 Tagen genügend Biomasse aufgebaut wird. Es gilt, die Bestockung zu fördern bzw. die Reduktion von Seitentrieben abzuschwächen und möglichst viel Blatt- und Stängelmasse zu bilden. Dazu ist frühzeitig eine N-Gabe von 40–80 kg N/ha auszubringen. Auch Gärrestgaben von 40–80 kg  $NH_4$ -N/ha werden gut verwertet. Bei der organischen Düngung ist unbedingt auf eine verlustfreie Ausbringung und exakte Längs- und Querverteilung bei möglichst guter Bodenschonung zu achten. Höhere Gaben als 80 kg N/ha sind nicht zu empfehlen, da bei überzogener N-Versorgung mit Lager zu rechnen ist.

Die Entzüge an den Grundnährstoffen P bzw. K können über den Ertrag und die mittleren Nährstoffgehalte abgeschätzt werden ( $P_2O_5$ : 0,11 kg je dt Frischmasse;  $K_2O$ : 0,45 kg je dt Frischmasse).

### Ernte, Ernteverfahren, -termin

Grünschnittroggen wird Mitte des Ährenschiebens (BBCH 55) geerntet. In diesem Stadium beträgt der Trockensubstanzgehalt rund 16 %. Die Sorten unterscheiden sich in diesem Stadium bezüglich des Trockensubstanzgehaltes nicht. Für die Silierung ist das Erntegut auf 28 %, bei Lagerung in hohen Silostapeln besser auf 30 % anzuwelken. Eventuell anfallender Sickersaft ist unbedingt aufzufangen. In der Praxis erfolgt der Schnitt mit einem Mähauflbereiter und Ablage in einem Schwad. Nach einem Tag kann das Erntegut mit dem Pick-Up-Vorsatz aufgenommen, gehäckselt und dann einsiliert werden.

### Erträge, Qualität des Ernteprodukts, Methanausbeute

Das Ertragspotenzial von Grünroggen beträgt 50–80 dt/ha Trockenmasse. Die Sortenunterschiede sind dabei weniger entscheidend als Witterung und Standort.

In der Zusammensetzung der Inhaltsstoffe ähnelt der Grünroggen stark der von Getreide-Ganzpflanzensilage, die ab der Milchreife/frühen Teigreife geerntet wird. Es deutet sich an, dass Grünroggen etwas mehr Rohprotein enthält und aufgrund der frühen Ernte weniger stark lignifiziert ist als GPS. Nachteilig ist, dass Grünroggen nicht aus dem Stand gehäckselt werden kann. Dies macht sich in einem etwas höheren Aschegehalt bemerkbar (10–12 %), sodass mit Grünroggen geringfügig mehr Schmutz und Sand in den Fermenter eingetragen wird.

Nach Labormessungen und Berechnungen ist bei der Vergärung von Grünroggen eine Methanausbeute von 300–350 Liter  $CH_4$ /kg organische Trockenmasse zu erwarten. Unter der Annahme eines mittleren Wertes der Methanausbeute von Grünroggensilage von 330 l  $CH_4$ /kg oTM und eines Trockenmasse-Ertrages unter Praxisbedingungen von rund 60 dt/ha ergibt sich ein Methanertrag je Hektar von gut 1.700 m<sup>3</sup>.



Grünroggen kann auch in der Rinderfütterung eingesetzt werden.

Empfehlungen zum Einsatz von Ganzpflanzensilage finden sich unter [www.lfl.bayern.de/ite/rind/28824/lin\\_kurl\\_0\\_19.pdf](http://www.lfl.bayern.de/ite/rind/28824/lin_kurl_0_19.pdf).

Anhaltswerte für den Energiegehalt sind 6,1 MJ NEL bzw. 10,5 MJ ME je kg Trockenmasse [...] (Gruber Futterwert-tabelle, [www.lfl.bayern.de/ite/rind/09369/index.php](http://www.lfl.bayern.de/ite/rind/09369/index.php)).

Im Gegensatz zur Biogasproduktion ist in der Rinderfütterung unbedingt eine hohe Silagequalität sicherzustellen. Dazu sind kurze Häcksellängen (0,6–0,8 cm) einzuhalten, das Silo muss schnell befüllt und ausreichend verdichtet werden.

### Ökologische Aspekte

Der Anbau von Grünroggen ist unter ökologischen Aspekten vorteilhaft. Die Nährstoffaufnahme vor der Winterruhe sowie die frühe einsetzende und hohe Nährstoffaufnahme zu Vegetationsbeginn wirken der Nährstoffauswaschung entgegen. Gleichzeitig erleichtert dies die pflanzenbau-

lich sinnvolle und umweltschonende Ausbringung von Gärrest. Die Bodenbedeckung vermindert darüber hinaus die Erosionsgefahr ganz erheblich. Gerade in Wintern mit starkem Bodenfrost ist dies in hängigem Gelände immer wieder zu beobachten. Der geringe Pflanzenschutzmitteleinsatz ist ebenfalls positiv hervorzuheben. In Fruchtfolgen mit Mais wird die winterliche Brachezeit verkürzt. Dadurch kann auf günstigen Standorten in der Anbaufolge Mais nach Grünroggen insgesamt mehr Biomasse und damit Methan erzeugt werden als mit alleinigem Maisanbau. Somit werden die Ressourcen Strahlung und Wasser effizienter genutzt.

Als problematisch im Hinblick auf die Auswirkungen auf bestimmte Tierarten wird beim Anbau von Grünroggen der frühe Erntezeitpunkt im Mai gesehen. Die Ernte fällt somit exakt in die Brut- und Nestlingszeit fast aller bodenbrütender Vogelarten (z. B. Feldlerche, Schafstelze, Rebhuhn). Eine Ernte zu diesem Zeitpunkt führt zum Verlust sämtlicher Nester und Jungvögel auf diesen Flächen. Ebenso können weitere Tierarten wie Feldhase und Reh betroffen sein, da sie zu dieser Zeit mit ihren Jungen Deckung im hohen Getreide suchen.

Beim Anbau von Grünroggen sollte geprüft werden, ob bodenbrütende Vogelarten in der Flur vorkommen. Gegebenenfalls sollten Maßnahmen zum Schutz der Neststandorte bzw. Ausweichstandorte angeboten werden. Hierbei können die UNB (Untere Naturschutzbehörden) an den Landratsämtern, die Ämter für Landwirtschaft und der Landesbund für Vogelschutz (LBV) behilflich sein.

### Literatur

#### Beschreibende Sortenliste (Hrsg.):

Bundessortenamt Hannover.

*Autoren: Stickse, E. (Abteilung Versuchsbetriebe - Versuchswesen, Biometrie, LfL); Salzeder, G. (Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung, LfL); Eder, J. (Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung, LfL); Aigner, A. (Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung, LfL)*

*Nachdruck mit freundlicher Genehmigung des Biogas Forums Bayern*

## 2.4 Wickroggen

### Allgemeines

Der Mischfruchtanbau von Getreide und Leguminosen hat eine lange Tradition. Eine bekannte Variante ist Wickroggen, ein Gemenge aus Winterroggen (*Secale cereale*) und Zottelwicke (*Vicia villosa*). Früher wurde dieses Gemenge überwiegend als Winterzwischenfrucht angebaut und grün verfüttert. Heute wird es in der ökologischen Landwirtschaft wegen seiner guten Unkrautunterdrückung geschätzt. Mit der Biogasproduktion bietet sich eine neue Nutzungsmöglichkeit für dieses Gemenge an. Dabei können durch einen Mischfruchtanbau von Ganzpflanzengetreide mit Leguminosen mehrere Ziele erreicht werden:

- Erhöhung der Biodiversität
- reichhaltiges Angebot an Nektar und Pollen für Insekten
- Flexibilisierung des Erntefensters
- Reduktion des Pflanzenschutzmitteleinsatzes durch verbesserte Unkrautunterdrückung
- Erhaltung der Bodenfruchtbarkeit durch gute Humuswirkung der Leguminosen
- Optimierung der Klimabilanz durch Einsparung von mineralischem N-Dünger

Im Vergleich zu einer Reinsaat von Ganzpflanzengetreide muss jedoch mit Mindererträgen von etwa 10 % gerechnet werden.

### Standortansprüche, Bodenbearbeitung und Saatbettbereitung

Wickroggen ist für alle Lagen insbesondere der leichten Standorte geeignet. Klimatisch sind beide Mischungspartner anspruchslos und weisen eine gute Winterhärte auf. Die Bodenbearbeitung und die Saatbettbereitung erfolgt wie zur Roggensaat für die Körnernutzung.

### Saattermin, -gut, -technik, -stärke und Reihenweite

Wickroggen kann ab Ende August bis spätestens 20. September gesät werden. Die Saatstärke bei Winterroggen sollte auf etwa 200 keimfähige Körner/m<sup>2</sup> reduziert werden. Die Saatstärke der Zottelwicke richtet sich nach der Zielsetzung. Wird auf die gute Unkrautunterdrückung und die Stickstofffixierung der Zottelwicke Wert gelegt, sollten mindestens 40 kg/ha gesät werden. Liegt der Fokus des Gemengeanbaus aber auf dem Blühaspekt, genügen auch 10 bis 20 kg/ha. Diese geringeren Saatstärken sind auch aus Kostengründen und zur Vermeidung von Ernterschwernissen zu empfehlen. Das Saatgut der beiden Arten wird gemischt und in einem Arbeitsgang gedreht. Die Ablagetiefe sollte etwa 2 bis 3 cm bei einer Reihenweite von 12 bis 15 cm betragen. Auf guten Bodenschluss ist zu achten.

### Sortenwahl

Bei der Wahl der Winterroggensorte (kein Grünroggen) ist auf Standfestigkeit zu achten, da die Zottelwicke den Rog-



gen nach dessen Blüte überwächst und der Bestand dann bei Starkniederschlägen stärker zur Lagerbildung neigt. Bei der Zottelwicke ist nur eine Sorte (Dr. B. Ostsaat) in Deutschland zugelassen.

### Platz in der Fruchtfolge

Wickroggen ist gut geeignet als frühe Herbstsaat nach dem Mähdrusch von Getreide oder Raps. Auch nach einer frühen Silomaisernte (bei Wahl von Sorten mit niedriger Siloreifezahl) kann Wickroggen noch angebaut werden.

Die Ernte des Wickroggens als GPS ist ab Anfang Juni möglich, sodass danach noch Mais oder Sorghum der frühen Reifegruppe als Zweitfrucht angebaut werden können. Optimale Trockensubstanzgehalte von 35 % und eine maximale Biomasseproduktion erreicht Wickroggen jedoch erst Mitte bis Ende Juni. Als Nachfrucht kommen dann nur Sommerzwischenfrüchte infrage.

### Pflege und Pflanzenschutz

Wickroggen weist eine sehr gute Unkrautunterdrückung auf, sodass eine Herbizidmaßnahme im Allgemeinen nicht nötig ist. Wenn auf einen Herbizideinsatz nicht verzichtet werden kann, z. B. auf Standorten mit hohem Aufkommen von problematischen Unkrautarten wie Ackerfuchschwanz, sollte kein Wickroggen angebaut werden. Denn für den Gemengebau von Winterroggen und Zottelwicke sind keine Herbizide zugelassen und es gibt auch keine Präparate, die in beiden Kulturen verträglich sind. Ebenso gibt es keine Zulassung für Wachstumsregler in Wickroggen.

### Düngung und Gärrestverwertung

Bei einem Trockenmasse-Ertrag von etwa 110 dt/ha (entspricht einem Frischmasse-Ertrag von 315 dt/ha bei einem TS-Gehalt von 35 %) werden dem Boden 160 kg N/ha, 80 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha und 220 kg K<sub>2</sub>O/ha entzogen. Abhängig von dem Wickenanteil am Aufwuchs kann eine N-Fixierung von 20 bis maximal 60 kg N/ha angesetzt werden. Damit

kann die N-Düngung zu Wickroggen im Vergleich zum reinen Winterroggen-GPS etwas niedriger bemessen werden. Zu Vegetationsbeginn wird eine erste N-Gabe von 100 kg N/ha abzüglich  $N_{\min}$  empfohlen. Bei der zweiten N-Düngung zum Schossbeginn sind 40 kg N/ha ausreichend, solange der Wickenanteil größer als 5 % ist. Bei einem geringeren Anteil richtet sich die N-Düngung nach den Empfehlungen für Winterroggen-GPS. Die N-Düngung kann über Gärreste erfolgen, dabei ist jedoch auf eine bodennahe Ausbringtechnik und kühle Witterungsbedingungen zu achten, um gasförmige Verluste zu minimieren.

Die Phosphor- und Kalientzüge sind über die Fruchtfolge auszugleichen. Bei einer Rückführung der Gärreste auf die Fläche liegen bei diesen Nährstoffen jedoch im Allgemeinen geschlossene Stoffkreisläufe vor, sodass hier keine Ergänzungsdüngung notwendig ist.

### Ernte und optimaler Erntetermin

Der optimale Erntetermin liegt Mitte bis Ende Juni, wenn der Bestand Trockensubstanzgehalte von etwa 35 % erreicht. Bei TS-Gehalten über 35 % wirkt sich die zunehmende Verholzung negativ auf die Silierfähigkeit und die Methanausbeute aus. Dabei können die Erntearbeiten im Vergleich zu einem reinen Getreide-GPS etwas flexibler terminiert werden, da die Zottelwicke mit ihrer verzögerten Abreife das Erntefenster verlängert. Ein Aussamen der Zottelwicke sollte aber auf alle Fälle vermieden werden, da die Samen über 10 Jahre im Boden keimfähig bleiben.

Das Wickroggen-Gemenge, kann, ähnlich wie GPS-Getreide, mit einem reihenunabhängigen Maisgebiss oder einem Scheibenmäherwerk gehäckselt werden. Bei dichten Beständen kann ein Seitentrennmesser das Wickeln des Erntematerials verhindern.

### Erträge, Qualität und Zusammensetzung des Ernteprodukts, Methanausbeute

Die Versuchserträge des Wickroggens lagen im Mittel etwa 10 % unter den Erträgen von reinen Roggenbeständen, wobei bei Wickroggen die Stickstoffdüngung jeweils um 20 kg N/ha verringert war (Abb. 9). In der landwirtschaftlichen Praxis können bei einem Abschlag von 20 % im Mittel Erträge von 110 dt TM/ha erwartet werden. Je nach Witterungs- und Standortbedingungen sind jedoch Mehr- oder Mindererträge von etwa 20 dt TM/ha möglich.

Die Silierfähigkeit von Wickroggen ist als gut bis mittel einzustufen. Aufgrund der geringen Nitratgehalte von Ganzpflanzengetreide und Leguminosen besteht die Gefahr von Buttersäurebildung, die zum vollständigen Verderb der Silage führen kann. Siliermittel auf Basis von homofermentativen Milchsäurebakterien (Wirkungsrichtung 1c), welche die pH-Wert-Absenkung beschleunigen, können dem entgegenwirken und einen optimalen Gärverlauf fördern. Um die aerobe Stabilität der Silagen zu verbessern, wird ein Einsatz von Siliermitteln der Wirkungsrichtung 2 empfohlen (HERTWIG ET AL., 2006).

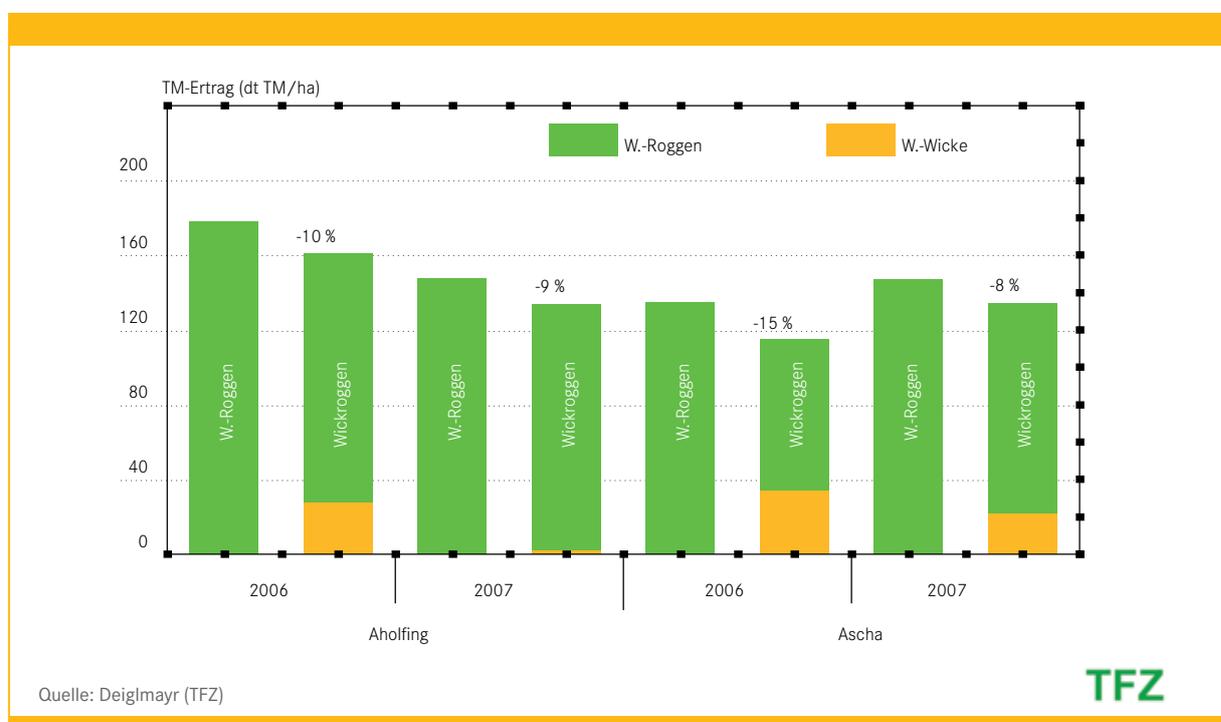


Abb. 9: Vergleich der Erträge von Winterroggen- und Wickroggen-GPS in Aholfing (Donauaue bei Straubing) und Ascha (Vorderer Bayerischer Wald)

Die Methanausbeute von Wickroggensilage unterscheidet sich nach derzeitigem Erkenntnisstand nicht von Winterroggen-GPS. Nach den aktuellen KTBL-Richtwerten für Getreide-GPS liegen die Gasausbeuten in landwirtschaftlichen Biogasanlagen bei 330 NI/kg oTM (AMON ET AL., 2010). Bei Trockenmasse-Erträgen von 110 dt TM/ha und Rohaschegehalten von etwa 6 % lassen sich daraus Methanerträge von im Mittel 3.400 m<sup>3</sup> CH<sub>4</sub>/ha errechnen.

### Eignung zur Zweikulturnutzung

Prinzipiell ist Wickroggen als Erstfrucht in einem Zweikulturnutzungs-System mit nachfolgend angebautem Mais oder Sorghum geeignet. Die Ernte muss dann aber schon Anfang Juni vor der maximalen Biomassebildung erfolgen. Die Vorzüge des Wickroggenanbaus wie Blütenangebot, Unkrautunterdrückung, Flexibilisierung des Erntetermins und N-Fixierung kommen dabei nur eingeschränkt zum Tragen.

### Ökologische Aspekte

Wickroggen bietet eine gute Option, maisbetonte Fruchtfolgen ökologisch aufzuwerten. Dabei sind neben den positiven Effekten von Ganzpflanzengetreide wie Minimierung der Nitratverlagerung über Winter, verbesserter Erosionsschutz und Einsparpotenzial beim Pflanzenschutzmitteleinsatz weitere Faktoren von Bedeutung. An erster Stelle steht dabei das Blütenangebot der Zottelwicke, das ab Mitte Mai bis zur Ernte für eine gute Futterquelle für Bienen, Hummeln und andere Insekten sorgt und damit auch die Nahrungssituation von Feldvögeln verbessert. Die Zottelwicke weist auch wie alle Leguminosen eine gute Humuswirkung auf und kann damit dazu beitragen, die Bodenfruchtbarkeit langfristig zu erhalten. Insbesondere bei höheren Wickenanteilen (> 5 %) im Bestand wird über die biologische Stickstofffixierung durch Knöllchen-

bakterien Luftstickstoff im Pflanzenaufwuchs gebunden und damit in den Nährstoffkreislauf der Energiepflanzenproduktion gebracht. Dadurch kann die mineralische Ergänzungsdüngung reduziert werden und die Klimabilanz der Energiepflanzenproduktion optimiert werden.

Wie bei der Getreide-Ganzpflanzenproduktion ist auch beim Wickroggen die Störung der Brut von Feldvögeln durch einen frühen Erntetermin negativ zu bewerten. Ein später Erntetermin ab Mitte Juni kann jedoch hierbei zu deutlichen Verbesserungen führen.

### Literatur

**Hertwig, F.; Honig, H.; Hünting, K.; Jänicke, H.; Kaiser, E.; Kalzendorf, C.; Matthias, J.; Nußbaum, H.; Pahlow, G.; Pries, M.; Raue, F.; Richter, W.; Sacher, M.; Sommer, M.; Spiekers, H.; Staudacher, W.; Steinhöfel, O.; Thaysen, J.; Wagner, A. (2006):** Praxishandbuch Futterkonservierung. Silagebereitung, Siliermittel, Dosiermittel, Silofolien. 7. Aufl. Frankfurt am Main: DLG-Verlag, 353 Seiten, ISBN 3-7690-0677-1.

**Amon, T.; Bauer, A.; Bischoff, M.; Clemens, J.; Heuwinkel, H.; Keymer, U.; Meißbauer, G.; Oechsner, H., Reinhold, G.; Schelle, H.; Weiland, P.; Welsch, W.; Zerr, W. (2010):** Gasausbeute in landwirtschaftlichen Biogasanlagen. KTBL-Heft, Nr. 88. 2., überarb. Aufl., Darmstadt: Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e. V., 36 Seiten, ISBN 978-3-941583-42-9.

*Autoren: Fritz, M. (Technologie- und Förderzentrum); Deiglmayr, K. (Technologie- und Förderzentrum)*

*Nachdruck mit freundlicher Genehmigung des Biogas Forums Bayern*





## 2.5 Sorghum

### Allgemeines

Aufgrund seiner Herkunft aus den nordöstlichen Savannen-gebieten Afrikas ist Sorghum trocken tolerant und stellt unter veränderten Klimabedingungen mit häufiger auftretenden sommerlichen Dürreperioden auch in unseren Breiten eine Ergänzung zu Mais dar. Allerdings besitzt Sorghum einen deutlich höheren Wärmeanspruch als dieser.

Weltweit wird Sorghum in erster Linie zur Körnernutzung angebaut. Dabei rangiert es mit einer Jahresproduktion von ca. 65 Mio. Tonnen unter den wichtigsten Getreidearten an fünfter und in Afrika an erster Stelle. Der Fokus des Sorghumanbaus in Deutschland liegt allerdings auf seinem Einsatz als Substrat für Biogasanlagen. Für diese Nutzungsrichtung sind die massewüchsigen Futtersorten der Arten *Sorghum bicolor* und *S. sudanense* sowie die interspezifischen Zuchthybriden *S. bicolor* x *S. sudanense* interessant. In wärmeren Klimaten werden diese tatsächlich für die Raufutterproduktion angebaut. Wegen der Gefahr der Blausäureakkumulation unter unseren kühlen Bedingungen wird von einer Verfütterung der Ganzpflanzen in frischer, getrockneter oder silierter Form abgeraten.

Die genannten Sorghumarten sind keine invasiven Pflanzenarten; sie überstehen weder als Samen noch als gekeimte Pflanzen die Winterperiode. Zur Auswirkung ihres Anbaus auf die Fauna in Agrarökosystemen liegen bislang noch keine Langzeitstudien vor. Demgegenüber ist vor einer auch nur versuchsweisen Einführung der rhizombildenden Arten *S. halepense* (Johnsongras) und *S. x alnum* (Columbusgras) zu warnen, die sich mittlerweile in vielen warm-gemäßigten Regionen als lästige, schwer bekämpfbare Ungräser etabliert haben.

### Standortansprüche

Kalte und staunasse Standorte sind unbedingt zu meiden, ansonsten stellt Sorghum keine besonderen Bodenansprüche. Es gedeiht in einem pH-Bereich von 5,0 bis 8,5 und ist salz- und alkalitolerant. Sorghum ist wie Mais eine sehr wärmeliebende Kulturart. Es verträgt jedoch Trockenheit besser und viele Sorten können bei 450 mm Jahresniederschlag noch gute Erträge bilden. Sorghum ist noch kälteempfindlicher als Mais, was seiner verfügbaren Vegetationszeit unter hiesigen Verhältnissen sehr enge Grenzen setzt.

### Bodenbearbeitung und Saatbettbereitung

Es kann die übliche Anbaukombination wie bei Mais, Getreide oder Zuckerrüben zur Saatbettbereitung verwendet werden. Allerdings sind die Ansprüche von Sorghum an einen gut durchgearbeiteten, abgesetzten Boden mit feinkrümeligem Saatbett deutlich höher als bei Mais.

### Saattermin, -gut, -technik, -stärke und Reihenweite

Sorghum benötigt für ein gleichmäßiges rasches Auflaufen einen auf mindestens 12 °C erwärmten Boden. Aufgrund der hohen Kälteempfindlichkeit ist die Aussaat mit wenigen Ausnahmen erst ab Mitte Mai ratsam. Eine Aussaat Ende Juni ermöglicht nur in Gunstlagen für ausgesprochen frühe Sorten bei entsprechend später Ernte noch ausreichend hohe Trockensubstanzgehalte für eine sichere Silierung. Allgemein sollte der Saatzeitpunkt nicht nach dem 20. Juni liegen. Die Saatmenge ist abhängig von der Sorghumart und dem Verwendungszweck. Zur Biomasseproduktion sollte *S. bicolor* mit einer Saatstärke von 20 bis 25 keimfähigen Körnern/m<sup>2</sup> ausgebracht werden. Für *S. bicolor* x *S. sudanense* und *S. sudanense* empfiehlt sich eine Saatstärke von 30 bis 40 keimfähigen Körnern/m<sup>2</sup>. Höhere als die empfohlenen Pflanzdichten können die Lagerneigung verstärken. Die Saattiefe beträgt 2 bis 5 cm, bei Trockenheit eher tiefer. Optimale Rei-

henweiten mit Blick auf einen zügigen Bestandsschluss liegen zwischen 25 bis 50 cm. Auf erosionsgefährdeten Flächen sind bei Reihenweiten  $\geq 45$  bis 75 cm die Auflagen zum Pflugeinsatz zu berücksichtigen. Im Gegensatz zu Mais ist eine Drillsaat ausreichend. Eine Einzelkornsaat ist nicht erforderlich, führt aber zu einer einheitlicheren Einzelpflanzenverteilung. Entscheidend ist, dass mit der Aussaattechnik eine gleichmäßige Ablagetiefe, der kapillare Wasseranschluss der Samenkörner und ihre gute Einbettung gewährleistet werden können.

### Sortenwahl

Während Mais bereits bei 6 °C zu wachsen beginnt, liegt die Minimumtemperatur für Sorghum bei 10 °C. Der frühest mögliche Saattermin verschiebt sich damit vielerorts in die zweite Maidekade, woraus sich eine erhebliche Begrenzung der Vegetationszeit für Sorghum ergibt. Aus diesem Grund ist hierzulande die Verfügbarkeit von frühreifem Material für einen erfolgreichen Anbau unabdingbar. Frühreife manifestiert sich in dem zur Ernte erreichten Trockensubstanzgehalt, der für eine verlustarme und sichere Silierung mindestens 28 % betragen sollte. Die mittlerweile sechsjährigen Sortenprüfungen des Technologie- und Förderzentrums (TFZ) am Standort Straubing haben ein differenzierbares Abreifeverhalten der Sorten in allen Sorghumarten und Nutzungstypen offengelegt. In dem vom TFZ erarbeiteten Modell sind die Reifegruppen

früh, mittelfrüh, mittelspät und spät aufgestellt und mit Referenzsorten aus dem aktuellen Marktsortiment hinterlegt. Das sind für die Reifegruppe früh die Sorte Lussi, für mittelfrüh die Sorte Freya, für mittelspät die Sorte Herkules und für spät die Sorte Jumbo. In Abbildung 10 sind die Ergebnisse der Sortenprüfungen als einfache mehrjährige Mittel von Referenz- und Prüfsorten dargestellt. Die Zuordnung der Prüfsorten zu den Reifegruppen lässt sich aus ihrer Position auf der X-Achse (TS-Gehalt) im Vergleich zu den Referenzsorten ableiten. Die aktuellen Sortenempfehlungen können unter [www.tfz.bayern.de/rohstoffpflanzen/](http://www.tfz.bayern.de/rohstoffpflanzen/) abgerufen werden.

Wie bei Mais werden auch bei Sorghum Wachstum und Entwicklung in erster Linie durch die Temperatur gesteuert. Wird im Maisreifeprognosemodell nach AGPM (EDER ET AL. 2011) die Basistemperatur auf 10 °C angehoben, lässt sich für das Erreichen der Siloreife von Sorghum (TS-Gehalt 28 %) die erforderliche Wärmesumme ableiten. Für die Reifegruppe früh liegt diese bei 750, für die Reifegruppe mittelfrüh bei 850 bis 900, für die Reifegruppe mittelspät bei 950 bis 1.050 und für die Reifegruppe spät bei mehr als 1.150 Gradeinheiten. Wie bei Mais sind auch bei Sorghum größere Abweichungen von den Prognosewerten im Fall von Wassermangel oder lang anhaltenden Niederschlägen zu erwarten. Dabei führt Trockenstress zu einem schnellen Abreifen und länger anhaltende Regenperioden

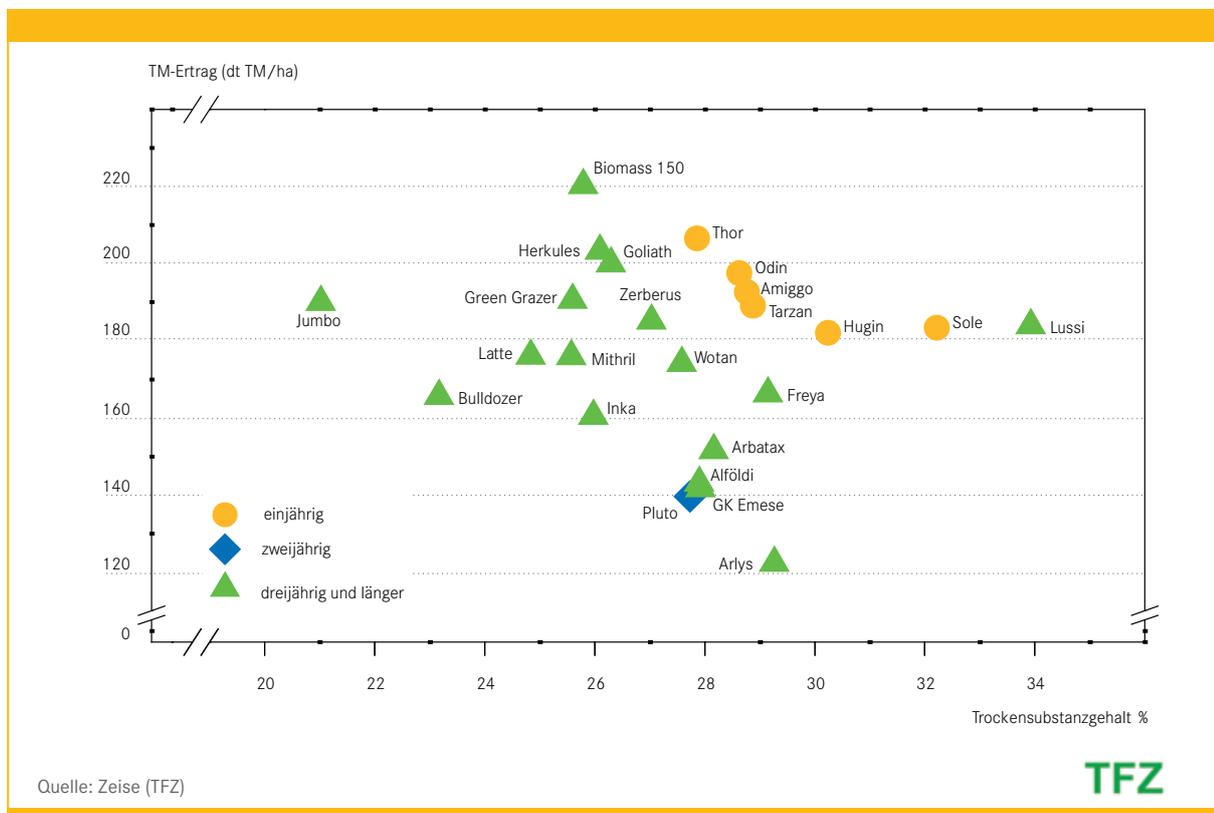


Abb. 10: Ergebnisse des Sortenversuches am Standort Straubing als einfache mehrjährige Mittelwerte (2007–2011)

können eine Reifeverzögerung zur Folge haben. Im Versuchsjahr 2011 wurden am Standort Straubing von Aussaat bis Ernte des Sortenscreenings gut 1.080 Grad-einheiten erreicht und tatsächlich hatten auch massive Sorten im mittelspäten Segment, wie Biomass 150, Herkules und Goliath, die Zielmarke von 28 % TS-Gehalt überschritten. Die Referenzsorten der Reifegruppen früh und mittelfrüh hatten bereits nach 100 Vegetationstagen und gut 800 Gradeinheiten die Siloreife erreicht. Mit frühen und mittelfrühen Sorten können in nahezu allen Anbau-regionen hierzulande selbst bei einer Aussaat bis Mitte Juni noch silierfähige Trockensubstanzgehalte realisiert werden, was sie für einen Zweitfruchtanbau nach früh räumendem Ganzpflanzengetreide prädestiniert. Mittelspäte Sorten eignen sich für den Hauptfruchtanbau in warmen und/oder trockenen Lagen, während späte Sorten ihr Ertragspotenzial unter unseren Bedingungen nur selten ausschöpfen können. Die Trockenmasse-Erträge von mittelspäten Sorten können dabei an die von zeitgleich gesättem Mais heranreichen. Von Nachteil ist die hohe Lageranfälligkeit einiger massebetonter großwüchsiger Sorten. An der Verbesserung der Standfestigkeit wird intensiv und bereits mit merklichem Erfolg züchterisch gearbeitet. Absolut standfest, allerdings deutlich ertragsschwächer, sind die kurzstrohigen Dual- und Körnersorten von *S. bicolor*.

Wenn kommerzielle Sortenmischungen verwendet werden, sollten Partner und Mischungsverhältnisse bekannt sein, um den Empfehlungen folgen zu können.

### **Platz in der Fruchtfolge**

An die Vorfrucht stellt Sorghum zwar keine besonderen Ansprüche, aufgrund seiner zögerlichen Jugendentwicklung sind allerdings solche zu bevorzugen, die das Feld möglichst unkrautfrei räumen. Für Sorghum in Zweitfruchtstellung gut geeignet ist Wintergetreide, das Anfang Juni als GPS-Getreide geerntet wird. Aufgrund der späten Ernte Anfang bis Mitte Oktober ist die Auswahl an potenziellen Nachfrüchten erheblich eingeschränkt. Erfahrungen mit Untersaaten gibt es noch nicht.

### **Pflege und Pflanzenschutz**

Wegen der zögerlichen Jugendentwicklung von Sorghum unter den hiesigen Bedingungen ist eine Unkrautbekämpfung in der Regel unverzichtbar. Durch eine frühe Saattbettbereitung und eine zusätzliche Eggen- oder Stiegelbehandlung können vor der Saat Unkrautkeimpflanzen bekämpft werden. Eine weitere Striegelbehandlung ist nach dem Auflaufen ab dem Dreiblattstadium möglich. Felder mit starkem Unkrauthirsedruck sollten generell gemieden werden. Zur chemischen Unkrautbekämpfung sind bodenwirksame Herbizide auf Basis von Pendimethalin, S-Metolachlor, Terbutylazin und Dimethenamid-P für den Einsatz im frühen Nachauflauf (ab BBCH 13) zugelassen. Größere Unkräuter können mit Bromoxynil, Dicam-

ba und Tritosulfuron noch erfolgreich bekämpft werden. Weitere Genehmigungen müssten im Einzelfall beantragt werden (§ 22, Absatz 2, Pflanzenschutzgesetz).

Anwendungsempfehlungen siehe [www.lfl.bayern.de/ips/landwirtschaft/08937/?context=/lfl/ips/unkraut/](http://www.lfl.bayern.de/ips/landwirtschaft/08937/?context=/lfl/ips/unkraut/).

Nach dem derzeitigen Wissensstand ist Sorghum keine Wirtspflanze für den Westlichen Maiswurzelbohrer (*Diabrotica virgifera virgifera*). Der Maiszünsler (*Ostrinia nubilalis*) befällt Sorghum weniger als Mais. Im Versuchsanbau wurden regelmäßig Blattläuse sowie durch Bakterien und Pilze verursachte Blattflecken festgestellt, jedoch ohne wirtschaftlichen Schaden zu verursachen. Eine genaue Aussage zur Wirtseignung von Sorghum für Schädlinge und Krankheiten wird erst bei einer Ausweitung seines Anbauumfangs zu treffen sein.

### **Düngung und Gärrestverwertung**

Sorghum verfügt über ein gutes Nährstoffaneignungsvermögen. Unter Anrechnung der  $N_{min}$ -Gehalte ist eine Stickstoffversorgung von insgesamt 120 bis 150 kg N/ha ausreichend. Organische Dünger, wie Stallmist, Gülle, Jauche und Gärrest, die möglichst vor der Saat einzuarbeiten sind, werden gut verwertet. Auch deren Gaben sind unter Berücksichtigung ihrer Mineraldüngeräquivalente auf die oben genannte Gesamtversorgung zu begrenzen. Je nach Bodengüte und Versorgungsstufe müssen für die Folgefrucht Nährstoffentzüge wie folgend berücksichtigt werden: 12 kg N, 6 kg  $P_2O_5$ , 19 kg  $K_2O$  (jeweils je Tonne Trockenmasse).

### **Ernte und optimaler Erntetermin**

Sorghum wird mit der für Mais üblichen Häckseltechnik geerntet. Das Häckselgut kann problemlos siliert werden. Um einen sicheren Gärverlauf zu gewährleisten, wird ein Trockensubstanzgehalt von 28 bis 32 % im Erntegut angestrebt. Gehalte unter 25 und über 35 % verursachen Probleme bei der ordnungsgemäßen Verdichtung des Substrates. Erntegut mit weniger als 30 % TS-Gehalt darf nicht in Feldsilos gelagert werden. Die sehr massewüchsigen mittelspäten und späten Sorten kommen nur auf ausgesprochen warmen Standorten dem angestrebten Gehalt nahe. Für die meisten Anbaugebiete sind aus diesem Grund die etwas ertragsschwächeren frühen und mittelfrühen Sorten zu bevorzugen. Es sollte beachtet werden, dass Sorghum erst mit Beginn des Rispschiebens Trockensubstanzgehalte über 20 % erreicht.

Merkblatt Silagesickersaft und Gewässerschutz unter: [www.lfl.bayern.de/iab/duengung/umwelt/13244/index.php?context=/lfl/iab/klima\\_umwelt/](http://www.lfl.bayern.de/iab/duengung/umwelt/13244/index.php?context=/lfl/iab/klima_umwelt/)  
→ Silagesickersaft → Gewässerschutz

### Erträge, Qualität und Zusammensetzung des Ernteproduktes, Methanausbeute

Je nach Sorte, Standort und Jahreswitterung sind Trockenmasse-Erträge von 10 bis 25 t/ha realisierbar. Bei einem Trockenmasse-Ertrag von 15 t/ha kann eine Methanausbeute von 318 NI/kg TM gemäß Biogas-Batchtests des Instituts für Landtechnik der LfL-Bayern (n = 69) ein Methanertrag von 4.770 m<sup>3</sup>/ha erwartet werden.

Die theoretische Methanausbeute liegt niedriger und lässt sich mit den von WEISSBACH (2009) etablierten Modellen über den Gehalt an fermentierbarer organischer Trockenmasse (FoTM in g/kg) schätzen. Durch Multiplikation von FoTM mit dem Faktor 0,42 ergibt sich die Methanausbeute in NI/kg TM. Nach den in der Tabelle 3 dargestellten Daten fallen die Körnersorten von *S. bicolor* durch besonders hohe Methanausbeuten auf. Aufgrund ihres engeren Stroh-zu-Korn-Verhältnisses und dem damit verbundenen höheren Stärkegehalt verfügen sie über eine bessere Verdaulichkeit der Gesamtpflanze, die jedoch den deutlich geringeren Trockenmasse-Ertrag in der Regel nicht kompensieren kann.

### Eignung zum Zweitfruchtanbau

Aufgrund des hohen Temperaturanspruchs liegt der passende Saatzeitpunkt für Sorghum an den meisten Standorten oftmals so spät, dass Ganzpflanzengetreide als Vorfrucht noch die Siloreife erreichen kann. In Frage kommen dafür Wintergerste und Winterroggen; letzterer kann alternativ auch etwas früher als Grünroggen geerntet werden. Triticale wird in der Regel zu spät siloreif und ist deshalb nicht als Vorfrucht geeignet. Sorghum in Zweitfruchtstellung setzt frühreife Sorten voraus, die etwas weniger massewüchsig sind. Auf der anderen Seite ergeben sich arbeitswirtschaftliche Vorteile und eine Möglichkeit, im Juni noch effektiv Gärreste zu nutzen. Sorghum kann als Zweitfrucht bis Mitte Juni auch auf leichten Böden ange-

baut werden, auf denen Mais wegen Wassermangels keine wirtschaftlichen Erträge erzielt. In den kritischen Entwicklungsstadien Auflaufen und frühe Jugend reagiert allerdings auch Sorghum mit Ertragseinbußen auf zu wenig Wasser.

### Ökologische Aspekte

Aufgrund der großen habituellen Ähnlichkeiten von Sorghum und Mais wird das Akzeptanzproblem für den maisdominierten Energiepflanzenbau durch Sorghum nicht gelöst. Auch in ihren Umweltwirkungen ähneln sich Sorghum und Mais. Einzelheiten dazu sind in der LfL-Schrift „Umweltwirkungen eines zunehmenden Energiepflanzenanbaus“ ([www.lfl.bayern.de/publikationen/daten/schriften/reihe/p\\_33149.pdf](http://www.lfl.bayern.de/publikationen/daten/schriften/reihe/p_33149.pdf)) zu finden. Allerdings sind Detailfragen z. B. zur Wasser- und Nährstoffeffizienz von Sorghum sowie zu seinem Einfluss auf Bodenstruktur und Humushaushalt (Verbleib reproduktionswirksamer organischer Substanz) nicht abschließend beantwortet. Im Vergleich zu Mais wird mit einem geringeren Schaden durch Wild gerechnet, das zwar im Bestand Schutz sucht, die Sorghumpflanzen aber weitestgehend verschont.

### Literatur

**Weißbach, F. (2009):** Die Bewertung des Gasbildungspotenzials von nachwachsenden Rohstoffen. LfL Schriftenreihe 17/2009 Internationale Wissenschaftstagung Biogas Science, Band 3, ISSN 1611-4159, S. 517-526.

**Eder, J.; Ziegler, A.; Eiblmeier, P. (2011):** Das Mais-Reifeproggnosemodell nach AGPM. Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung; [www.lfl.bayern.de/ipz/mais/08509/](http://www.lfl.bayern.de/ipz/mais/08509/); letzter Zugriff am 01.03.2012.

*Autoren: Zeise, K. (Technologie- und Förderzentrum); Fritz, M. (Technologie- und Förderzentrum); Gehring, K. (Institut für Pflanzenschutz, LfL)*

**TABELLE 3: THEORETISCHE METHANERTRÄGE DER WIRTSCHAFTLICH BEDEUTENDEN SORGHUMARTEN UND NUTZUNGSTYPEN**

Sorghumart und Nutzungstyp	Methanausbeute in NI/kg TM <sup>1</sup>		TM-Ertrag in dt/ha (n=576)	Methanertrag in Nm <sup>3</sup> /ha			
	EULOS <sup>2</sup>	Rohfaser <sup>3</sup>		EULOS	relativ	Rohfaser	relativ
	(n=45)	(n=360)					
S. bicolor K <sup>4</sup>	264	270	135	3.560	85	3.643	79
S. bicolor D <sup>5</sup>	260	263	152	3.932	94	3.992	87
S. bicolor F <sup>6</sup>	237	259	178	4.204	100	4.610	100
S. bic. x S. sud.	242	254	176	4.260	101	4.485	97
S. sudanense	237	251	149	3.537	84	3.747	81

<sup>1</sup> Kalkulierte Methanausbeuten nach den Modellen von Weißbach (2009)

<sup>2</sup> fermentierbare organische Substanz auf der Basis des EULOS-Gehaltes (enzymunlösliche organische Substanz) kalkuliert (Weißbach 2009)

<sup>3</sup> fermentierbare organische Substanz auf der Basis des Rohfasergehaltes kalkuliert (Weißbach 2009)

<sup>4</sup> Körnertyp von *S. bicolor*

<sup>5</sup> Dualtyp von *S. bicolor*

<sup>6</sup> Futtertyp von *S. bicolor*

## 2.6 Mischanbau verschiedener Sorghumtypen zur Kontrolle von Lagerverlusten

Das Ziel des Mischanbaus von sehr kleinwüchsigem, standfesten Körnersorghum mit hochwüchsigen, lageranfälligen Fittersorghum Sorten ist es Lagerverluste und damit Ernteauffälle zu reduzieren oder zu vermeiden. Im dargestellten Versuch wurden die extrem lageranfälligen aber sehr ertragreichen Fittersorghum Sorten Goliath und Sucrosorgo 506 in alternierenden Reihen mit der Körnersorghum Sorte Arbatax angebaut (jeweils 2 Reihen Fittersorghum, 2 Reihen Körnersorghum). Die Sorte Arbatax gehört zu den Dualtypen, d. h. sie eignet sich sowohl für die Körnerproduktion kann, bedingt durch ihre im Vergleich zu anderen Körnersorten etwas größeren Wuchshöhe, aber auch zur Futtermutzung eingesetzt werden.

In den Untersuchungen wurde eine deutlich stützende Wirkung durch die Körnersorte erreicht (Abb. 11). Nach einem Starkwindereignis neigten sich die Fittersorghum Pflanzen des Mischanbaus zwar ebenfalls sehr stark, konnten sich im weiteren Vegetationsverlauf aber wieder aufrichten und beerntet werden. Versuchspartzellen der Sorte Goliath und Sucrosorgo 506, die zum Vergleich in Reinsaat angebaut wurden, konnten aufgrund von starkem Lager nicht beerntet werden. Die besten Versuchsvarianten des Mischanbaus erzielten 171 dt TM/ha (Tab. 4). Sie blieben damit jedoch um bis zu 15 % hinter den Ergebnissen eines vergleichbaren, nicht lagernden reinen Fittersorghumbestandes zurück. Zur Ernte wurden nur geringe Trockensubstanzgehalte zwischen 20 bis 22 % erreicht, was auf



die späte Saat Mitte Juni und die Spätreife der Fittersorghum Sorten zurückzuführen ist. Die Entwicklung der Körnersorte war bedingt durch die geringere Wuchshöhe und eine dadurch entstehende Beschattung verzögert, und hat sich eventuell ebenfalls nachteilig auf den Trockensubstanzgehalt ausgewirkt.

Als Fazit der Untersuchungen lässt sich ableiten, dass bei geeigneter Sortenkombination und mit im Sorghumanbau üblichen Reihenweiten und Saatstärken durch diese Anbaumethode starkes Lager der Futterhirse verhindert oder reduziert und dadurch lagerbedingte Ernteauffälle vermieden werden können. Der Zeitpunkt an dem die Pflanzen zu lagern beginnen mag hier jedoch einen Einfluss auf den Erfolg dieser Anbaumaßnahme haben. Im Hinblick auf den Trockenmasse-Ertrag ist im Mischanbau der Sorghumtypen mit Ertragseinbußen im Vergleich zu einem reinen Fittersorghumbestand zu rechnen. Aufgrund der reduzierten Erträge und der höheren Saatkosten (Mischanbau ist in der Regel nur in Einzelkornsaat möglich), ist eine Kontrolle der Lagerverluste im Sorghumanbau über andere Faktoren insbesondere Sortenwahl, reduzierte Saatstärke und einer mäßigen Stickstoff-Düngung vorteilhafter. Mit dem Zuchtfortschritt der letzten Jahre sind heute einige Sorten verfügbar, die bei optimalem Anbau gute Erträge liefern und eine relativ gute Standfestigkeit aufweisen.

Autorin: Hartmann, A. (Technologie- und Förderzentrum)

TABELLE 4: ERNTEPARAMETER IM MISCHANBAU (VERSUCHSJAHR 2010)

Sorten	Trockenmasseertrag in dt/ha	Trockensubstanzgehalt in %
Goliath + Arbatax	171,4 ± 2,8	22,3 ± 0,9
Sucrosorgo 506 + Arbatax	149,1 ± 10,7	19,9 ± 0,8



Abb. 11: Mischanbau der Fittersorghum Sorte Goliath mit der Körnersorghum Sorte Arbatax (rechts oben) im Vergleich zur lagernden Reinsaat der Sorte Goliath (oben)

## 2.7 Rüben als Biogassubstrat – Überblick über Verfahrenswege zu Transport, Aufbereitung und Lagerung

### Einleitung

Der Einsatz von Zuckerrüben, bzw. Energierüben, als Biogassubstrat gewinnt zunehmend an Bedeutung. Neben Mais ist die Beta-Rübe die etablierte landwirtschaftliche Kulturpflanze mit den höchsten erzielbaren Trockenmasse-Erträgen (TM) pro Hektar. Da die TM der Rübe im Wesentlichen aus Zucker besteht, der im Fermentationsprozess sehr schnell und fast vollständig zu Biogas umgesetzt werden kann, ist der Biogas- bzw. Methanertrag pro Hektar, je nach Standort, sehr hoch. Die Rübe bietet somit eine sehr gute Ergänzung zu den bewährten Biogassubstraten. Sie ist eine ertragsstarke Alternative im Hinblick auf Fruchtfolgekrankheiten, neue Schädlinge, in der öffentlichen Diskussion und bei Planungen zur Kapazitätserweiterung der Biogasanlage. Hier spielt die schnelle Umsetzung der TM eine gewichtige Rolle.

Der Weg der Rübe in die Zuckerfabrik wurde in den letzten Jahrzehnten sehr stark verbessert. Rüben werden heute überbetrieblich und günstig mit hoher Leistungsfähigkeit gerodet, vorgereinigt und transportiert. Bei der Verwertung als Biogassubstrat bleibt der Rohstoff Rübe nun wieder zur Verwertung auf den landwirtschaftlichen Betrieben bzw. den Biogasanlagen. Mit Anstieg der Verwertung von Rüben als Biogassubstrat hat sich ein fast vollkommen neuer Technikzweig zur Weiterverarbeitung des Rohstoffes entwickelt. Zur Weiterverarbeitung der Rüben auf der Biogasanlage stehen derzeit noch keine Standardverfahren zur Verfügung. Das Verfahren kann individuell an die betrieblichen Anforderungen und Voraussetzungen (z. B. die Bodenart) zusammengestellt werden. Hierbei ist sehr genau auf die entstehenden Aufbereitungskosten pro Tonne Rüben zu achten! Speziell der Aufwand für eine eventuelle Nassreinigung und -entsteinung ist im Vorfeld genau zu prüfen.

Diese Broschüre fasst den derzeitigen Stand der technischen Möglichkeiten und Anforderungen an die Aufbereitung zusammen. Vorher gilt es einige Fragen zu klären, da einige Verfahrensschritte noch in der Testphase sind.

Bei der Sortenwahl von Rüben zur Substratproduktion steht man auch vor der Wahl, eventuell auf Futterrüben zurückzugreifen. Die Futterrübe bringt bekanntlich einen hohen Frischmasseertrag. Allerdings liegen die TS-Gehalte der Futterrübensorten je nach Ausprägung nur zwischen 12 und 18 %. Die Zuckerrübe schafft es aufgrund des hohen Zuckergehaltes auf ca. 22–25 %. Dafür ist der Erdanhang bei den Futterrüben tendenziell etwas niedriger. Wesentliches Entscheidungskriterium ist der TM-Ertrag/ha, der sehr eng mit dem Zuckerertrag korreliert. Spezielle Eignung von Rüben zur Biomasseerzeugung siehe:



Abb. 12: gut entblattete Biogas-Rübe

[www.bisz.suedzucker.de/Anbau/Biomasse-Rueben/](http://www.bisz.suedzucker.de/Anbau/Biomasse-Rueben/). Des Weiteren sind standortbezogene Faktoren zu berücksichtigen. So ist z. B. die Toleranz gegenüber der bodenbürtigen Krankheit *Rizomania* bei den Zuckerrübensorten heute Standard. Von großer Bedeutung für die Ertragssicherheit ist ebenfalls eine Toleranz gegenüber der Rübenzystennematode *Heterodera schachtii*. Beide Eigenschaften fehlen den meisten Futterrübensorten.

### Ernte von Rüben als Biogassubstrat

Die Ernte der Rüben erfolgt meist überbetrieblich organisiert durch private Lohnunternehmer oder Maschinenringe. Die etablierten Rodesysteme arbeiten heute 6-reihig mit einer Flächenleistung von ca. 1 ha/h. Die Ernte von Rüben als Biogassubstrat hat andere Ansprüche als die Ernte von Rüben für die Zuckererzeugung. Hier werden die Rüben „geköpft“ geerntet, da es bei den „Fabrikrüben“ darauf ankommt einen möglichst geringen Blatt- und Kopfanteil im Erntegut zu erreichen, um den Anteil von Melassebildnern bei der Zuckererzeugung zu reduzieren. Für die Ernte der Rüben als Biogassubstrat ist der Kopf allerdings als zusätzliche Trockenmasse genauso wertvoll wie der Rest des Rübenkörpers und bildet zusätzliches Ertragspotenzial.

Die Umstellung der Ernte von Fabrikrüben auf Biogassrüben und die damit verbundenen Anforderungen an die Erntetechnik und das Bedienungspotenzial bereitet in der Praxis keine Probleme.

Die Einstellung der Kopfhöhe über die Exaktköpfer bzw. Blattschlegelaggregate kann sofort per Knopfdruck in der Kabine der Erntemaschine erfolgen.

Verschiedene Quellen sprechen von Mehrerträgen von 3–5 % im Vergleich zum praxisüblichen Köpfschnitt. Bei einem Rübenfrischmasseertrag von ca. 75 t/ha können so über 3 t Frischmasse/ha mehr geerntet werden! Die etablierten Hersteller der Rodetechnik verfolgen unterschiedliche Systeme zur Entblattung.

Auch durch Einstellung der bisher bewährten Schlegel- und Nachköpftechnik lässt sich ein Verlust des Kopfes vermeiden. Bei der Einstellung muss man allerdings beachten, dass an den Rüben verbliebene Blattstrünke gegebenenfalls bei der Weiterverarbeitung stören können. Nach einigen Tagen trocknen diese Blattreste aus und werden zäh wie Leder. Müssen nun die Rüben beispielsweise gewaschen bzw. entsteint werden, gilt für viele Maschinen Verstopfungsgefahr. Damit ist der gewonnene Ertragsvorteil durch Mehrarbeit verloren.

#### Ernte von Rübenblatt

Die Bergung des Rübenblattapparates ist ebenfalls eine Möglichkeit den Trockenmasse-Ertrag der Rüben zu steigern. Je nach Rübenanbau, Sorte und Jahr können bis zu 40 t Frischmasse Rübenblatt/ha geerntet werden. Die TS von Rübenblatt liegt allerdings nur bei ca. 15 %, sodass viel Wasser transportiert werden muss und sich die wirtschaftliche Transportentfernung auf wenige Kilometer um die Anlage beschränkt. Zudem muss eine zusätzliche Überfahrt mit Überladewagen getätigt werden, welche die Rodung in der Flächenleistung negativ beeinflusst, die Bodenstruktur schädigen kann, zusätzliche Investitionen in ein Blattbergband bedingt und die Humusbilanz belastet. Blattbergbänder sind bei den Roderherstellern verfügbar.

Allerdings ist selbst bei älteren Geräten die Anbringung der Blattbergbänder mit einem erhöhten Zeitaufwand verbunden. Bei neueren Maschinen mit Integralhäckslern muss schon bei der Beschaffung der Roder eine Blattber-



Abb. 14: Geerntete Rüben mit Microtopping-System

gung geplant werden. Die praktischen Erfahrungen haben gezeigt, dass eine Rübenanbau mit gleichzeitiger Blattber-

#### Verladung, Abreinigung und Transport

Nach der Rodung ist es von großem Vorteil die Rüben zunächst am Feldrand auf Mieten zwischenzulagern. Dies entzerrt die Logistik und bietet zudem den großen Vorteil, dass anhaftende Erde an den Rüben antrocknet und bei der folgenden Verladung mit überbetrieblich organisierten Reinigungsladern, oft „Maus“ genannt, zum großen Teil bereits abgereinigt wird und auf dem Feld verbleibt. Je nach Bodenart und Erdanteil können die Rüben mit einer Stundenleistung von 100–200 t/h verladen werden. Bei der Transportplanung ist zu berücksichtigen, dass eine Tonne Rüben ein Schüttgewicht von ca. 700 kg/m<sup>3</sup> erreicht. Sind Temperaturen unter dem Gefrierpunkt angekündigt, hat sich eine Abdeckung der Rübenmieten mit schwerem Vlies bewährt.

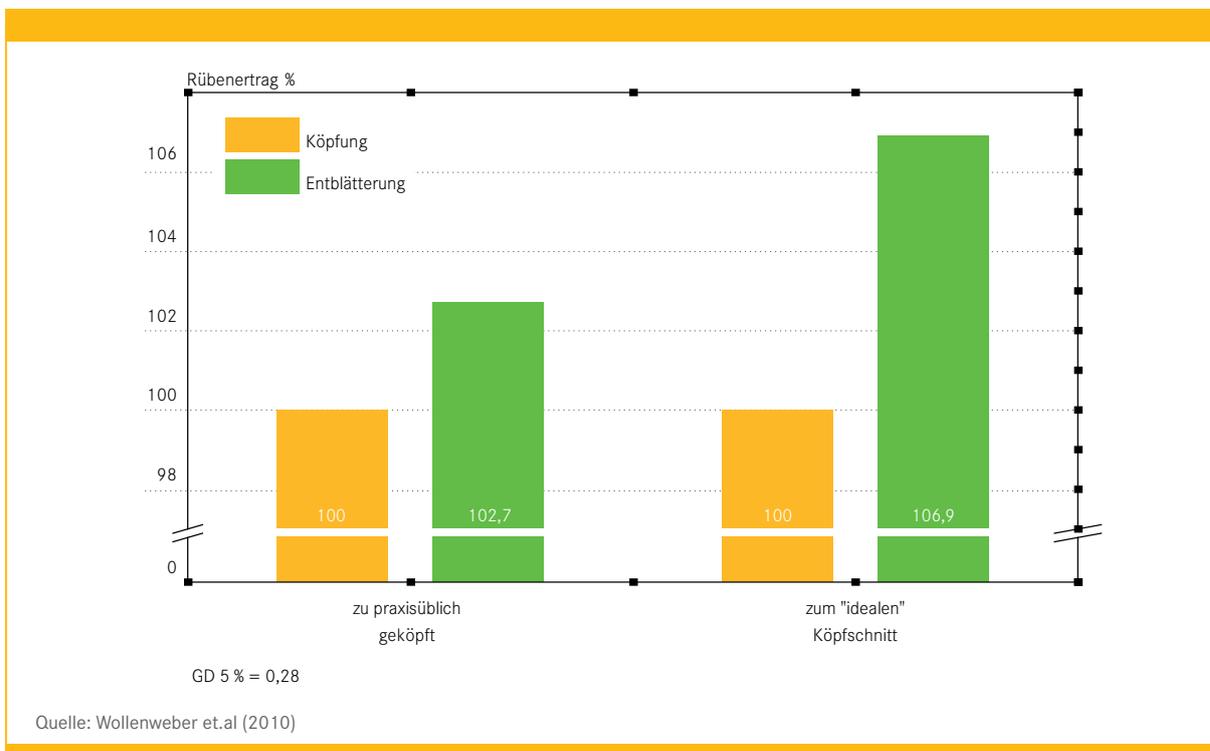


Abb. 13: Ertragspotenzial mit Kopf

Für den Transport sind auch einige rechtliche Dinge zu beachten, sofern den Transport die Besitzer der Rüben selbst (Landwirte) über gemeinschaftlich organisierte Abfuhrgemeinschaften (GbR, GENO) übernehmen.

Da der Abnehmer von Biogaserüben in der Regel ein gewerbliches Einzelunternehmen darstellt, sind entsprechende rechtliche Fragen im Hinblick auf Güterkraftverkehrsgesetz (gewerblicher Güterverkehr), Fahrerlaubnis (Sachkunde nach Güterkraftverkehrsgesetz), Fahrpersonalrecht (Führen eines Fahrtenschreibers), sowie Steuerrecht (Gewerbeanmeldung, Umsatzsteuer) zu klären (siehe dazu: „Biomassetransporte Hinweise zur Organisation und Verrechnung“).

#### *Erde und Steine im Substrat*

Die größte Herausforderung beim Einsatz von Rüben als Biogassubstrat ist der mögliche Eintrag von Steinen und Sand mit dem Erntegut. Während Ton, Lehm und Schluffanteile in den meisten Biogasanlagen durch Rühren und Pumpen in der Schwebelage bleiben, sich an die Organik im Fermenter anheften und mit dem Gärrest größtenteils wieder ausgebracht werden, neigt der Sand zur Sedimentation. Andererseits hängt an Rüben, die auf sandigen Böden angebaut werden, absolut gesehen aber weniger Erde an. Und wenn Erde anhängt, lässt sie sich mit den vorhandenen Geräten zur Nass- und Trockenreinigung gut abreinigen. Wichtig ist, dass keine der bewährten Nass- oder Trockenabreinigungstechniken eine vollkommene Erdfreiheit sicherstellen kann! Hier müssen sich die Biogasanlagenbetreiber allerdings auch bewusst sein, dass es generell keine erdfreien NawaRo-Substrate gibt. Grassilagen, GPS oder auch Mais und Gülle oder gar Hühnerkot weisen immer gewisse Ascheanteile auf, man sieht sie nur selten! Die Trockenmasse der Zuckerrübe weist einen Aschegehalt (ohne Erdanhang) von ca. 2% auf.

#### *Entsteinung*

Zur Trennung der Steine aus dem Erntegut ist derzeit die Dichtentrennung im Wasser das einzig sichere System. Technisch findet die Dichtentrennung im Wasser verschiedene Umsetzungen: Zum einen besteht die Möglichkeit die spezifische Dichte des Wassers bspw. durch Zugabe eines Düngesalzes zu erhöhen und damit die Rüben zum Schwimmen zu bringen. Die Dichte der Rüben liegt bei  $\sim 1,1$ . Die andere Möglichkeit besteht darin, einen Wasserauftrieb zu erzeugen, der die Rüben in einem Schwemmkanal aufschwimmen lässt und so die Steine aus dem Erntegut trennt. Beide Verfahren erreichen nach Herstellerangaben einen Durchsatz von ca. 60 t/h.

Die mobile Rübenwäsche besteht aus einem einzigen Lkw-Zug. Die Zugmaschine ist ein Hakenlift-Lkw, der einen Abrollcontainer als Wasserbecken auf der Ladefläche mitführt. Die Wascheinheit ist komplett auf einem Anhänger aufgebaut. Die Stromversorgung erfolgt über ein fest aufgebautes Stromaggregat.

Wichtig ist, dass einmal gewaschene/entsteinte Rüben sich nicht mehr lange frisch lagern lassen! Je nach Temperatur setzt nach 5-10 Tagen die Fäulnis ein. Daher sollten gewaschene/entsteinte Rüben möglichst bald nach der Nassreinigung entweder einsiliert oder der Fermentierung zugeführt werden.

Die Nasswäsche und Entsteinung bedingt einen hohen Arbeits- und Kostenaufwand. Der Aufwand incl. Maschinen und Arbeit liegt bei ca. 5 €/t. Bei geringem Steinbesatz und Böden mit geringem Sandanteil sollte auf die Nassreinigung am besten verzichtet werden!



© ROPA

Abb. 15: Blattbergung



© ROPA

Abb. 16: Blattbergung



© ROPA

Abb. 17: Verladung mit der „Maus“



© Holmer

Abb. 18: RRL



Abb. 19: KWS Rübenwäsche



Abb. 20: Rübenwasch- und -schneidschaufel von Holaras (ohne Steintrennung)

### Zerkleinerung

Bevor die Rüben zerkleinert werden, muss feststehen, wie sie gelagert bzw. einsiliert werden sollen! Werden die Rüben als Brei einsiliert sind andere Zerkleinerungstechniken vorzusehen als wenn die Rüben z. B. in Mischungen mit Mais, wofür grobe Schnitzel ausreichen, oder unzerkleinert einsiliert werden sollen.

Eine Zerkleinerung der Rüben vor dem Eintrag in den Fermenter ist in jedem Fall empfehlenswert. Unzerkleinerte Rüben würden zum einen schnell auf den Fermenterboden absinken, sind nur langsam umsetzbar und bringen die Gefahr einer Verstopfung von Pumpen und Leitungen mit sich.

#### Zerkleinerung zu pumpfähigem Brei

Zur Erzeugung von Rübenbrei stehen verschiedene technische Lösungen zur Verfügung. Wichtig sind dabei der Durchsatz und die Homogenität des erzeugten Breis, um Sedimentationsschichten im Lager zu vermeiden. Die Schichtenbildung ist zwar für die Silierung kein Nachteil, erschwert aber die gleichmäßige Zuführung zur Fermentation.

Neben einzelnen Pumpen mit kombinierten Häckseleinrichtungen, die allerdings nur geringe Durchsätze erreichen, ist der Einsatz von Kompost- oder Holzschreddern weit verbreitet. Vorteil dieser Technik ist zum einen der hohe Durchsatz (je nach Gerät > 100 t/h) und die Möglichkeit gegebenenfalls auch Steine direkt mit zu zerkleinern und sie nicht abtrennen zu müssen.

Auch andere Mühlen mit schnell laufenden Werkzeugen sind verfügbar, jedoch ist hier meist eine vorherige Steintrennung die Bedingung. Zudem finden sich noch verschiedene Hersteller aus dem Recyclingbereich, die sog. „Querstromzersetzer“ oder „Prallreaktoren“ anbieten. Diese Geräte sind ebenfalls steintolerant, aber meist nicht mobil und überbetrieblich verfügbar, was hohe Invest- und Stückkosten zur Folge hätte.

#### Erzeugung von groben Schnitzeln

Weit verbreitet und zuverlässig einsetzbar sind mit Ölmotoren angetriebene Häcksel-schaufeln für den Anbau am Teleskoplader oder im Dreipunkt.

Vorteil dieser Schaufeln ist der flexible Einsatzbereich und die Robustheit des Systems. Kommt ein größerer Stein in die Häckselwelle und blockiert diese, bleibt der Ölmotor stehen. Nun kann die Schaufel ausgekippt und der Stein entfernt werden. Bei geringem Steinbesatz ist dies die günstigste Lösung zur Steintrennung.

Die Schaufeln erzeugen je nach Einstellung faust- bis streichholzschachtelgroße Schnitzel, die für den Feststoffeintrag ideal sind. Die Schaufeln gibt es sowohl in kleiner Ausführung für den Teleskoplader (ca. 1,5 t Fassungsvermögen) als auch im großen Maßstab (ca. 3 t Fassungsvermögen) für den Radladeranbau.

Denkbar ist auch der Einsatz von Futtermischwagen zur Zerkleinerung von Zuckerrüben.

### Silierung und Ganzjahresversorgung

Die Rüben können, je nach Witterung und Zustand der Rüben, zwei bis drei Monate nach der Ernte in einer Miete gelagert werden. Hierbei sind allerdings gewisse Atmungsverluste zu kalkulieren. Die Überwinterung von Zuckerrüben im Feld ist eine interessante Alternative zur Mietenlagerung bzw. Silierung. Bei der Standortauswahl ist darauf zu achten, dass nur die besten und gleichmäßigsten Bestände überwintern sollten, da sich ein guter Rübenbestand mit gesundem Blattwerk bis zu einem gewissen Grad selbst mit dem Blattwerk vor Frost schützen kann. Lückige Bestände und Rüben mit hoher Scheitelhöhe bieten eine große Angriffsfläche für Frost. Die Rüben haben die ersten Frostperioden gut überstanden, reagierten jedoch teilweise auf die späteren Wechselfröste im Februar mit einsetzender Fäulnis, sodass sie bei guter Witterung Ende Februar geerntet werden mussten. Andere Standorte in Norddeutschland reagierten kaum auf Frost und konnten bis zum Einsetzen der Schossphase im Mai im Feld verbleiben. Die Frosthärte von Zuckerrübensorten wird weiterhin intensiv unter verschiedenen Bedingungen und Standorteinflüssen geprüft. Wichtiger als eine schnelle Rodung ist die zügige Verarbeitung der geernteten Rüben.

Über einen längeren Zeitraum lassen sich die Rube nur in Form einer Silage sicher lagern. Zudem bietet die silierete Rube ein deutlich höheres Methanertragspotenzial als

die frische Rübe (WEISSBACH 2009). Ziel einer gezielten Substratversorgung der Biogasanlage muss sein, die Rüben solo einzusilieren. Hier gilt, dass die Rübe in Ihren Extremen, entweder als Brei oder unzerkleinert, sehr gut siliert. Dennoch sind auch Mischsilagen weit verbreitet und etabliert.

Beim Lagern von Rüben sind die wasserwirtschaftlichen Anforderungen an JGS-Anlagen (Anlagen zum Lagern und Abfüllen von Jauche, Gülle, Festmist und Silagesickersäften) einzuhalten, vgl. § 62 Abs. 1 Satz 3 WHG i.V. mit Anhang 5 VAWS bzw. Entwurf VAUwS.

### Mischsilagen

Mischsilagen bedingen immer einen Kompromiss für den einen oder anderen Mischungspartner und stellen hohe Ansprüche an die Logistik und Kombination der Ernteketten. Werden Mais und Rüben gemeinsam siliert, muss man sich für den optimalen Erntetermin einer Kultur entscheiden. Da meist der Mais den Termin der Ernte Ende September bis Anfang Oktober vorgibt, werden der Rübe 6 bis 8 Wochen Vegetationszeit und damit Ertrag genommen! Die Mischsilage von Mais und Rüben ist dennoch eine einfache und relativ kostengünstige Variante. Legt man den Fokus im Ertrag auf die Rübe, so bietet es sich an den Mais als CCM oder LKS zu ernten. Klar ist, dass der Ertragsverlust dann beim Mais liegt. CCM oder LKS bieten aber aufgrund der hohen TS des Materials die Möglichkeit mit „wenig Mais viel Rübe“ zu silieren. Rechnerisch ist bei einer TS des LKS von 60 % ein Anteil von bis zu 70 % Rübe in der Mischung denkbar. Der LKS könnte dann von weiter entfernten Schlägen mit guter Transportwürdigkeit geerntet werden. In Mischungen können die Rüben direkt gebröckelt einsiliert werden, da für die Silierung von gebröckelten Rüben ein Mischungspartner erforderlich ist, der den austretenden Saft bindet. Der Saft weist einen sehr niedrigen pH-Wert auf, was im Silomanagement beachtet werden muss. Gemäß Praxiserhebungen tritt bei zerkleinerten Rüben auf die Frischmasse bezogen je nach Zerkleinerungsgrad ca. 30–40 % Sickerwasser aus. Bei unzerkleinerten Rüben liegt dieser Wert bei ca. 15–20 %.

Unbedingt zu beachten ist hierbei, dass der anfallende Sickersaft mit einem pH-Wert von ca. 3,5 aggressiv gegenüber Beton und Stahl wirkt. Vor allem in den Luftwechselzonen zeigt sich auch im Silo nach wenigen Jahren deutlich, wo Sickersaft entlang geflossen ist. Der Rübensickersaft ist sehr energiereich und sollte nicht ins Endlager geleitet, sondern der Fermentation zugeführt werden.

### Rübensilierung solo

Die Rübensilierung ohne Mischungspartner lässt sich entweder mit einer homogenen Zerkleinerung der Rüben zu Brei oder komplett unzerkleinert realisieren.

## SILIERUNG VON RÜBENBREI

### Brei im Hochbehälter

Vollständig und homogen zerkleinert lassen sich Rüben als Brei entweder im Edelstahlhochsilo oder in beschichteten Betonbehältern gut silieren. Bei der Wahl der Zerkleinerungstechnik muss man genau auf eine feine „Vermahlung“ des Substrates achten, um Entmischungen im Lager zu vermeiden und eine kontinuierliche Beschickung des Fermenters zu gewährleisten. Je nach Steinbesatz im Erntegut lassen sich Holzschredder gut einsetzen, die bei geringem Fremdkörperanteil auch Steine kleinmahlen können. Andere Techniken bedingen eine vorherige Steinabtrennung. Zu beachten ist, dass sich frisch erzeugter Rübentrei nicht problemlos pumpen lässt. Abhängig von der Technik ist die Zugabe einer gewissen Wassermenge erforderlich. Auch die Entnahme aus dem Hochsilo kann sich in der Praxis zu Problemen



Abb. 21: Willibald-Schredder mit hoher Durchsatzleistung und „Steintoleranz“



Abb. 22: Zerreißer mit hohem Durchsatz und direkt angeschlossener Pumpe, allerdings steinempfindlich.



Abb. 23: Holaras Häckselschaufel



Abb. 24: vdw-Häckselschaufel

führen. Praktiker berichten, dass ein Entnahmetrichter mit einem zentralen Entnahmeschacht von Vorteil ist.

#### Brei im Folienerdbecken

Die Lagerung von Rübenbrei in Folienerdbecken („Lagunen“) ist derzeit eine viel diskutierte Variante zur Lagerung in der Praxis. Das Verfahren ist sehr kostengünstig in der Investition. Kaum bekannt ist bislang allerdings wie hoch die tatsächlichen Energieverluste und Emissionen durch die meist fehlende Abdeckung sind. Dies ist derzeit Gegenstand vieler Untersuchungen. Auch die regionalen Gegebenheiten zur Genehmigungsfähigkeit müssen beachtet werden.

Die Entnahme des Breis ist ähnlich anspruchsvoll wie beim Edelstahlsilo: Es ist bei der Einlagerung genau darauf zu achten, dass das Material homogen zerkleinert wird, um Entmischungen zu vermeiden. Zudem ist eine Fangmulde für Fremdstoffe an der Entnahmestelle anzuraten.

### SILIERUNG UNZERKLEINERTER RÜBEN

#### Im Folienschlauch

Eine flexible Möglichkeit der Silierung unzerkleinerter Rüben bietet der Folienschlauch. Zwar sind die Kosten der Silierung/t höher, die Stundenleistung bei der Einlagerung geringer und die Entnahme erfordert etwas mehr Zeit als bei anderen Silagevarianten, allerdings überzeugt der Folienschlauch durch eine sehr gute Silierqualität. Austretendes Sickerwasser wird sich an der tiefsten Stelle sammeln und muss abgepumpt werden. Zerkleinerte Rüben können nicht im Schlauch gelagert werden, da der massiv auftretende Sickersaft den Schlauch zum Platzen bringt.

#### Im Fahrsilo

Unzerkleinerte Rüben können auch als Miete im Fahrsilo einsiliert werden. Wichtig bei der Anlage einer Fahrsilosilage mit unzerkleinerten Rüben ist der Einsatz einer Folie, die bis ca. 2 m tief unter den Mietenrand gezogen und anschließend nach oben umgeschlagen wird, um den Abfluss von CO<sub>2</sub> durch den Luftpumpeneffekt

zu vermeiden, da die Rübenmiete nicht rückverdichtbar ist. Anschließend wird die Miete wie eine Maissilage mit Unterziehfolie, Silofolie und Vogelschutznetz abgedeckt. Nach 3–4 Wochen ist die Silierung gemäß den Erfahrungen aus der Praxis aus Folienschlauch und Fahrsiloplanlagen abgeschlossen. Probleme kann es nach der Öffnung der Silage offenbar durch Kondenswasser an der Oberfläche geben. Hier wurde eine Schimmelbildung beobachtet. Das Verfahren muss weiter verfeinert werden.

Die unzerkleinerten Rüben aus dem Schlauch oder dem Fahrsilo können anschließend mit Häckelschaufeln entnommen und zerkleinert dem Dosierer zugeführt werden.

#### Ausblick

Die Rübe ist eine bekannte und ertragreiche Kultur, für die eine schlagkräftige Produktionstechnik zur Verfügung steht. Als bewährte Kulturpflanze bietet sie sowohl aus pflanzenbaulicher als auch aus Sicht der Substrateignung eine interessante Ergänzung zum Mais. Die Vorteile der Trockenmasse der Rübe in der Fermentation sind unbestritten.

In den letzten 4 Jahren hat sich im Bereich der Aufbereitungstechnik für Rüben als Biogassubstrat sehr viel getan. Den individuellen Bedürfnissen vieler Biogasanlagen und jedes Bodens, auf dem die Rüben produziert wurden, können mittlerweile mit einer großen Auswahl an Aufbereitungstechnik Rechnung getragen werden. Für den Weg der Rübe in den Fermenter steht mittlerweile standardisierte Technik zur Förderung, Reinigung, Zerkleinerung und Lagerung zur Verfügung. Mit Verbesserung der Technik sinken die Stückkosten der Rübe frei Fermenter deutlich. Zur Bilanzierung der tatsächlichen Verluste aus der Rübensilierung können nun Echtdateien aus der Verwendung von Großtechnik herangezogen und analysiert werden. Der Run auf die Energierübe, die hohe Nachfrage im Markt, viele Ideenfindiger Biogasanlagenbetreiber und der Wille zur Entwicklung günstiger und schlagkräftiger Rübenaufbereitungstechnik, wird den Weg der Energierübe weiter ebnen – die Biogaseignung der Zuckerrübe ist kein Diskussionsthema mehr, nur das „Wie?“.

TABELLE 5: GASERTRAG ZUCKERRÜBEN

Zuckerrübe nach	Eigenschaften	TM %	davon oTM %	Biogasertrag I <sub>N</sub> /kg oTM	Biogasertrag I <sub>N</sub> /kg FoTS	Biogasertrag m <sup>3</sup> /t TSk	Methan-gehalt %
KTBL <sup>1</sup> (Richtwert)	frisch	23	92	700			51
WEISSBACH <sup>2</sup>	frisch	23			756		49,1
WEISSBACH <sup>2</sup>	siliert > 6 Monate				797		53,6
THAYSEN <sup>3</sup>	siliert	23				747	52,9

<sup>1</sup> KTBL (2007)

<sup>2</sup> WEISSBACH, F. (2009)

<sup>3</sup> THAYSEN, J. (2011)

**Literatur**

**KTBL (2007):** Faustzahlen Biogas, Darmstadt 2007, S. 60.

**Weißbach, F. (2009):** Das Gasbildungspotenzial von frischen und silierten Zuckerrüben, Landtechnik 64 (2009), H. 6.

**Thaysen, J. (2010):** Vortrag: Zuckerrüben im Biogasprozess, BioEngery November 2010, Hannover.

**Thaysen, J. (2011):** Zucker- und Futterrübeneinsatz in Biogasanlagen Potenzial und Praxis, Bauernblatt 11. Juni 2011, S. 30-32.

**Wollenweber, D.; Töppe, D.; Schäfer, B. C. (2010):** Rüben entblättern statt köpfen?, Top Agrar 3/2010, S. 86-90.

*Autoren: Schaffner, S. (KWS SAAT AG); Wolf, G. (r.e Bioenergie GmbH); Kawasch, M. (MR Wolzsch-Geisenfeld-Vohburg)*

*Nachdruck mit freundlicher Genehmigung des Biogas Forums Bayern*



Quelle: KWS

Abb. 25: Übersicht über mögliche Wege der Rübensilierung

## 2.8 Durchwachsene Silphie/ *Silphium perfoliatum* L.

### Botanik

Die in den gemäßigten Regionen Nordamerikas heimische Durchwachsene Silphie, auch Kompass- oder Becherpflanze genannt, ist ein ausdauernder Korbblütler, der im Anpflanzjahr nur eine bodenständige Rosette bildet. Aus dieser treiben ab dem 2. Standjahr im April bis Mai 1,80 bis 3,00 m hohe, vierkantige Stängel, die mit ungeteilten lanzettlich gegenständigen, an der Basis verwachsenen Blättern besetzt sind. In Abhängigkeit von Standraum und Alter bildet jede Pflanze 3 bis 10 Stängel aus. Im Juli beginnt die Silphie zu blühen. Die leuchtend gelben ca. 6 bis 8 cm breiten Blütenköpfchen stehen einzeln und endständig. Die Samenreife setzt im September ein. Sowohl Blüte als auch Abreife erstrecken sich über einen relativ langen Zeitraum.

Ökologische Vorteile der Durchwachsenen Silphie sind in der ganzjährigen Bodenbedeckung und der damit verbundenen Verminderung der Erosionsgefahr sowie in der Bereicherung der Artenvielfalt zu sehen. Zudem wird die Pflanze von zahlreichen Insekten besucht und ist hinsichtlich des Pollen- und Nektarwertes als mittel eingestuft, sodass sie als Bienenweidepflanze in Betracht kommt. Hierfür spricht auch die lange Blütezeit bis September.

Das von der Silphie ausgehende Invasionspotenzial ist als gering einzuschätzen. Die Pflanze bildet keine Ausläufer bzw. tiefreichende Rhizome und auch die Samen weisen keine morphologischen Merkmale auf, die eine weite Verbreitung durch Wind und/oder Tiere ermöglichen. Zudem entwickeln sich die Jungpflanzen relativ langsam und besitzen nur eine geringe Konkurrenzfähigkeit.

### Klima- und Bodenansprüche

Die Durchwachsene Silphie wurde bereits vor etwa 30 Jahren als Futterpflanze in Europa geprüft. Sie gedeiht unter hiesigen Bedingungen sehr gut und stellt keine besonderen Ansprüche an das Klima. Hervorzuheben sind ihre Trockentoleranz und ihre gute Winterfestigkeit.

Hinsichtlich des Bodens ist die Pflanze relativ anspruchslos, sodass ein Anbau auch in ackerbaulichen Grenzlagen bis 600 m ü. NN und ab einer Ackerzahl von 25 möglich ist. Am besten wächst sie aber auf humosen Standorten mit guter Wasserführung. Insgesamt weist die Durchwachsene Silphie eine hohe Standortvariabilität auf. Staunasse Lagen sind allerdings für den Anbau nicht geeignet.

### Fruchtfolge

An die Vorfrucht stellt die Durchwachsene Silphie keine besonderen Ansprüche. Da die Jungpflanzen wenig konkurrenzfähig sind, sollte auf Unkraut unterdrückende Eigenschaften der Vorfrucht geachtet werden. Getreide



eignet sich diesbezüglich gut. Aufgrund des Aussaat- bzw. Pflanztermins kommt ein Anbau nach einer früh räumenden Winterzwischenfrucht, z. B. Futterroggen, in Betracht. Nach dem Umbruch eines langjährig genutzten Silphieschlages bietet sich Getreide als Nachfrucht an, um eventuellen Durchwuchs bekämpfen zu können.

### Bodenbearbeitung

Wegen der langjährigen Nutzungsdauer kommt der Flächenvorbereitung vor der Anlage der Bestände besondere Bedeutung zu. So sollten schon im Vorfeld Maßnahmen zur Bekämpfung von Wurzelunkräutern ergriffen werden. Eine Herbstfurche bei Anlage ohne Winterzwischenfrucht bzw. Schälfrucht nach Winterzwischenfrucht sind praktikable Varianten. Eine feuchtigkeitsbewahrende Saatbettbereitung und die Herstellung eines feinkrümeligen Saat- bzw. Pflanzbettes schaffen die Grundvoraussetzungen für eine optimale Wasserversorgung in der Etablierungsphase. Hinsichtlich der Flächen- und Bodenvorbereitung muss der Silphie ebenso viel Aufmerksamkeit wie einer Feinsämerei oder Sonderkultur gezollt werden.

### Pflanzung und Aussaat

Die Samen der Silphie benötigen zum Keimen generell eine Keimstimulation, sonst keimen sie sehr unregelmäßig. Zudem entwickeln sich die Jungpflanzen nur langsam, sodass es bei einer Direktsaat mit unbehandeltem Saatgut zu erheblichen Problemen durch die mangelnde Konkurrenzkraft gegenüber Unkräutern kommen kann. Die Aussaat vorbehandelten Saatgutes mit Einzelkorndrillmaschinen sowie die Pflanzung vorkultivierter Jungpflanzen sind möglich.

Die Aussaat sollte von Mitte April bis spätestens Mitte Juni erfolgen, eine Pflanzung ist bis Mitte Juli möglich. Am günstigsten ist der Zeitraum von Mitte bis Ende Mai. Damit wird gewährleistet, dass die Pflanzen im ersten Jahr eine kräftige Rosette und im zweiten Standjahr einen hohen Ertrag bilden. Bei späterer Anlage drohen ungleichmäßig schossende, dünne Bestände im zweiten Jahr und damit verbunden ein höherer Unkrautdruck sowie letztlich Ertragseinbußen (Abb. 26).

Die Saatstärke beträgt 12 bis 15 keimfähige Samen/m<sup>2</sup>, die Pflanzdichte 4 Pflanzen/m<sup>2</sup>. Versuche haben gezeigt, dass auch bei geringeren Bestandesdichten hohe Erträge realisierbar sind. Problematisch wird es in diesem Fall jedoch, wenn zur Anlage keine optimalen Bedingungen herrschen, der Aufgang lückig ist oder Pflanzen ausfallen. Reihenabstände zwischen 50 bis 75 cm sind möglich und richten sich in erster Linie nach der vorhandenen Sä- bzw. Pflanz- sowie Pflégetechnik.

Aufgrund des geringeren Anlagerisikos ist gegenwärtig die Pflanzung das dominierende Verfahren. Die durch das Auspflanzen verursachten Kosten amortisieren sich bei einer Standzeit von 11 bis 12 Jahren. Nach Klärung noch offener Fragen im Anbauregime und der Erzeugung ausreichender Saatgutmengen wird jedoch die Direktsaat die stärkere Bedeutung erlangen. Eine Anlage der Bestände unter Deckfrucht ist zwar bei optimalen Bedingungen möglich, aber mit einem extrem hohen Risiko behaftet und deshalb, in Anbetracht der hohen Anlagekosten und der angestrebten langen Nutzungsdauer, generell nicht zu empfehlen.

### Pflanzenschutz

Aufgrund der langsamen Jugendentwicklung der Silphie stellt die Sauberhaltung der Bestände eine Herausforderung dar. Nach der Saat bzw. Pflanzung besitzt sie ca. 8 bis 12 Wochen nur geringe Konkurrenzfähigkeit gegenüber Unkräutern, was Unkrautbekämpfungsmaßnahmen unab-

dingbar macht. Zugelassene Herbizide für die Silphie gibt es zum gegenwärtigen Zeitpunkt nicht und eine Anwendung von Pflanzenschutzmitteln, die nicht für die jeweilige Kultur zugelassen sind, ist laut Pflanzenschutzgesetz (PflSchG) verboten. Über den aktuellen Zulassungsstand bzw. die Möglichkeiten der Erteilung von Genehmigungen der Anwendung von Pflanzenschutzmitteln nach § 22, Absatz 2, PflSchG, informieren die zuständigen Pflanzenschutzstellen. Aufgrund der weiten Reihenabstände sind mechanische Pflegemaßnahmen, z. B. eine Maschinenhacke, möglich. Bei rechtzeitiger Anlage schließt die Silphie ab dem 2. Standjahr die Bestände und entwickelt sich sehr üppig, Unkrautbekämpfungsmaßnahmen sind in diesem Fall nicht mehr erforderlich.

Tierische Schädlinge traten bisher in Beständen der Durchwachsenen Silphie nicht in ertragsrelevantem Umfang auf. Bei größerem Anbauumfang kann es in ungünstigen Jahren und in Abhängigkeit von der Vorfrucht zum Auftreten von *Sclerotinia* kommen. Bei stärkerem Befall sollte schnellstmöglich geerntet werden, um die Bildung von Dauerkörpern des Pilzes einzuschränken. Erfahrungsgemäß regenerieren sich die Bestände im Folgejahr. Auch Cladosporium-Arten, die im Sommer bis zu 90 % aller luftgetragenen Schimmelpilze der Außenluft ausmachen, wurden bei anhaltend feuchter Witterung bereits auf Pflanzen der Durchwachsenen Silphie diagnostiziert, verursachten aber keine Ertragseinbußen.

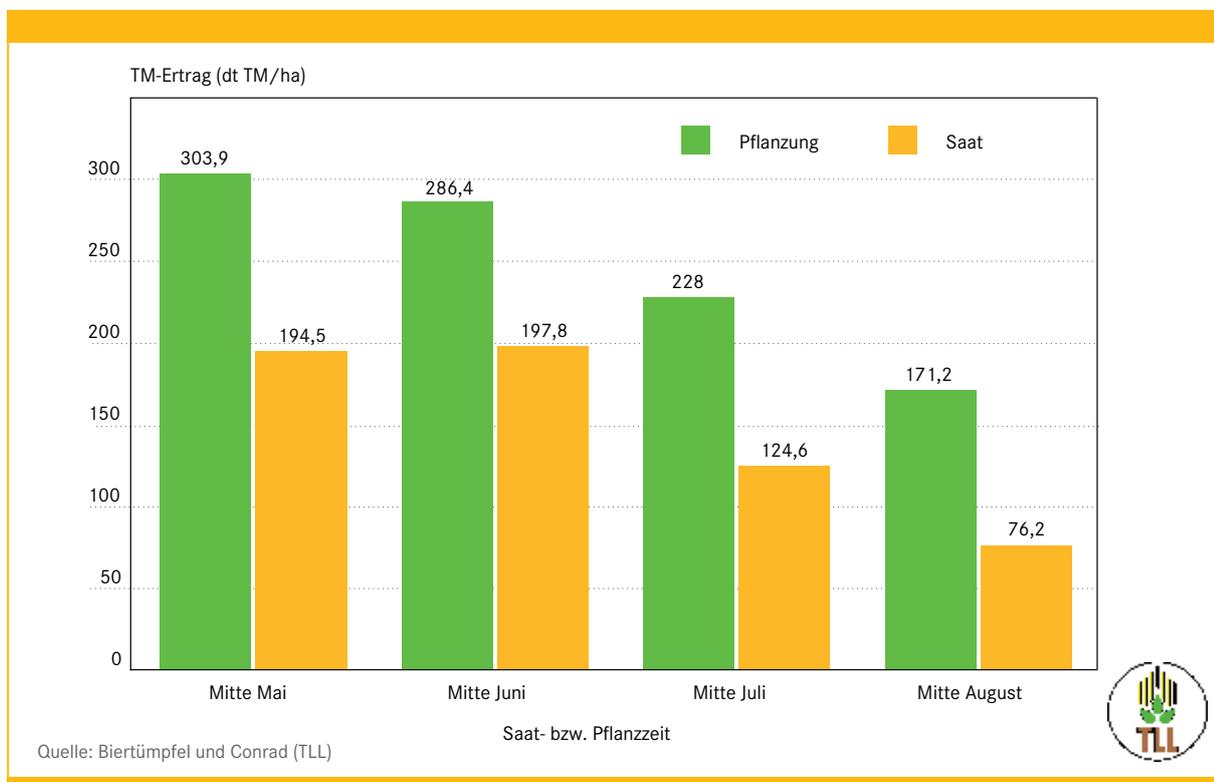


Abb. 26: Einfluss der Pflanz- bzw. Saatzeit auf den TM-Ertrag von Durchwachsener Silphie im ersten Erntejahr, Versuchsstandort Dornburg 2010

## Düngung

Um eine Dezitonne Trockenmasse zu produzieren, benötigt die Silphie etwa 0,9 bis 1,0 kg Stickstoff, was in etwa dem N-Bedarf von Silomais entspricht. Demzufolge beträgt der N-Sollwert der Silphie zu Beginn jeden Vegetationsjahres in Abhängigkeit von der Ertragserwartung 130 bis 160 kg N/ha. Im Anlagejahr ist eine Startgabe von ca. 50 kg N/ha ausreichend. Der Stickstoff kann mineralisch verabreicht werden. Eine organische Düngung mit Gärresten verwertet die Silphie sehr gut (Abb. 27). Allerdings sollte die Düngung relativ früh zum Austrieb erfolgen, um Beschädigungen an den Schosstrieben gering zu halten.

Das Prinzip der Grunddüngung besteht mittelfristig im Ersatz des Nährstoffzuges bzw. der -abfuhr vom Feld bei einem anzustrebenden optimalen Niveau des Nährstoffversorgungszustandes des Bodens (Gehaltsklasse C für P, K, Mg und pH-Klasse C). Bei einem Ertragsniveau von 150 dt TM/ha ist mit Entzügen von 25 bis 30 kg P/ha, 150 bis 200 kg K/ha, 50 bis 70 kg Mg/ha sowie 200 bis 250 kg Ca/ha zu rechnen.

## Ernte und Aufbereitung

Die Ernte der gesamten Pflanze erfolgt bei TS-Gehalten zwischen 26 und 28 % mit einem praxisüblichen Feldhäcksler, wobei die Silphie Überfahrten mit schwerer Technik auch bei widrigen Bodenverhältnissen toleriert. Praxisversuche und eigene Untersuchungen haben gezeigt, dass die Silphie bereits bei 25 % TS nur noch sehr wenig Sickersaft bildet. Je nach Anbauregion erreicht die Silphie die Erntereife Ende August bis Ende September. Die Pflanzen befinden sich zu diesem Zeitpunkt im Sta-

dium Blühende/Beginn Samenreife. Für die exakte Festlegung des Erntetermins ist eine TS-Bestimmung zu empfehlen. Eine zu späte Ernte zieht Einbußen hinsichtlich der Methanausbeute nach sich.

Nach der Ernte wird das Häckselgut siliert. Bei geringerem Flächenumfang kann dies zusammen mit Mais erfolgen. Der Ertrag liegt je nach Standortgüte zwischen 100 und 180 dt TM/ha im 2. Anbaujahr und steigt in der Regel im 3. Anbaujahr noch einmal um ca. 10 % an. Damit wird an den meisten Standorten das Silomaisniveau erreicht oder sogar übertroffen (Abb. 28).

## Verwertung

Die Silage der Durchwachsenen Silphie ist als Viehfutter bzw. Koferment für die Biogasanlage geeignet. Letztgenannte Verwertungsart wird gegenwärtig für landwirtschaftliche Biogasanlagen favorisiert. Die Methanausbeuten der Silphie liegen etwa 10 bis 15 % unter Mais. Durch die teilweise höhere Biomasseleistung bewegen sich damit die Methanerträge je Flächeneinheit beider Fruchtarten auf etwa dem gleichen Niveau.

Als ausdauernde Staude ist die Durchwachsene Silphie für eine langjährige Nutzung prädestiniert. Bei einer zweimaligen Beerntung pro Jahr zu Futterzwecken ist lt. Literatur eine 15-jährige Standzeit möglich. Thüringer Versuche laufen gegenwärtig über acht Jahre ohne Ertragseinbußen (Abb. 29). Aufgrund des einschnittigen Ernteregimes zur Substratgewinnung sollte die mögliche Nutzungsdauer mindestens 15 Jahre betragen. Längere Nutzungszeiten sind durchaus wahrscheinlich und erhöhen natürlich auch die

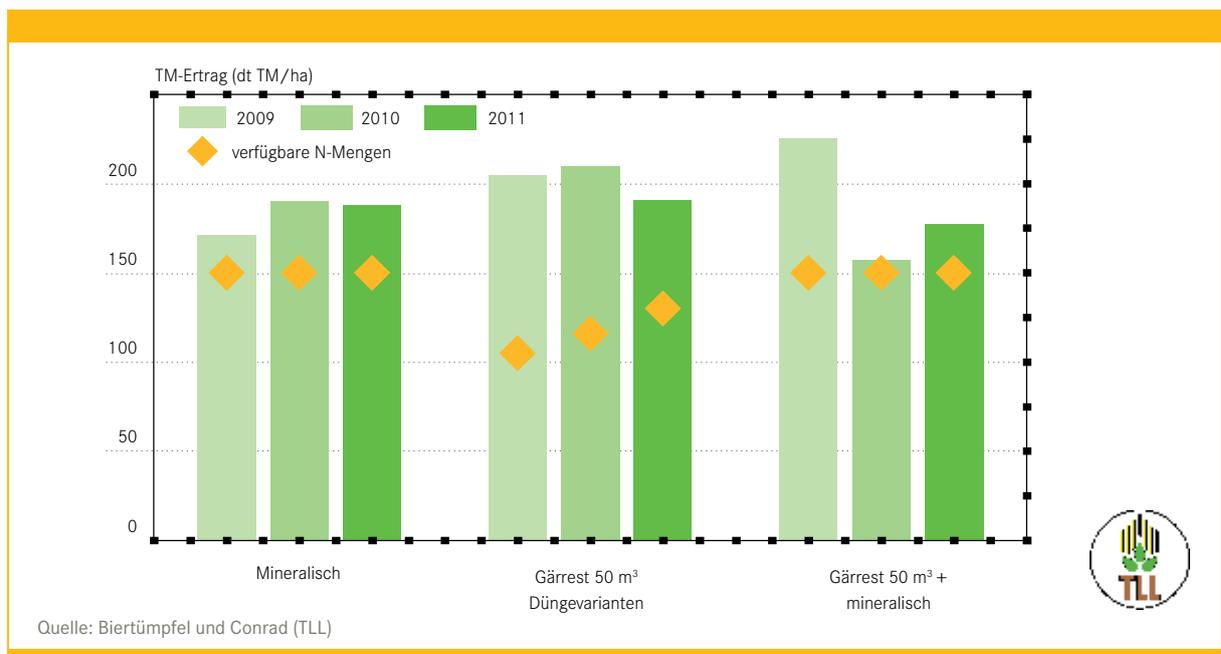


Abb. 27: Einfluss der Düngung auf den Ertrag von Durchwachsener Silphie, Versuchsstandort Dornburg 2009 bis 2011

Wirtschaftlichkeit des Anbaus. Wird die Silphie auf Pachtflächen angebaut, muss dies unbedingt beachtet und entsprechend langfristige Pachtverträge abgeschlossen werden. Der Anbauumfang der Silphie beläuft sich gegenwärtig (2011) in Deutschland auf ca. 150 ha und wird sich in 2012 voraussichtlich deutlich erhöhen.

Autoren: Biertümpfel, A.; Conrad, M.  
(Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft)



Abb. 28: TM-Erträge unterschiedlicher Herkunft der Durchwachsenen Silphie in Abhängigkeit vom Standort, Versuchsstandorte Dornburg, Gülzow, Bingen und Heßberg, Mittel der Jahre 2008 bis 2010

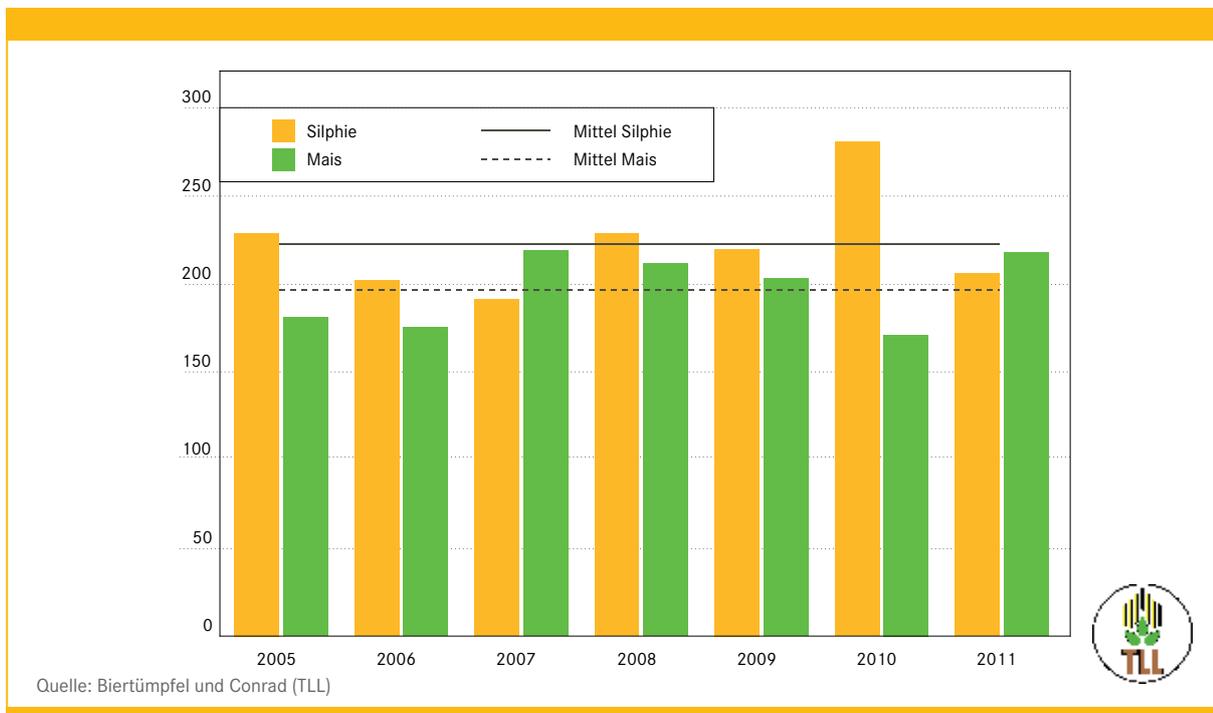


Abb. 29: TM-Erträge von Durchwachsener Silphie bei langjähriger Nutzungsdauer im Vergleich zu Silomais „Athletico“, Versuchsstandort Dornburg 2005 bis 2011



## 2.9 Welsches Weidelgras im Winterzwischenfruchtanbau

### Allgemeines

Welsches Weidelgras ist ein schnellwüchsiges, mittelhohes Obergras, das blattreiche Horste bildet. Es zählt zu den leistungsfähigsten Gräserarten und stellt hohe Ansprüche an die Nährstoff- und Wasserversorgung. In Biogasfruchtfolgen kann es als Winterzwischenfrucht genutzt werden. Dabei wird im Frühjahr ein Schnitt genommen, danach folgt in aller Regel Silomais. Ausführliche Anbau- und Nutzungsempfehlungen sind unter [www.lfl.bayern.de/ipz/pflanzenbau\\_biogas/30222/weidelgras\\_substrat.pdf](http://www.lfl.bayern.de/ipz/pflanzenbau_biogas/30222/weidelgras_substrat.pdf) dargestellt.

### Standortansprüche

Welsches Weidelgras gedeiht am besten in luftfeuchten und niederschlagsreichen Lagen. Bei Kahlfrösten oder langer Schneebedeckung ist das Auswinterungsrisiko hoch. Nach Beendigung der Vegetationspause benötigt Weidelgras in Abhängigkeit von der Temperatur eine Wachstumszeit von 60 bis 90 Tagen bis zur Ernte. Erntetermin für die Biogasproduktion ist etwa zum Ährenschieben.

Voraussetzung für einen erfolgreichen Anbau sind ausreichende Niederschläge nach der Saat. In Gebieten mit Sommertrockenheit ist der Anbau von Welschem Weidelgras riskant.

### Bodenbearbeitung, Saatbettbereitung, Saattechnik und Reihenweite

Für einen guten Aufgang sowie eine optimale Bestandesentwicklung ist eine hauptfruchtmäßige Bestellung unbedingt erforderlich. Üblicherweise erfolgt im Spätsommer eine Blanksaat. Die Ablagetiefe beträgt 1 bis maximal 1,5 cm bei einer Reihenweite von 12 bis 15 cm. Engere Reihenweiten sind wegen des früheren Bestandesschlusses und der besseren Unkrautunterdrückung günstiger. Eine Drillsaat ist der Breitsaat vorzuziehen, da die Drillsaat in der Regel ein sicheres Auflaufen gewährleistet.

### Saattermin, Saatstärke

Bei einer Herbstnutzung liegt der optimale Saattermin Mitte Juli bis spätestens Ende Juli. Bis Anfang September ist noch eine Aussaat für die Frühjahrsnutzung möglich, spätere Saaten sind in aller Regel nicht ausreichend winterhart. Die Saatstärke beträgt rund 35 kg/ha bei diploiden Sorten und 40 kg/ha bei tetraploiden Sorten.

### Sortenwahl, Saatgut

Die in Bayern für den Anbau empfohlenen Sorten sind unter [www.lfl.bayern.de/ipz/gruenland/05048/empf\\_wel\\_weidelgras.pdf](http://www.lfl.bayern.de/ipz/gruenland/05048/empf_wel_weidelgras.pdf) stets aktuell abrufbar.

Auch in den Versuchsberichten sind Informationen verfügbar ([www.lfl.bayern.de/ipz/gruenland/09212/index.php](http://www.lfl.bayern.de/ipz/gruenland/09212/index.php)). Eine weitere Hilfestellung bietet das Qualitätssiegel der „Bayerischen Qualitätssaatgutmischungen“, da hier nur empfohlene Sorten verwendet werden dürfen ([www.lfl.bayern.de/ipz/gruenland/05545/index.php](http://www.lfl.bayern.de/ipz/gruenland/05545/index.php)).

Unter bayerischen Anbaubedingungen ist insbesondere auf die Winterhärte der Sorten zu achten. Ein weiteres Kriterium ist der Ertrag im ersten Schnitt.

Diploide Sorten haben zur Ernte einen um rund 2 % höheren Trockensubstanzgehalt als tetraploide Sorten.

### Platz in der Fruchtfolge, Eignung als Erstkultur im Zweikulturnutzungssystem

Bei einer Herbstnutzung kommen nur früh räumende Kulturen infrage. Bei einem Saattermin Anfang September können nur die Kulturen genutzt werden, die bis dahin das Feld räumen.

Die frühe Ernte des Welschen Weidelgrases (Anfang bis Mitte Mai) erlaubt den nachfolgenden Anbau von Haupt- oder Zweitfrüchten wie Mais oder Sorghumhirsen. Gerade Hirsen, die aufgrund ihres hohen Temperaturanspruchs nicht vor Mitte Mai gesät werden dürfen, eignen sich gut, da hier die optimale Saatzeit nicht verzögert wird. Grundsätzlich gilt aber für jede Form der Zweitfruchtanbau, dass eine ausreichend hohe Niederschlagsmenge (> 700 mm Jahresniederschlag) und eine hohe Wasserspeicherkapazität des Bodens gegeben sein muss.

Wegen der Gefahr des Wiederaustriebes muss die Grasnarbe sorgfältig eingearbeitet werden. Auf schweren Böden kann eine Pflugfurche im Frühjahr das Bodengefüge empfindlich stören.

### **Pflege, Pflanzenschutz und Winterhärte**

Aufgrund der hohen Konkurrenzkraft und Toleranz gegenüber einer normalen Mischverunkrautung ist ein Herbizideinsatz meist unnötig. Eine bewährte Pflegemaßnahme ist der Schröpfungsschnitt im Herbst. Der Bestand kann mit einer Höhe bis 15 cm in den Winter gehen. Höhere Bestände sind durch Mäuse und Pilzbefall gefährdet, sodass bei über 15 cm Wuchshöhe eine Nutzung zu empfehlen ist.

### **Düngung**

Das Welsche Weidelgras reagiert sehr stark auf die Stickstoffdüngung. Das volle Ausschöpfen des Ertragspotenzials ist nur bei einer optimalen N-Düngung möglich. Hohe N-Gaben bewirken ein zügigeres Wachstum, aber auch eine raschere Alterung.

Späte Saat, keine Nutzung im Herbst: Bei einer späten Saat und entsprechend niedriger N-Aufnahme vor Winter kann eine Gabe mit Gärrest ausgebracht werden. Bei Saat im Spätsommer/Herbst dürfen auf Ackerland nach der Ernte der letzten Hauptfrucht vor dem Winter mit Gülle, Jauche und sonstigen flüssigen organischen sowie organisch-mineralischen Düngemittel maximal 40 Kilogramm Ammoniumstickstoff oder maximal 80 Kilogramm Gesamtstickstoff ausgebracht werden. Ganz wichtig für die Ertragsbildung ist die frühzeitige Andüngung zu Vegetationsbeginn. Dazu ist eine N-Versorgung in Höhe des zu erwartenden N-Entzuges (rund 100 kg N/ha) nötig. Zu Vegetationsbeginn kann die Düngung über organische Dünger ausgebracht werden.

Frühe Saat, ein Ertragsschnitt im Herbst: Bei einer frühen Saat Mitte Juli ist ein Ertrag von 30 dt/ha zu erwarten. Über eine entsprechende N-Düngung im Herbst, z. B. 70 kg  $\text{NH}_4\text{-N}$ /ha aus Gärrest plus 30 kg N/ha als mineralischer Dünger, ist dem Rechnung zu tragen. Die N-Düngung zum ersten Schnitt des Folgejahres entspricht der im vorigen Punkt beschriebenen.

Beim Einsatz von organischen Düngern ist unbedingt auf eine verlustfreie und bodenschonende Ausbringtechnik zu achten.

Die Entzüge an den Grundnährstoffen P bzw. K können über den Ertrag und die mittleren Nährstoffgehalte abgeschätzt werden ( $\text{P}_2\text{O}_5$ : 0,75 kg je dt Trockenmasse;  $\text{K}_2\text{O}$ : 3 kg je dt Trockenmasse).

### **Ernte, Ernteverfahren, -termin**

Im Herbst wird Welsches Weidelgras zum Ende der Vegetationszeit (Mitte Oktober) geerntet. Im Frühjahr erfolgt die Ernte etwa zum Ährenschieben. Eine spätere Ernte erhöht zwar den Ertrag, schiebt aber die Aussaat der nachfolgenden Zweitfrucht unverhältnismäßig weit auf.

Für die Silierung ist das Erntegut auf mindestens 28 % Trockensubstanz, bei hohen Silostapeln besser auf 30 % Trockensubstanz anzuwelken. Eventuell anfallender Sickersaft ist unbedingt aufzufangen. Ganz wichtig ist eine hohe Verdichtung im Silo. Je höher der Trockensubstanzgehalt bei der Ernte ist, desto mehr Sorgfalt ist beim Befüllen und Verdichten aufzuwenden.

Auf schweren Böden und bei zu feuchten Erntebedingungen besteht das Risiko, dass durch hohe Achslasten bei der Ernte des Weidelgrases Strukturschäden entstehen.

### **Erträge, Qualität des Ernteprodukts, Methanausbeute**

Beim ersten Schnitt im Frühjahr ist mit einem Ertrag von gut 40 dt TM/ha zu rechnen. Die Winterwitterung und die Standortgüte sind entscheidend für die Ertragshöhe. Der Ertrag der Herbstnutzung ist mit rund 30 dt TM/ha zu veranschlagen.

Bei der Vergärung von Welschem Weidelgras ist mit einer spezifischen Methanausbeute von rund 330 Normliter  $\text{CH}_4$  je Kilogramm organischer Trockenmasse zu rechnen. Dies entspricht in etwa der mittleren Methanausbeute anderer Substrate, wie Mais oder Getreide-GPS. Bei gering lignifiziertem Material wie dem Welschen Weidelgras ist kein Effekt einzelner Inhaltsstoffe zu erwarten. Deshalb sind alle pflanzenbaulichen Maßnahmen auf die Ausschöpfung des standortspezifischen Ertragspotenziales auszurichten, ohne dass Qualitätsaspekte von Bedeutung sind.

Unter der Annahme einer mittleren Methanausbeute von 330 NI  $\text{CH}_4$ /kg oTM und eines Ertrages von rund 40 dt/ha ergibt sich ein Methanertrag je Hektar von rund 1.300  $\text{m}^3$ .

Nachteilig ist lediglich der hohe Aschegehalt, der rund 10 % an der Trockenmasse ausmacht.

Welsches Weidelgras kann auch in der Rinderfütterung eingesetzt werden. Diesbezügliche Empfehlungen finden sich unter [www.lfl.bayern.de/ite/rind/42157/index.php](http://www.lfl.bayern.de/ite/rind/42157/index.php).

### Ökologische Aspekte

Der Anbau von Welschem Weidelgras ist unter ökologischen Aspekten vorteilhaft. Die Nährstoffaufnahme vor der Winterruhe sowie die frühe einsetzende und hohe Nährstoffaufnahme zu Vegetationsbeginn verhindern weitgehend die Nährstoffauswaschung und erleichtern gleichzeitig eine umweltschonende Ausbringung von Gärrest. Die intensive Bodenbedeckung senkt die Erosionsgefahr ganz erheblich. Die starke Durchwurzelung, der gute Garezustand und die Zufuhr an organischer Substanz über Wurzeln und Stoppeln tragen zu dem hohen Vorfruchtwert bei. Der geringe Pflanzenschutzmitteleinsatz ist ebenfalls positiv hervorzuheben. In Fruchtfolgen mit Mais wird die winterliche Brachezeit verkürzt. Dadurch kann auf günstigen Standorten in der Anbaufolge Mais nach Welschem Weidelgras insgesamt mehr Biomasse und damit Methan erzeugt werden als mit alleinigem Maisanbau. Somit werden die Ressourcen Strahlung und Wasser effizienter genutzt.

Nachteilig ist der hohe Wasserverbrauch durch das Welsche Weidelgras. Dies kann den Ertrag der Folgefrüchte beeinträchtigen, reduziert aber auch die Sickerwasserspende.

Als problematisch im Hinblick auf die Auswirkungen auf bestimmte Tierarten wird beim Anbau von Welschem Weidelgras als Winterzwischenfrucht der frühe Erntezeitpunkt im Mai gesehen. Die Ernte fällt somit exakt in die Brut- und Nestlingszeit fast aller bodenbrütender Vogelarten (z. B. Feldlerche, Schafstelze, Rebhuhn). Eine Ernte zu diesem Zeitpunkt führt zum Verlust sämtlicher Nester und Jungvögel auf diesen Flächen.

Beim Anbau von Welschem Weidelgras als Winterzwischenfrucht sollte geprüft werden, ob bodenbrütende Vogelarten in der Flur vorkommen. Gegebenenfalls sollten Maßnahmen zum Schutz der Neststandorte bzw. Ausweichstandorte angeboten werden. Hierbei können die UNB (Untere Naturschutzbehörden) an den Landratsämtern, die Ämter für Landwirtschaft und der Landesbund für Vogelschutz (LBV) behilflich sein.

*Autoren: Hartmann, S. (Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung, LfL); Stickse, E. (Abteilung Versuchsbetriebe – Versuchswesen, Biometrie, LfL)*

*Nachdruck mit freundlicher Genehmigung des Biogas Forums Bayern*



## 2.10 Weidelgras-Untersaaten in Wintergetreide zur GPS-Nutzung

### Allgemeines

Untersaaten in der Pflanzenproduktion dienen der Erosionsminderung, Unkrautregulierung und Bodenpflege. In der Praxis kommt das Verfahren verbreitet in ökologischen Betrieben zum Einsatz. Die erfolgreiche Etablierung der Untersaat verlangt gute Kenntnisse über den Standort sowie über die Konkurrenz der geplanten Kulturen.

Gegenüber der Blanksaat nach der GPS-Ernte bietet die Untersaat den Vorteil einer besseren und früheren Etablierung des Weidelgrases. Damit kann ein Entwicklungsvorsprung des Weidelgrasbestandes realisiert werden. Verminderte Saatgutkosten (reduzierte Saatstärke des Getreides) sowie verminderter Arbeitsaufwand in der Bodenbearbeitung und Unkrautregulierung lassen die Untersaaten zu einem kostenextensiven Verfahren werden.

Der Einsatz einer Untersaat in Wintergetreide in der Biogasproduktion kann als bodenschonendes und erosionsminderndes Fruchtfolgeglied maisbetonte Fruchtfolgen auflockern und zudem insbesondere auf niederschlagsreichen Standorten gute Erträge liefern.

### Standortansprüche

Die Untersaat im Wintergetreide stellt eine Zweitfruchtnutzung dar, die grundsätzlich eine hohe Standortgüte voraussetzt. Für einen ertragreichen Zweitfruchtanbau sind ausreichend hohe Jahresniederschlagsmengen (> 700 mm) und ein gutes Wasserhaltevermögen der Böden maßgebend. Weidelgras bevorzugt niederschlagsreiche, milde Standorte. Kältere Lagen mit langer Schneebedeckung können zu Auswinterungsschäden führen.

Weitere Informationen zum Zweikulturnutzungssystem:

- Zweikulturnutzungssystem (ZKNS) im Vergleich zu herkömmlichen Anbauverfahren ([www.biogas-forum-bayern.de/publikationen/ZKNS.im.Vergleich.zu.herkoemmlichen.Anbauverfahren.pdf](http://www.biogas-forum-bayern.de/publikationen/ZKNS.im.Vergleich.zu.herkoemmlichen.Anbauverfahren.pdf))

### Bodenbearbeitung und Saat

Saatbettbereitung und Saattechnik des Getreides für die GPS-Nutzung entsprechen denen des Getreides für die Kornnutzung.

Für optimalen Aufgang sowie Bestandesentwicklung der Gräser ist unbedingt eine Bestellung wie für Feinsämereien üblich nötig. Die kleinen Grassamen brauchen für einen lückenlosen Aufgang ein feines Saatbett. Besonders wichtig ist ein guter Bodenschluss. Gräser reagieren beim Auflaufen auf mangelnden Anschluss an die Untergrundfeuchtigkeit sehr empfindlich. Bei zu lockerem Saatbett ist eine zu tiefe Saat zu befürchten. Deshalb ist bei der



Saatbettbereitung eine zu tiefe Lockerung des Bodens zu vermeiden. Die Ablagetiefe beträgt 1 bis maximal 1,5 cm bei einer Reihenweite von 12 bis 15 cm. Engere Reihenweiten sind wegen des früheren Bestandesschlusses und der besseren Unkrautunterdrückung günstiger. Eine Drillsaat ist der Breitsaat vorzuziehen, da die Drillsaat in der Regel ein sicheres Auflaufen gewährleistet.

Die Saat von Deckfrucht und Untersaat sollte aufgrund der unterschiedlichen Ansprüche an die Saattiefe in getrennten Arbeitsgängen erfolgen. Die Mischung des Saatgutes beider Kulturen und deren Ausbringung in einem Arbeitsgang ist umso kritischer zusehen, je ungünstiger die Saatbedingungen insgesamt sind. Abhängig von der Wachstumsintensität der Untersaat kann auch das zeitlich getrennte Ansaatverfahren (Deckfrucht im Herbst, Untersaat im Frühjahr) gewählt werden (Deckfrucht- und Untersaat zeitnah im Herbst).

Die Untersaat Weidelgras kann im frühen Herbst (bis Ende Sept.) zeitnah mit der Getreide-Deckfrucht ausgebracht werden. Spätere Saaten sind meist nicht mehr winterhart. Das Getreide wird mit der Drillmaschine, wie bei der Kornnutzung, ausgebracht. Im Anschluss wird die Untersaat zeitnah als Drillsaat (wie oben beschrieben) quer zur Deckfrucht gesät (Deckfruchtsaat im Herbst, Untersaat im Frühjahr).

In bereits dünner gesäte und nicht überwachsene Wintergetreidebestände können übliche Mengen Ackergras eingesät werden. Hierbei sind frühe Termine zu Vegetationsbeginn günstig. Die Drillsaat muss dann technisch bedingt zwischen den Reihen durchgeführt werden.

Da Deckfrucht und Untersaat um Wasser, Licht und Nährstoffe konkurrieren, muss die Saatstärke für die Deckfrucht um mind. 1/3 der ortsüblichen Saatstärke reduziert werden. Weidelgras wird mit den üblichen Mengen von etwa 35 kg/ha gesät. Zu hohe Bestandesdichten des Getreides, wie auch zu späte GPS-Ernte beeinträchtigen den Aufwuchs der Untersaat.

## Artenwahl, Sortenwahl

Prinzipiell können alle Getreidearten für das Untersaat-Verfahren eingesetzt werden. Gute Erfahrungen wurden mit Winterroggen und Gerste gemacht. Die Triticale- und Weizen-GPS-Ernte ist recht spät, sodass die Vegetationszeit für das Weidelgras zu kurz wird. Bei der Sortenwahl der Deckfrucht ist auf Standfestigkeit zu achten, da Lager die Untersaatentwicklung stark mindert.

Bei der Wahl des Weidelgrases spielt die geplante Nutzungsdauer eine Rolle. Man unterscheidet:

### • Sommerjährige Nutzung

- Aussaat und Umbruch werden im selben Jahr durchgeführt. Das Weidelgras wird im Frühjahr in den GPS-Bestand gesät und im Laufe des Jahres wieder umgebrochen. Für kurze Nutzungszeiträume ist bevorzugt Einjähriges Weidelgras zu wählen.
- Je nach der Zahl, der nach der GPS-Ernte geplanten Schnitte, ist die Wahl unterschiedlich auszurichten. Ist nur noch Vegetationszeit für einen Ertragsschnitt, ist das Einjährige Weidelgras mit besonderer Eignung für den Zwischenfruchtbau vorzuziehen. Sollen hingegen noch mehrere Schnitte folgen ist Einjähriges Weidelgras für den Hauptfruchtbau zu wählen, da nur bei diesen das Nachwuchsvermögen geprüft ist.

### • Überjährige Nutzung

- Die Nutzungsdauer beträgt dabei Ansaatjahr plus ein folgendes Hauptnutzungsjahr. Dies entspricht der zeitnahen Ansaat der Deckfrucht mit dem Weidelgras im Herbst. In der Regel ist Welsches Weidelgras für dieses Verfahren zu wählen.
- Je nach Standort und Lage können auch Mischungen mit Einjährigem Weidelgras sinnvoll sein. Nur auf milden Standorten mit geringer Gefahr des Auswinterns sollten solche Mischungen angebaut werden.

### • Mehrjährige Nutzung

- Die Nutzungsdauer beträgt dabei Ansaatjahr plus zwei bis drei Hauptnutzungsjahre. Für mehrjährige Nutzungen ist Deutsches Weidelgras in einer Mischung mit Welschem und/oder Bastardweidelgras zu wählen. Kosten für Saatgut und Bestellung werden hierbei auf mehrere Jahre verteilt und das Ansaatrisko tritt nur einmal im verlängerten Nutzungszeitraum auf.

Relevante Kriterien für die Sortenwahl sind bei Arten mit längerer Nutzungsdauer vor allem die Winterhärte und der Gesamtertrag. Je kürzer der geplante Nutzungszeitraum ist, umso wichtiger ist das Ertragsvermögen zum ersten Schnitt.



Weitere Informationen zur Sortenwahl bei der Grasuntersaat können folgenden Links entnommen werden:

- empfohlenen Sorten für den Anbau in Bayern [www.lfl.bayern.de/ipz/gruenland/05048/](http://www.lfl.bayern.de/ipz/gruenland/05048/)
- Qualitätssiegel „Bayerische Qualitätssaatgutmischungen“ [www.lfl.bayern.de/ipz/gruenland/05545/index.php](http://www.lfl.bayern.de/ipz/gruenland/05545/index.php)

## Platz in der Fruchtfolge

Als Deckfrucht kommen bevorzugt Wintergerste und Winterroggen infrage. Vorfrüchte sind Kulturen, die bis zum Saatzeitpunkt der entsprechenden Getreideart das Feld räumen, wie z.B. Getreide, Raps und frühgeernteter Silomais.

Die Wahl der Nutzungslänge des Weidelgrases erlaubt eine Vielzahl von Kulturen im nachfolgenden Anbau. Der Ertrag der Folgefrüchte kann durch den hohen Wasserverbrauch dieses Verfahren beeinträchtigt werden.

Wegen der Gefahr des Wiederaustriebes muss die Grasnarbe sorgfältig eingearbeitet werden. Soweit möglich sollte diese vorher abgetötet werden.

## Pflege und Pflanzenschutz

Aus pflanzenschutzrechtlicher Sicht wird Wintergetreide mit einer Untersaat (z.B. Weidelgräser) als Hauptkultur betrachtet, da die Untersaat kein Bestandteil der Hauptfruchternte und -verwertung ist. Damit können Pflanzenschutzmittel eingesetzt werden, die über eine entsprechende Indikation in der jeweiligen Wintergetreideart verfügen.

Aus ackerbaulicher Sicht sollte das standortspezifische Ertragsoptimum der Wintergetreidedeckfrucht in der GPS-Nutzung angestrebt werden. Aufgrund der frühzeitigen Nutzung steht hierbei die erfolgreiche Unkrautkontrolle gegenüber der Krankheits- und Schädlingsbekämpfung im Vordergrund.

Bei der Unkrautkontrolle kann die unkrautunterdrückende Nebenwirkung der Untersaat ausgenutzt werden. Eine optimale Etablierung der Untersaat im Herbst leistet durch die Bodenbedeckung bereits eine deutliche Konkurrenz gegenüber der standortspezifischen Unkrautflora. Im günstigsten Fall kann auf einen Herbizideinsatz völlig verzichtet werden. Falls eine chemische Unkrautkontrolle erforderlich wird, sind die gängigen Herbst-Breitbandherbizide aufgrund der Unverträglichkeit für die Weidelgrasuntersaat i. d. R. nicht geeignet. Ausnahmen sind einfache Tankmischungen auf der Basis von z.B. Pendimethalin und Fenoxaprop. Bei der vorwiegend blattaktiven Unkrautbehandlung im Frühjahr sind primär rein dikotyl wirksame Herbizide wie z.B. Bromoxynil, Ioxynil, Bifenox, Fluroxypyr, Florasulam, Clopyralid, Dicamba, oder Wuchsstoffe geeignet. Der Einsatz von Sulfonylharnstoffen und reinen

Graminiziden, mit Ausnahme von Fenoxaprop, ist nicht möglich.

Während eine Schädlingsbekämpfung i.d.R. nicht erforderlich ist, sollte frühes Lager in GPS-Wintergetreide mit Gräseruntersaaten unbedingt verhindert werden. Bei Bedarf ist der Einsatz entsprechender Wachstumsregler empfehlenswert.

## Düngung

### Stickstoffdüngung

Prinzipiell kann die Stickstoffdüngung an den Bedarf von Wintergetreide für GPS-Nutzung angelehnt werden. Allerdings sind aufgrund der um 1/3 verringerten Saatstärke der Deckfrucht sowie der Möglichkeit einer frühen Ernte etwas niedrigere Aufwandmengen zu wählen. Auch um Ernteerschwernisse durch Lagergetreide zu vermeiden, sollte die N-Düngung reduziert werden. Erfolgt die erste Stickstoffgabe mit Biogasgärresten, so ist der  $\text{NH}_4\text{-N}$ -Gehalt des Biogasgärrestes aus aktuellen Laboruntersuchungen heranzuziehen. Zudem können noch maximal 10% des organischen Stickstoffanteiles im Biogasgärrest als im Anwendungsjahr verfügbar herangezogen werden. Hieraus (Summe aus  $\text{NH}_4\text{-N}$  und 10% des organischen Stickstoffanteiles im Biogasgärrest) können 75% als im Anwendungsjahr pflanzenverfügbarer Stickstoff ange-

rechnet werden. Bei einem erwarteten Frischmasseertrag des GPS-Getreides von beispielsweise 300 dt/ha ist mit einem Stickstoffentzug von ca. 170 kg N/ha nach Gelbem Heft zu rechnen. Dieser N-Entzug kann nach Abzug des  $\text{N}_{\text{min}}$  im Frühjahr sowie schlagspezifischen Zu- und Abschlägen durch mineralische oder organische Düngung gedeckt werden. Zur Förderung des vegetativen Apparates der Ganzpflanzensilage gilt es, im Gegensatz zu Kornnutzung von Wintergetreide, eine Betonung auf die erste Stickstoffgabe zu Vegetationsbeginn zu legen. Allerdings ist besonders bei Wintergerste darauf zu achten, dass eine gezielte Betonung der ersten Stickstoffgabe eine verstärkte Bestockung der Deckfrucht zur Folge hat. Dies kann sich durch eine starke Unterdrückungswirkung wiederum negativ auf die Weidelgras Untersaat auswirken. Deshalb wird in Abbildung 30 zwar eine betonte erste N-Gabe empfohlen allerdings mit reduzierter Menge im Gegensatz zu Ganzpflanzensilage ohne Untersaat.

Beispielhaft für eine gut entwickelte Winterroggen-Ganzpflanzensilage zeigt Abbildung 30 eine mögliche Düngeplanung bei 30 kg  $\text{N}_{\text{min}}$  im Boden auf. Dabei kann entweder organisch über Biogasgärreste (orange Säule) oder rein bzw. in Kombination mit Biogasgärresten mineralisch (blaue Säule) gedüngt werden.

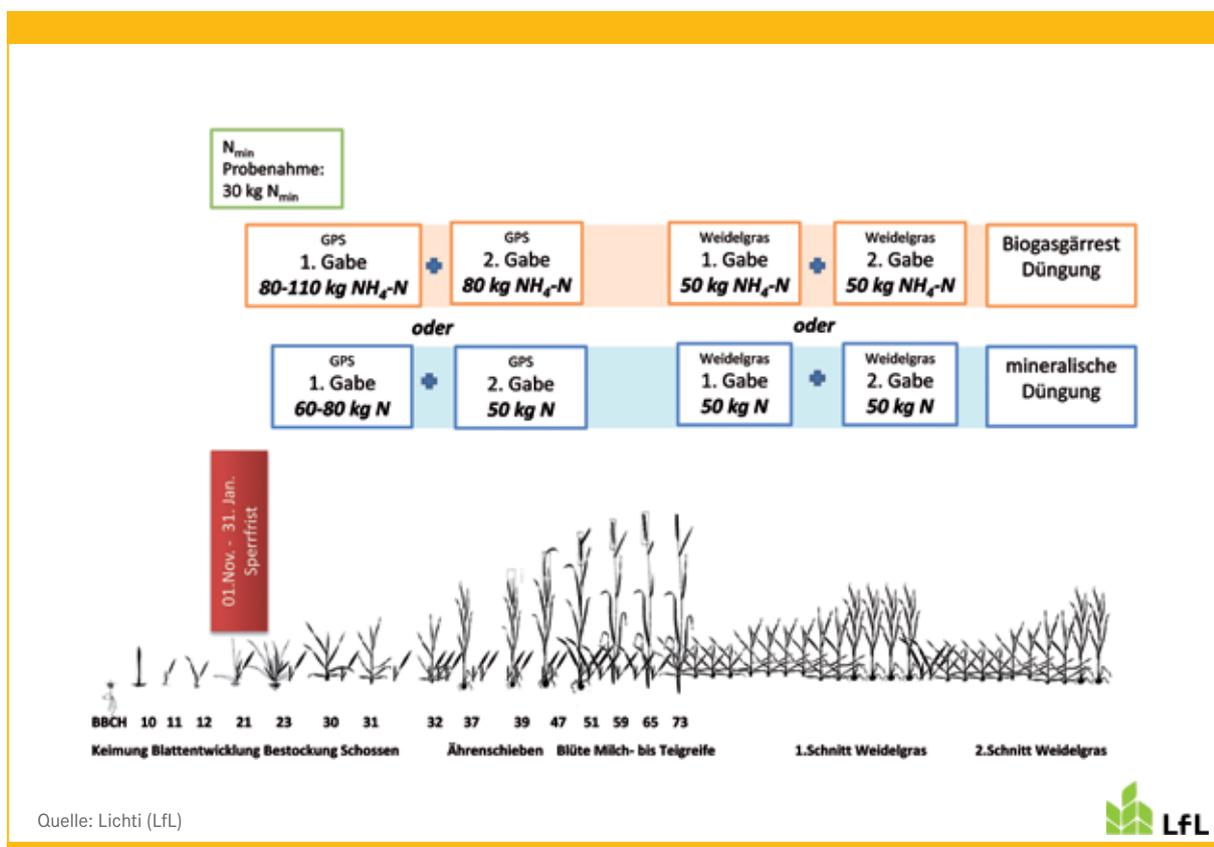


Abb. 30: Beispiel einer Düngeempfehlung zu Winterroggen Ganzpflanzensilage mit 2-schnittiger Weidelgras Untersaat

Eine Stickstoffdüngung im Herbst zu Wintergetreide ist sowohl in mineralischer Form als auch mit Biogasgärresten meist nicht ertragswirksam. Diesbezüglich ist zudem auf DüV § 4 Abs. 6 hinzuweisen. **Demnach dürfen nach der Ernte der letzten Hauptfrucht mit Biogasgärresten maximal 40 kg NH<sub>4</sub>-N- bzw. 80 kg Gesamtstickstoff aufgebracht werden.**

Als Startgabe nach der GPS-Ernte sind 50 kg N/ha für eine rasche Jugendentwicklung des Weidelgrases zu verabreichen. Für jeden weiteren Schnitt sind bei reinen Grasbeständen ca. 50 kg N/ha nötig. Dieser Bedarf kann sowohl mineralisch als auch über Biogasgärreste gedeckt werden. Da in diesem Zeitraum meist keine anderwärtige Nutzung des im Biogasgärrest gebundenen Stickstoffs möglich ist und sich die Gärrestlager weiter füllen, eignet sich dieses Anbauverfahren besonders zur Düngung mit Biogasgärresten. Hinzu kommt eine erfahrungsgemäß bessere Befahrbarkeit der Flächen. Dabei muss jedoch aufgrund der meist ungünstigeren Witterungsbedingungen bezüglich gasförmiger Stickstoffverluste bei der Düngung des Weidelgrases mit Biogasgärresten besonders auf möglichst niedrige Temperaturen sowie aufnahmefähige Böden geachtet werden. Der Einsatz verlustmindernder Ausbringungstechnik kann zudem gasförmige Stickstoffverluste verringern. Die einzelne Gärrestgabe ist auf etwa 50 kg NH<sub>4</sub>-N/ha für den folgenden Aufwuchs zu begrenzen. **Bei der Stickstoffdüngung ist zudem die Entwicklung des Weidelgrases genau zu beobachten, da trockene Jahre zu derart schwachen Beständen führen können, sodass eine N-Düngung weder notwendig noch ökonomisch sinnvoll ist.** Ebenso sollten Rest N<sub>min</sub>-Mengen aus der vorhergegangenen GPS-Nutzung des Wintergetreides insbesondere bei schlechten GPS-Erträgen bei der Düngung des Weidelgrases mit in Betracht gezogen werden.

#### **Ernte, Ernteverfahren und -termin**

Die Getreide-GPS-Ernte kann entsprechend der GPS-Nutzung ohne Untersaat zum Zeitpunkt der optimalen Siloreife erfolgen. Um jedoch dem Weidelgras eine längere Vegetationszeit einzuräumen und möglichst einen frühen ertragsreichen ersten Schnitt zu realisieren, ist auch die GPS-Ernte bereits zu Beginn des Ährenschiebens möglich.

#### *GPS-Ernte zum Zeitpunkt der optimalen Siloreife*

Der Zeitpunkt der optimalen Silierreife liegt bei 28 bis 33 % Trockensubstanz. Für Winterroggen ist dies unter bayerischen Bedingungen Anfang bis Mitte Juni. Durch die Untersaat verschiebt sich der Termin nicht – eher ist je nach Jahresverlauf (verfügbares Wasser) sogar ein etwas früherer Termin günstig.

Die allgemeinen Anforderungen zur Silagebereitstellung und Sickersaftvermeidung sind zu berücksichtigen. Folgenden Publikationen geben weitere Informationen:

- Bereitung hochwertiger Silage – die Grundlage für hohen Biogasertrag ([www.biogas-forum-bayern.de/publikationen/Bereitung\\_hochwertiger\\_Silage.pdf](http://www.biogas-forum-bayern.de/publikationen/Bereitung_hochwertiger_Silage.pdf))
- Silagesickersaft und Gewässerschutz ([www.lfl.bayern.de/publikationen/daten/informationen/p\\_35534.pdf](http://www.lfl.bayern.de/publikationen/daten/informationen/p_35534.pdf))
- Praxishandbuch Futterkonservierung – Literaturempfehlung ([www.biogas-forum-bayern.de/publikationen/Praxishandbuch\\_Futterkonservierung\\_uberarbeitet.pdf](http://www.biogas-forum-bayern.de/publikationen/Praxishandbuch_Futterkonservierung_uberarbeitet.pdf))

#### *Frühe GPS-Ernte zum Zeitpunkt des Ährenschiebens*

Da zum Zeitpunkt des Ährenschiebens (etwa Mitte Mai) der Trockensubstanzgehalt nur bei ca. 17 % liegt, ist eine Ernte aus dem Stand nicht möglich. Das Erntegut muss auf 28 % TS, bei hohen Silostapeln besser auf 30 % Trockensubstanz, angewelkt werden. Dies führt zu einem höheren Eintrag von Schmutz und Sand in den Fermenter, welches sich nachteilig in höheren Aschewerten (ca. 10 %) widerspiegelt.

#### *Ernte: Weidelgras*

Nach der Deckfruchternte Anfang/Mitte Juni bzw. Mitte Mai sowie einer ausreichenden N-Düngung setzt bei guter Wasserversorgung rasch der Wiederaustrieb und die Massenbildung der Gräser ein. Der optimale Schnitttermin für die Substratbereitstellung kann im Vergleich zum optimalen Termin der Grobfuttergewinnung für die Milchkuh je nach Alterungsgeschwindigkeit des Bestandes etwas später liegen. Für die Silierung ist das Erntegut auf den optimalen TS-Gehalt von mindestens 28 % anzuwelken.

Abhängig vom Standort und GPS-Erntezeitpunkt sind insgesamt 2–4 Folgeschnitte realisierbar. Der Umbruch kann jederzeit, ausgerichtet an den Ansprüchen der Folgefrucht, durchgeführt werden. Genauso ist eine mehrjährige Nutzung des Weidelgrases möglich.

#### **Erträge**

An der LfL wurde über 4 Jahre und 3 Standorte eine Untersaat-Mischung aus Welschem und Deutschem Weidelgras mit der Deckfrucht Winterroggen angebaut. Die GPS-Ernte wurde zu 2 Zeitpunkten (Anf. Juni mit silierfähigen TS bzw. Mitte Mai mit Anwelken) durchgeführt. Die dargestellten Erträge (Abb. 31) zeigen das Ertragspotenzial der Untersaatvariante im Vergleich zu Mais auf dem jeweiligen Standort. Deutlich wird dabei die Abhängigkeit vom Standort insbesondere bei den Erträgen des Weidelgrases. Es handelt sich um Parzellenerträge für die Praxis sind 20 % abzuziehen.

### GPS-Ernte Anfang Juni (silierfähiger TS)

Im Mittel lag der Ertrag der Deckfrucht Winterroggen bei gut 100 dt/ha Trockenmasse (TM). Schwankungen im Ertrag von 15 dt TM/ha abhängig vom Standort waren gegeben. Gegenüber einem Bestand ohne Untersaat und damit optimaler Bestandesdichte entspricht dies einem Minderertrag von ca. 20 dt TM/ha.

Der erste Schnitt des Weidelgrases brachte im Mittel mehr als 30 dt TM/ha ein, wobei auf niederschlagsreichen Standorten bis zu 40 dt TM/ha drin waren. Insgesamt konnte die Untersaat mit durchschnittlich 3 Schnitten gute 85 dt TM/ha erzielen. Auf trockenen Standorten lagen die Erträge erheblich darunter, auf feuchtkühlen Standorten konnte der Ertrag des Weidelgrases um weitere 40 dt/ha mit insgesamt 4 Schnitten gesteigert werden. Das Verfahren ist somit durch die starke Abhängigkeit der Ertragsleistung des Weidelgrases von der Wasserversorgung äußerst standortabhängig. Auf feuchtkühlen Standorten kann je nach Jahreswitterung mit diesem Verfahren ca. 90 % des Maisertrages erwirtschaftet werden.

### GPS-Ernte Mitte Mai (Anwelken)

Die frühe GPS-Ernte führte im Mittel zu einem stark reduzierten Ertrag von nur weniger als 70 dt TM/ha. Dagegen war der Ertrag des ersten Schnittes gegenüber dem der späten GPS-Ernte mit knapp 40 dt/ha deutlich höher. In Summe erreichten diese beiden Ernten das Niveau der alleinigen späten GPS-Ernte. In der Regel ermöglichte die frühe GPS-Ernte jedoch einen Schnitt mehr als dies bei der späten GPS-Ernte möglich war. Dieser konnte die starken Ertragseinbußen der frühen GPS-Ernte nicht kompensieren. Das Verfahren ist ertraglich geringfügig schwächer und zudem sehr arbeitsintensiv.

### Methanausbeute

Unter der Annahme einer mittleren Methanausbeute von 330 NI CH<sub>4</sub>/kg oTM, die geringfügig unter der vom Mais liegt, sowie eines Trockenmasseertrages unter Praxisbedingungen von 80 dt TM/ha lassen sich bei der GPS-Ernte mit einem silierfähigen TS-Gehalt Methanhektarerträge von 2.500 m<sup>3</sup> erzielen. Bei der frühen Getreide GPS-Ernte liegen die Praxiserträge bei 55 dt/ha. Mit einem leicht erhöhten Aschegehalt bei diesem Verfahren ergeben sich Methanerträge von 1.650 m<sup>3</sup>/ha.



Abb. 31: Trockenmasse-Ertrag von Deckfrucht (DF) Winterroggen und Untersaat Weidelgras (WD) zu 2 GPS-Erntezeitpunkten (Mitte Mai bzw. Anf. Juni) im Vergleich zum alleinigen GPS-Anbau und Hauptfruchtmais in Abhängigkeit vom Standort (Mittel 2007-2010)

Die mittlere Substratausbeute für Weidelgras kann mit 320 NI CH<sub>4</sub>/kg oTM angenommen werden. Unter Praxisbedingungen können nach einer GPS-Ernte mit silierfähigen TS-Gehalten noch 65 dt Trockenmasse und damit Methanerträge von knapp 1.900 m<sup>3</sup>/ha erwirtschaftet werden. In Summe erzielt dieses Verfahren in etwa 4.400 m<sup>3</sup> Methan pro Hektar.

Die frühe GPS-Ernte ermöglicht unter Praxisbedingungen 90 dt Trockenmasse und damit 2.600 m<sup>3</sup>/ha Methanerträge. In Summe liegt dieses Verfahren bei 4.250 m<sup>3</sup> Methan pro Hektar.

Der Aschegehalt sollte bei Weidelgras nicht höher als 10% liegen. Höhere Gehalte können spät im Jahr unter ungünstigen Bedingungen geerntete Aufwüchse aufweisen.

### Ökologische Aspekte

Der Einsatz von Weidelgras-Untersaat in Wintergetreide ist aus ökologischen Gesichtspunkten in vielerlei Hinsicht positiv zu bewerten. Die gute Bodenbedeckung und die damit verbundene starke Durchwurzelung bieten nicht nur einen guten Erosionsschutz, sondern führen auch

durch Verbesserung der Nährstoffbindung zu effektivem Grundwasserschutz. Die mögliche Nährstoffaufnahme vor der Winterruhe bzw. im zeitigen Frühjahr verhindert Nährstoffauswaschung und ermöglicht eine umweltschonende Gärrestausbringung. Verdrängung und Unterdrückung von Unkräutern vermindert den Herbizideinsatz. Des Weiteren verbessert die stärkere Bodendurchwurzelung die Bodenstruktur und damit die Bodenfruchtbarkeit und Humusbilanz. Die Tragfähigkeit der Böden ist erhöht. Maisbetonte Fruchtfolgen können mit dem Verfahren auflockert werden.

Nachteilig ist, wie bei der Wintergetreide GPS-Ernte allgemein, der frühe Erntezeitpunkt. Die Ernte im Mai und Juni führt zu Störung und Verlust der Brut der Feldvögel.

*Autoren: Hartmann, S. (Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung, LfL); Hofmann, D. (Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung, LfL); Lichti, F. (Institut für Agrarökologie, Ökologischen Landbau und Bodenschutz, LfL); Gehring, K. (Institut für Pflanzenschutz, LfL)*

*Nachdruck mit freundlicher Genehmigung des Biogas Forums Bayern*



Roggenblüte

## 2.11 Klee gras

### Allgemeines

Das Ertragspotenzial im Feldfutterbau ist auf den meisten Standorten niedriger als das von Silomais. Aufgrund vielfältiger pflanzenbaulicher Vorteile und der ausgesprochen Humus mehrenden Wirkung gewinnt der Feldfutteranbau in Biogasfruchtfolgen jedoch mehr und mehr an Bedeutung. Bei einer an die Nutzung und regionale Besonderheiten angepassten Wahl von Sorte, Mischung und Nutzungsintensität liefert der Feldfutterbau:

- Hohe Erträge durch die regelmäßige Nutzung des Zuchtfortschritts
- Günstige Gäreigenschaften, die eine verlustarme Konservierung begünstigen
- Möglichkeit zur gleichmäßigen Verteilung des Gärrestes über die ganze Vegetationszeit
- Humusmehrung

Vor der Saat ist die Nutzungsdauer nach den Gegebenheiten und Zielen im einzelnen Betrieb festzulegen. Man unterscheidet:

- **Sommerjährige Nutzung**
  - Dabei werden Aussaat und Umbruch im selben Jahr durchgeführt. Wegen des vergleichsweise niedrigen Ertrages stellt diese Form nur einen Notbehelf, z. B. für ausgewinterte Rotklee grasschläge, dar.
  - Nachteile: Alljährliches Ansaatrisiko, anfällig gegenüber Fröhsommertrockenheit, später 1. Schnitt.
- **Überjährige Nutzung**
  - Die Nutzungsdauer beträgt dabei **Ansaatjahr + ein Hauptnutzungsjahr**
  - Vorteile: Geringes Auswinterungsrisiko, da im 1. Winter nach der Saat eine gute Überwinterung erwartet werden kann. Der hohe Vorfruchtwert ist häufiger nutzbar; der Ertrag ist im 1. Hauptnutzungsjahr gegenüber den folgenden Jahren in der Regel deutlich höher.
- **Mehrjährige Nutzung**
  - Die Nutzungsdauer beträgt dabei **Ansaatjahr + zwei bis drei Hauptnutzungsjahre**
  - Vorteile: Die Kosten für Saatgut, Bestellung und Grundbodenbearbeitung wie auch der Aufwand werden auf mehrere Jahre verteilt. Das Ansaatrisiko tritt nur einmal im mehrjährigen Nutzungszeitraum auf.
- **Wechselgrünland**
  - Die Nutzungsdauer beträgt **zwischen zwei Umbrüchen max. 5 Jahre**, da bei einer längeren Nutzungsdauer ohne Umbruch, die Fläche ihren Status als Ackerland verliert und anschließend im Rahmen von INVEKOS als Grünland zu codieren ist. Die Mischungszusammensetzungen nähern sich mit der geplanten Nutzungsdauer denen von Dauergrünlandmischungen für intensive Nutzung an.
  - Vorteile entsprechen der mehrjährigen Nutzung.



Nutzungsdauer und Mischungsrezeptur stehen in engem Zusammenhang. Es ist nicht sinnvoll, von der für eine Mischung vorgesehenen Nutzungsdauer abzuweichen. Generell gilt, dass der Spitzenertrag (besonders im ersten Hauptnutzungsjahr) und die Nutzungsdauer negativ korreliert sind.

### Standortansprüche

Je nach Standortverhältnissen werden verschiedene Feldfutterbaumischungen empfohlen, die in dem Anteil der eingesetzten Arten und Sorten variieren.

Die Klee grassmischungen richten sich in ihren Ansprüchen an Boden und Klima vorrangig an den Hauptbestandsbildnern aus. Gemenge reagieren wesentlich elastischer (d. h. mit geringeren Ertragseinbußen) auf ungünstige Standortbedingungen als Reinsaaten.

### Bodenbearbeitung, Saatbettbereitung, -technik und Reihenweite

Für einen guten Ausgang sowie eine optimale Bestandesentwicklung ist eine Bestellung wie für Feinsämereien üblich unbedingt erforderlich. Die kleinen Kleesamen brauchen für einen lückenlosen Ausgang ein feines Saatbett. Besonders wichtig ist ein guter Bodenschluss. Die Kleearten reagieren beim Auflaufen auf mangelnden Anschluss an die Untergrundfeuchtigkeit sehr empfindlich. Bei zu lockerem Saatbett ist eine zu tiefe Saat zu befürchten. Deshalb ist bei der Saatbettbereitung eine zu tiefe Lockerung des Bodens zu vermeiden. Die Ablagetiefe beträgt 1 bis max. 1,5 cm bei einer Reihenweite von 12–15 cm. Engere Reihenweiten sind wegen des früheren Bestandesschlusses und der besseren Unkrautunterdrückung günstiger. Eine Drillsaat ist der Breitsaat vorzuziehen, da die Drillsaat in der Regel ein sicheres Auflaufen gewährleistet.

### Ansaatverfahren, Saattermin, -stärke

#### Aussaat unter Deckfrucht

bringt die größte Sicherheit für das Gelingen. Geeignete Deckfrüchte sind Grünhafer oder eine Mischung aus Einjährigem Weidelgras und einschnittigem Alexandriner Klee. Die Deckfrucht wird verhalten mit Stickstoff versorgt, um Lager zu verhindern. Die Deckfruchternte muss rechtzeitig (bei Grünhafer z. B. bei Beginn des Rispschiebens)

- also als GPS - erfolgen. Die Deckfruchternte einer Fläche sollte der Qualität wegen zu einem Termin vollständig geerntet werden. Für Knaulgras mit seiner langsamen Jugendentwicklung ist Untersaat das zu empfehlende Säverfahren.

Mit diesem Verfahren sind bereits im Ansaatjahr ca. 80 % des Ertrages eines Hauptnutzungsjahres möglich (einschließlich Ertrag Deckfrucht).

Die Untersaat unter Körnergetreide-Deckfrucht ist hingegen wegen der gegenseitigen Behinderung von Einsaat und Deckfrucht nicht unproblematisch. Nur in Trockenlagen kann die gegenseitige negative Beeinflussung geringer sein.

#### *Blanksaat im Frühjahr*

ist ebenfalls recht sicher. Bei diesem Verfahren kommt es regelmäßig zu einer hohen Verunkrautung. Ein Schröpfschnitt zur Eindämmung des Unkrautes ist notwendig. Damit ist eine späte erste Nutzung verbunden, der Ertrag des Ansaatjahres fällt gegenüber dem Verfahren „Aussaatsaat unter Deckfrucht“ ab.

#### *Blanksaat im Spätsommer*

hat mit verstärktem Anbau von früh räumendem Getreide (Wintergerste) an Umfang zugenommen. In Trockenlagen ist dieses Verfahren nicht zu empfehlen. Für Welsches Weidelgras ist Saat nach Getreide das übliche Verfahren.

**Für Frühjahrssaaten** ist ein Saattermin zur Zeit der Sommergetreidesaat zweckmäßig. Im langjährigen Vergleich der Feldfutterbauversuche des Institutes für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung zeigt sich, dass die früheren Saattermine regelmäßig den höheren Ertrag im Ansaatjahr lieferten. Der frühestmögliche Aussaattermin brachte im Vergleich zu einer drei Wochen späteren Saat einen bis zu 20 % höheren Gesamtjahresertrag.

**Für Spätsommersaat** gilt: Die Saat von Rotklee und Luzerne sowie ihre Mischungen mit Gras ist etwa bis Mitte August abzuschließen. Bei späterer Saat sind Rotklee und Luzerne auswinterungsgefährdet. Die Saat von Welschem Weidelgras soll bis 15. September erfolgt sein.

Bei allen Ansaatverfahren und Saatterminen liegt die Saattstärke je nach eingesetzter Mischung abhängig von den eingesetzten Arten und Sortentyp (TKG) sowie dem beabsichtigten Nutzungszweck bei ca. 25 bis 36 kg/ha.

#### **Sortenwahl, Saatgut**

Bezüglich der spezifischen Methanausbeute lassen sich bislang keine Unterschiede zwischen Sorten, Arten und Mischungen feststellen. Entscheidend für eine hohe Methanausbeute/kg Erntegut ist, dass dieses nicht zu stark verholzt ist. Für den am Standort maximalen Methaner-

trag/ha ist damit diejenige Sorte, Art bzw. Mischung zu wählen, mit der sich am Standort die höchsten Trockenmasse-Erträge erzielen lassen.

Die Bedeutung einer gezielten Sortenwahl wird an der Spannweite der in Landessortenversuchen ermittelten Trockenmasse-Erträge von mehr als 20 % (z. B. bei Deutschem Weidelgras) deutlich. Dies entspricht etwa dem Ertrag eines Schnittes.

Die in Bayern für den Anbau empfohlenen Mischungen sind unter [www.lfl.bayern.de/ipz/gruenland/05545/](http://www.lfl.bayern.de/ipz/gruenland/05545/), die in diesen Mischungen zu verwendenden Sorten unter [www.lfl.bayern.de/ipz/gruenland/05048/](http://www.lfl.bayern.de/ipz/gruenland/05048/) stets aktuell abrufbar.

Auch in den Versuchsberichten sind Informationen verfügbar ([www.lfl.bayern.de/ipz/gruenland/09212/index.php](http://www.lfl.bayern.de/ipz/gruenland/09212/index.php)). Eine weitere Hilfestellung bietet das Qualitätssiegel der „Bayerischen Qualitätssaatgutmischungen“, dabei dürfen nur empfohlene Sorten in langjährig bewährten Mischungen verwendet werden.

Bei Weidelgräsern haben diploide Sorten zur Ernte einen um rund 2 % höheren Trockensubstanzgehalt als tetraploide Sorten.

#### **Platz in der Fruchtfolge**

Betriebe mit einem geringen Anteil Futterbau in der Fruchtfolge (10 % und geringer) nutzen den hohen Vorfruchtwert des Futterbaues zweckmäßigerweise so oft wie möglich. In diesen Fällen ist ein überjähriger Anbau zu empfehlen.

Betriebe mit einem hohen Anteil Futterbau müssen die geringe Selbstverträglichkeit von Klee bzw. Luzerne in der Fruchtfolgegestaltung berücksichtigen. Auch das teilweise Ausweichen auf Ackergras kommt in Betracht. Eine mehrjährige Nutzung zur Senkung der Kosten (Saatgut, Bodenbearbeitung) ist sinnvoll.

Betriebe mit einem hohen Anteil Silomais können mit dem teilweisen Ersatz von Mais durch Gräser oder Kleegräser Fruchtfolgeprobleme abschwächen.

Betriebe mit einem hohen Anfall von Wirtschaftsdüngern können mit dem Anbau von reinem Gras bzw. grasreicher Mischungen viel Gärrest sinnvoll einsetzen.

Bei der Einplanung von Klee-Grasgemischen in die Fruchtfolge gelten die gleichen Gesichtspunkte wie bei Klee und Luzerne in Reinsaat. Wenn nach 2- oder 3-jähriger Nutzung eine Winterung folgen soll, ist rechtzeitiger Umbruch angebracht (z. B. schon nach dem 2. Schnitt). Die Narbe wird flach aufgerissen. Anschließend ist ihr genügend Zeit

zur „Vorrotte“ zu geben, ehe die Grundbodenbearbeitung durchgeführt wird. Folgt eine Sommerung, ist ein späterer Umbruch zweckmäßig.

Um die Stickstoffauswaschung gering zu halten, ist der Zeitraum zwischen Umbruch und Nachfruchtsaat möglichst kurz zu halten.

Der Vorfruchtwert eines gut gelungenen Kleeegrasschlages ist mindestens ebenso hoch einzuschätzen wie der einer Kleereinsaat. Die Menge der Rückstände an organischer Masse liegt bei Klee gras häufig sogar höher.

### Pflege, Pflanzenschutz

Für die Mischkultur Klee gras sind keine Herbizide zugelassen. Aufgrund der hohen Konkurrenzkraft gegenüber einer normalen Mischverunkrautung ist eine chemische Unkrautregulierung allerdings auch nicht erforderlich. Eine bewährte Pflegemaßnahme ist der Schröpschnitt. Hierdurch werden Samenunkräuter beseitigt. Der Bestand sollte mit der auch im Grünland üblichen Höhe bis max. 10 cm in die Winterruhe gehen. Höhere Bestände sind durch Schneeschimmel- und Mäusebefall gefährdet, sodass bei über 15 cm Wuchshöhe ein Schnitt zu empfehlen ist.

### Düngung

Die Höhe sinnvoller mineralischer Phosphat-, Kali- und ggf. Magnesiumgaben hängt vom Wirtschaftsdüngereinsatz im Laufe der Fruchtfolge ab. Für die Abfuhr durch die Ernte gelten die Werte der Tabelle 1. In Abhängigkeit vom pflanzenverfügbaren P- und K-Gehalt des Bodens (Bodenuntersuchung) wird die sinnvolle Düngermenge errechnet.

Bei Gehaltsstufe „C“ (anzustreben, optimal) gelten als Richtwerte für die mineralische Düngung ( $P_2O_5$ ,  $K_2O$ ,  $MgO$ ) die Werte in Tabelle 6.

Die mit Wirtschaftsdüngern im Nutzungsjahr ausgebrachten Nährstoffmengen sind bei der Bemessung der mineralischen Düngung anzurechnen.

Beim Kalieinsatz ist es meist sinnvoll, die sehr hohen Entzüge von ca. 400–550 kg  $K_2O$  pro Hektar und Jahr nicht vollständig in den Jahren des Feldfutteranbaues auszugleichen, sondern die fehlende Kalimenge über die Fruchtfolge auszubringen. Um Luxuskonsum zu vermeiden, empfiehlt es sich, Kali in Gaben von max. 150 kg  $K_2O$  aufzuteilen bzw. die Jahresgabe auf ca. 350–400 kg  $K_2O$ /ha (organisch und/oder mineralisch) zu beschränken.

### Stickstoffdüngung

Angaben zur Düngung mit Stickstoff sind in Tabelle 7 gehalten. Die Menge und Verteilung muss an die unterschiedlichen Gegebenheiten angepasst werden. Die Höhe der N-Gaben hängt vom Klee- bzw. Gräseranteil und der beabsichtigten Nutzungsdauer ab.

Mit der Höhe der N-Düngung kann das Klee:Gras-Verhältnis etwas gesteuert werden. Mit hoher N-Düngung wird der Grasanteil gefördert, durch eine niedrige N-Gabe der Kleeanteil. Als Startgabe sind 30–50 kg N/ha zu verabreichen. Für jeden weiteren Schnitt werden 40 kg N/ha gedüngt.

Bei einem Kleeanteil von 75 % und darüber ist in den Hauptnutzungsjahren keine N-Gabe nötig. Bei einem Kleeanteil von 50–75 % sind N-Gaben von etwa 40 kg N/ha je Aufwuchs empfehlenswert. Liegt der Kleeanteil unter 50 %, werden etwa 50 kg N/ha je Aufwuchs gedüngt.

Wenn die Nutzung über ein Hauptnutzungsjahr hinaus vorgesehen ist, wird man auch bei hohem Kleeanteil kleine Stickstoffgaben zu jedem Aufwuchs verabreichen. Ziel ist es, den Grasanteil so zu fördern, dass die Lücken, die der Klee nach dem 2. Winter hinterlässt, geschlossen werden.

### Einsatz von Gärresten

Der Einsatz wirtschaftseigener Dünger ist bei Klee gras-Mischungen gut möglich. Sinnvoll ist der Einsatz aber nur, wenn der Grasanteil in der Mischung mindestens ein Viertel beträgt. Die einzelne Gärrestgabe ist auf etwa 50 kg N/ha für den folgenden Aufwuchs zu begrenzen.

TABELLE 6: ABFUHR VON  $P_2O_5$ ,  $K_2O$  UND  $MgO$  DURCH DIE ERNTE

Art	Abfuhr pro Jahr			
	Frischmasse-Ertrag (dt/ha)	$P_2O_5$ (kg/ha)	$K_2O$ (kg/ha)	$MgO$ (kg/ha)
Rotklee	650	85	390	65
Luzerne	600	85	390	42
Klee gras	650	91	403	46
Luzernegras	650	98	423	46
Weidelgras (Ackergras)	850	136	553	43

Quelle: Lichti pers. Mitteilung (2009)

Werden weniger als 50 kg N/ha ausgebracht und beträgt der Grasanteil mehr als 50 %, ist eine zusätzliche kleine Gabe von mineralischem Stickstoff empfehlenswert.

Jeder Aufwuchs kann begüilt werden. Die Regeln der Gülleausbringung – u. a. kein Ausfahren bei heißer, sonniger Witterung – sind bei Mischungen mit Rotklee, Luzerne und Sommerklee genau zu beachten.

#### Kalkdüngung

Für den Ersatz der hohen Kalkentzüge muss im Verlauf der Fruchtfolge gesorgt werden.

#### Ernte, Ernteverfahren, -termin

Die bisherigen Ergebnisse von Vergärungsversuchen deuten an, dass der optimale Schnittermin bei der Biogasproduktion etwas später (ca. 3–4 Tage) liegt als bei der Nutzung für Milchvieh. Im Einzelfall und in Einzeljahren kann so ein Schnitt eingespart werden. Mit fortschreitender Entwicklung nimmt insbesondere bei Gräsern der Anteil nicht abbaubarer Zellwandbestandteile (v. a. Lignin) zu, was die spezifische Methanausbeute verringert.

Je höher der Rohfasergehalt, desto geringer ist der Zuckergehalt des Siliergutes, die Verdichtbarkeit im Silo verschlechtert sich und die damit verbundene Gefahr der Schimmelbildung nimmt zu. Bei der Silierung ist das hohe Puffervermögen der Leguminosen zu berücksichtigen.

Für die Silierung ist das Erntegut auf mindestens 28 % Trockensubstanz, bei hohen Silostapeln besser auf 30 % Trockensubstanz anzuwelken. Eventuell anfallender Sickersaft ist unbedingt aufzufangen. Ganz wichtig ist eine hohe Verdichtung im Silo. Je höher der Trockensubstanzgehalt bei der Ernte ist, desto mehr Sorgfalt ist beim Befüllen und Verdichten aufzuwenden. Genauere Informationen zur Silagebereitstellung und Sickersaftvermeidung sind in folgenden Publikationen zu finden:

- [Bereitung hochwertiger Silage – die Grundlage für hohen Biogasertrag \(www.biogas-forum-bayern.de/publikationen/Bereitung\\_hochwertiger\\_Silage.pdf\)](http://www.biogas-forum-bayern.de/publikationen/Bereitung_hochwertiger_Silage.pdf)
- [Silagesickersaft und Gewässerschutz \(www.lfl.bayern.de/publikationen/daten/informationen/p\\_35534.pdf\)](http://www.lfl.bayern.de/publikationen/daten/informationen/p_35534.pdf)
- [Praxishandbuch Futterkonservierung – Literaturempfehlung \(www.biogas-forum-bayern.de/publikationen/Praxishandbuch\\_Futterkonservierung\\_uberarbeitet.pdf\)](http://www.biogas-forum-bayern.de/publikationen/Praxishandbuch_Futterkonservierung_uberarbeitet.pdf)

TABELLE 7: STICKSTOFFDÜNGUNG, EINSATZ WIRTSCHAFTSEIGENER DÜNGER

Futterart	Stickstoffdüngung in kg/ha						
	Zur Saat bzw. nach Deckfruchternte	Aufwuchs					
		1.	2.	3.	4.	5.	6.
Reine(r) Klee/Luzerne bzw. Aufwüchse mit mehr als 70 % Klee/Luzerne	30 <sup>1</sup>	0	0	0	0		
Aufwüchse mit 40 bis 70 % Klee/Luzerne	30	40 mineral. oder 40 NH <sub>4</sub> -N <sup>5</sup>	30 mineral. oder 30 NH <sub>4</sub> -N <sup>5</sup>	30 mineral. oder 30 NH <sub>4</sub> -N <sup>5</sup>	30 mineral. oder 30 NH <sub>4</sub> -N <sup>5</sup>		
Aufwüchse weniger als 40 % Klee/Luzerne	30	40 mineral. oder 40 NH <sub>4</sub> -N <sup>5</sup>	40 mineral. oder 40 NH <sub>4</sub> -N <sup>5</sup>	40 mineral. oder 40 NH <sub>4</sub> -N <sup>5</sup>	40 mineral. oder 40 NH <sub>4</sub> -N <sup>5</sup>		
Reines Gras <sup>2/3</sup>	20–50 <sup>4</sup>	50 mineral. oder 50 NH <sub>4</sub> -N <sup>5</sup>	50 mineral. oder 50 NH <sub>4</sub> -N <sup>5</sup>	50 mineral. oder 50 NH <sub>4</sub> -N <sup>5</sup>	50 mineral.	50 mineral. oder 50 NH <sub>4</sub> -N <sup>5</sup>	40 mineral. oder 40 NH <sub>4</sub> -N <sup>5</sup>

Quelle: Lichti pers. Mitteilung (2009)

<sup>1</sup> nur auf flachgründigen Böden mit geringer N-Nachlieferung Startstickstoffgabe

<sup>2</sup> Nach der Düngeverordnung (DüV) in der Fassung vom 27.02.2007 dürfen über Wirtschaftsdünger tierischer Herkunft (auch in Mischungen) Nährstoffe nur so ausgebracht werden, dass die aufgebrachte Menge an Gesamtstickstoff im Betriebsdurchschnitt 170 Kilogramm N pro Hektar und Jahr im Betriebsdurchschnitt nicht überschreitet.

<sup>2/3</sup> Bei Saat im Spätsommer/Herbst (z. B. Welsches Weidelgras nach Getreide) oder als überwinternde Zwischenfrucht: Auf Ackerland dürfen nach der Ernte der letzten Hauptfrucht vor dem Winter mit Gülle, Jauche und sonstigen flüssigen organischen sowie organisch-mineralischen Düngemittel maximal 40 Kilogramm Ammoniumstickstoff oder maximal 80 Kilogramm Gesamtstickstoff aufgebracht werden. Unter bestimmten Voraussetzungen und der Einhaltung zahlreicher Auflagen dürfen auf Flächen mit Feldgras im Durchschnitt dieser Flächen max. 230 kg N pro Hektar und Jahr ausgebracht werden, wenn vorher ein Antrag beim zuständigen Amt für Landwirtschaft und Forsten gestellt wurde.

<sup>4</sup> je nach Saatzeit und Beerntungsabsichten

<sup>5</sup> NH<sub>4</sub>-N Beispielsrechnung: Bei einem Biogasgärrest mit 2,5 kg NH<sub>4</sub>-N/m<sup>3</sup> und 4 kg N<sub>gas</sub>/m<sup>3</sup> entsprechen 40 kg NH<sub>4</sub>-N/ha einer Aufwandmenge von 16 m<sup>3</sup> Gärrest/ha. Insgesamt werden dadurch 64 kg N<sub>gas</sub>/ha aufgebracht.

Auf schweren Böden und bei zu feuchten Erntebedingungen besteht das Risiko, dass hohe Achslasten bei der Ernte Strukturschäden verursachen.

Weitere Hinweise zum Transport von Biomasse sind in folgender Publikation zu finden: [www.biogas-forum-bayern.de/publikationen/Verfahren\\_zum\\_Transport\\_von\\_Biomasse.pdf](http://www.biogas-forum-bayern.de/publikationen/Verfahren_zum_Transport_von_Biomasse.pdf).

### Erträge

Als Faustzahl gilt, dass der Ertrag im Feldfutterbau in etwa dem eines intensiv geführten Dauergrünlandbestandes plus eines zusätzlichen Schnittes entspricht. Das heißt: Wenn man von einem mittleren Ertrag des Grünlandes in Bayern von 100 dt TM/ha ausgeht, kann im Feldfutterbau mit einem Ertrag von rund 130 dt TM/ha gerechnet werden.

Spitzenerträge können in Gunstlagen des Feldfutterbaues, die oft ungünstige Lagen für den Silomais sind, die Erträge von Silomais erreichen oder in Einzelfällen übertreffen.

### Qualität Biogas (Fütterung)

Bei der Vergärung von Kleegrassilagen ist mit einem spezifischen Methanausbeutepotenzial von rund 300 Normliter CH<sub>4</sub> je Kilogramm organischer Trockenmasse zu rechnen (280–330 NI CH<sub>4</sub>/kg oTM; [www.lfl.bayern.de/ilb/technik/10225](http://www.lfl.bayern.de/ilb/technik/10225)). Dies entspricht in etwa der mittleren Methanausbeute anderer Substrate, wie Mais oder Getreide-GPS. Bei gering lignifiziertem Material ist kein Effekt einzelner Inhaltsstoffe zu erwarten. Deshalb sind alle pflanzenbaulichen Maßnahmen auf die Ausschöpfung des standortspezifischen Ertragspotenziales auszurichten, ohne dass Qualitätsaspekte von Bedeutung sind.

Unter der Annahme eines mittleren Methanausbeutepotenzials von 300 NI CH<sub>4</sub>/kg oTM und eines Ertrages von rund 40 dt organischer Trockenmasse/ha und Schnitt ergibt sich ein Methanertrag von rund 1.200 m<sup>3</sup>/ha und Schnitt. Unter Praxisbedingungen wären als Extrapolation aus den Batch-Tests knapp 4.000 m<sup>3</sup> CH<sub>4</sub>/ha und Jahr möglich. Wegen der bekannten Toxizität des entstehenden Ammoniaks (Kleegrassilage ist relativ stickstoffreich) ist aber zu prüfen, welche organische Raumbelastung maximal im Durchflussbetrieb erreicht werden kann, und ob Langzeitstabilität des Prozesses gewährleistet ist.

Nachteilig ist lediglich der hohe Aschegehalt, der rund 10 % an der Trockenmasse ausmacht. Bei sehr hohen Kleeanteilen am Aufwuchs hat die Silage ein enges C/N-Verhältnis. Bis zu welchem C/N-Verhältnis die Anlage betrieben werden kann, ob Zugabe von kohlenstoffreichen Substraten oder Gülle sinnvoll ist, ist Gegenstand aktueller Forschungsvorhaben. Kleegrassilage kann auch in der

Rinderfütterung eingesetzt werden. Diesbezügliche Empfehlungen finden sich unter [www.lfl.bayern.de/internet/stmlf/lfl/ite/rind/09369/index.php](http://www.lfl.bayern.de/internet/stmlf/lfl/ite/rind/09369/index.php).

### Ökologische Aspekte

Der Anbau von Klee gras ist unter ökologischen Aspekten vorteilhaft. Die Nährstoffaufnahme vor der Winterruhe sowie die früh einsetzende und insgesamt hohe Nährstoffaufnahme verhindern weitgehend die Nährstoffauswaschung und erleichtern die umweltschonende und pflanzenbaulich sinnvolle Ausbringung von Gärrest. Die intensive Bodenbedeckung senkt die Erosionsgefahr ganz erheblich. Die herausragende Stellung der Leguminosen in jeder Fruchtfolge ergibt sich durch ihren hohen Fruchtfolgewert. Dieser beruht auf der Stickstofffixierungsleistung dieser Arten, der Zufuhr an organischer Substanz über Wurzeln und Stoppeln, der starken Durchwurzelung sowie dem daraus resultierenden guten Garezustand des Bodens. So kann bei Rotklee mit einer Stickstofffixierungsleistung von 3 bis 4 kg/ha und Jahr je Prozent Ertragsanteil ausgegangen werden (KÄDING und PETRICH, 2003).

Der geringe Pflanzenschutzmitteleinsatz ist ebenfalls positiv hervorzuheben.

Beim Anbau von Klee gras sollte geprüft werden, ob bodenbrütende Vogelarten in der Flur vorkommen. Gegebenenfalls sollten Maßnahmen zum Schutz der Neststandorte bzw. Ausweichstandorte angeboten werden. Hierbei können die UNB (Untere Naturschutzbehörden) an den Landratsämtern, die Ämter für Landwirtschaft und der Landesbund für Vogelschutz (LBV) behilflich sein.

### Literatur

Bayerische Qualitätssaatgutmischungen  
[www.lfl.bayern.de/ipz/gruenland/05545](http://www.lfl.bayern.de/ipz/gruenland/05545)  
(Sortenempfehlung 2010 und Kurzinformationen zu Gräser, Klee und Luzerne)  
[www.lfl.bayern.de/ipz/gruenland/05048](http://www.lfl.bayern.de/ipz/gruenland/05048)  
(Futterpflanzen: Versuchsergebnisse aus Bayern)  
[www.lfl.bayern.de/ipz/gruenland/09212](http://www.lfl.bayern.de/ipz/gruenland/09212)  
(Biogasausbeuten verschiedener Substrate)  
[www.lfl.bayern.de/ilb/technik/10225](http://www.lfl.bayern.de/ilb/technik/10225)  
(Klee gras in der Rinderfütterung)  
[www.lfl.bayern.de/ite/rind/09369/index.php](http://www.lfl.bayern.de/ite/rind/09369/index.php)

*Autor: Hartmann, S. (Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung, LfL); Sticksele, E. (Abteilung Versuchsbetriebe - Versuchswesen, Biometrie, LfL)*

*Nachdruck mit freundlicher Genehmigung des Biogas Forums Bayern*

## 2.12 Grünland

### Allgemeines

In Bayern sind etwa 34 % (ca. 1,12 Mio. ha) der landwirtschaftlichen Nutzfläche Dauergrünland. Die Grünlandwirtschaft ist durch vielfältige Nutzungsformen und -intensitäten gekennzeichnet. Diese reichen von der intensiven Nutzung zur Silagebereitung für die Milchviehhaltung oder Rindermast über die extensive Beweidung oder Heubereitung für Mutterkühe oder Schafe bis zur vorrangig naturschutzfachlich ausgerichteten Bewirtschaftung mit sehr später Einschnittnutzung (Streuwiesen). Hinsichtlich der Nutzungsart überwiegt die Schnittnutzung die Weidenutzung bei Weitem. So liegt der Anteil an reinen Weideflächen unter 10 %, während ca. 70 % des Grünlands ausschließlich und ca. 90 % überwiegend maschinell beerntet werden. Einen Überblick zur Abstufung der Nutzungshäufigkeit vermittelt Abbildung 32. Hierbei handelt es sich um Schätzwerte der Landwirtschaftsverwaltung (DIEPOLDER, 2006).

In Bayern genauso wie in Deutschland und der EU gehen seit vielen Jahren die Viehbestände, insbesondere die des Milchviehs, zurück. Diese Tendenz wird sich auch in Zukunft fortsetzen. Schätzungen gehen davon aus, dass mittelfristig etwa 15–20 % des Grünlandes nicht mehr zur Futtergewinnung für Raufutterfresser benötigt werden. Damit werden Grünlandflächen frei, die aus sozioökonomischen, landeskulturellen und naturschutzfachlichen Gründen weder Brachfallen noch in Wald umgewandelt werden sollten.

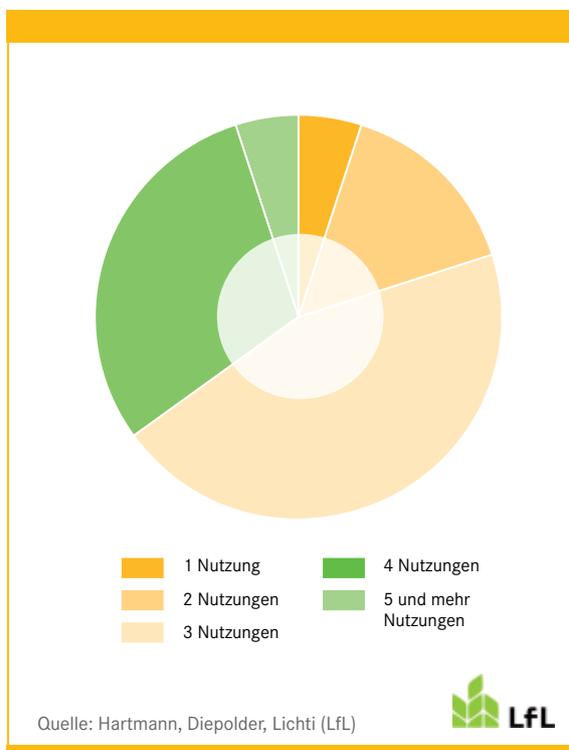


Abb. 32: Verteilung der Nutzungshäufigkeit des Grünlands in Bayern

Für die Erhaltung als Grünland ist jedoch eine nachhaltig wirtschaftliche Nutzungsmöglichkeit erforderlich. Die Substratbereitstellung für die Biogasproduktion stellt eine solche mögliche Verwendung dar. Dabei gilt Grünland als die umweltfreundlichste Art des Energiepflanzenbaus (LfL, 2008).

### Potenziale für die Biogasproduktion vom Grünland

Zu den Potenzialen der Biogasproduktion in Bayern liegen inzwischen zahlreiche Berechnungen vor. Sie umfassen die Potenziale aus Wirtschaftsdüngern und Energiepflanzenbau auf dem Ackerland. Die Datenbasis für die Abschätzung des Potenzials des Grünlandes ist hingegen sehr dünn, zumal flächendeckende Erhebungen zu Nutzungsintensitäten und Erträgen bislang nicht vorliegen. Daher kann eine Abschätzung der Potenziale des bayerischen Grünlands für die Biogasproduktion nur sehr grob erfolgen.

Jedoch lassen sich auf Grundlage aktueller Grünlandstudien (Halama in: Machbarkeitsstudie „Nutzung von Grünland zur Biogasproduktion“, 2011) für Bayern folgende Aussagen treffen:

### Energetische Nutzung nicht mehr benötigter Futterflächen

- Eine Gegenüberstellung von Grundfutterbedarf und -lieferung deutet bereits für das Jahr 2008 an, dass in Bayern rund 1,85 Mio. t Grundfutter – entsprechend knapp 15 % der erzeugten TM-Menge – nicht mehr für die Verwertung über Raufutterfresser erforderlich waren. Der für die Viehhaltung notwendige Grundfutteranteil lag regional zwischen weniger als 50 % und fast 100 %. Schätzungsweise wurden bereits 2008 rund 106.000 ha Dauergrünlandflächen incl. Streuwiesen sowie ca. 98.000 ha Ackerfutterflächen, davon 83 % Silomais und 17 % Klee/Kleegras nicht mehr für die tierische Verwertung benötigt.
- Prognosen bis zum Jahr 2020 lassen darauf schließen, dass unter Beibehaltung einer in etwa gleichbleibenden Milcherzeugung, jedoch weiter steigender tierischer Leistungen voraussichtlich 222.000 Milchkuhe weniger erforderlich sind. Dies entspricht einer Abnahme der Kuhzahl von über 18 % gegenüber 2008 (1,238 Mio. Kühe).
- Daran gekoppelt ist ein Rückgang der übrigen Rindergruppen, somit auch der Mutterkühe. Daher ist eine Alternativnutzung von freiwerdenden Flächen durch Mutterkuhhaltung (gerade unter den neuen Rahmenbedingungen) nicht realistisch.
- In der Summe wird für Bayern ein Rückgang des gesamten Rinderbestandes um knapp 19 % von ca. 3,45 Mio. Tiere (2008) auf ca. 2,80 Mio. Tiere (2020) prognostiziert. Dabei fallen allein ca. 55 % des geschätzten Rückganges von insgesamt rund 648.000 Rindern auf ein Viertel der 12 Agrargebiete, nämlich auf das nördliche und südliche Tertiär-Hügelland und das Nordbayerische Hügelland. Die erwarteten Veränderungen bei den übrigen Raufutter-



Abb. 33: Schätzungsweise werden bis zum Jahr 2020 rund 165.000–209.000 ha Grünland nicht mehr für die Versorgung der Raufutterfresser benötigt und stehen somit für eine alternative Verwertung zur Verfügung

fressern (Schafe, Ziegen, Dam-/Rotwild, Pferde) sind dagegen im Betrachtungszeitraum sehr gering.

- Daraus ergibt sich für Bayern ein Minderbedarf von ca. 1,917 Mio. t Grundfutter-TM. Dieser entfällt mit knapp 53 % vor allem auf das Grünland (1,022 Mio. t), zu rund 41 % auf den Silomais (0,785 Mio. t) und zu rund 6 % auf das Klee gras (0,111 Mio. t).
- Bis zum Jahr 2020 dürften somit bis zu ca. 20 % der in 2008 noch vorhandenen Grünlandflächen freigesetzt werden. Im Vergleich zum bayerischen Mittel liegt der Anteil an frei werdenden Flächen in den Tertiär-Hügelländern, den Gäugebieten, den Fränkischen Platten, im Spessart und in der Rhön deutlich höher.

Ausgehend von diesen Eckpunkten lassen sich folgende weitere Abschätzungen treffen:

- Es ist nicht zu erwarten, dass Flächen, welche bereits jetzt extensiv, d.h. mit 1–2 Schnitten pro Jahr genutzt werden, in größerem Umfang intensiviert werden. Dies deshalb, weil sie entweder für eine Intensivierung nicht die nötigen Standortverhältnisse aufweisen (flachgründige Böden, sehr feuchte oder trockene Lagen), naturschutzfachlichen bzw. förderungsrechtlichen Auflagen unterliegen, an bestehende Nutzungen (z. B. Heuverkauf) gebunden oder erntelogistisch ungünstig sind (steile Flächen, abgelegene Seitentäler).
- Die intensiven/hochproduktiven Flächen konzentrieren sich bereits jetzt regional stark und werden nur in geringem Umfang für Alternativen zur Milchkuhhaltung verfügbar. Zu prüfen wäre, inwieweit Kombinationen aus Milchvieh und Biogas wirtschaftliche Vorteile erwarten lassen.
- Der Schwerpunkt der geeigneten Flächen wird bei 3–4 Schnittwiesen liegen (Tab. 8). Damit ist im Regelfall grundsätzlich auch die Möglichkeit zur Intensivierung durch Saatguteinsatz und ggf. auch durch Düngung gegeben. Hier wirken begrenzend:
  - Kosten und evtl. mangelnde Nachhaltigkeit des Saatguteinsatzes
  - Ertragswirkung/Nährstoffausnutzung von Düngungsmaßnahmen
  - Flächenkosten (Pacht)

- Potenzial bilden daher vorwiegend die freiwerdenden Flächen in den Mittelgebirgslagen und den ackerbaubetonnten „Abwanderungsgebieten“ der Milchquote.
- Überschlüssig sollten damit ca. 50–70 % der freiwerdenden Flächen Potenzial für Biogas besitzen (HARTMANN 2006).

#### *Kombination aus futterbaulicher und energetischer Nutzung auf einer Fläche*

Bei grobfutterbasierter Ration steigt bei den angestrebten hohen Milchleistungen der Gewinnbeitrag mit der Qualität des Grundfutters. Dies erfordert in der Produktionstechnik einen optimalen ersten Schnitt und rechtzeitige Folgenutzungen. In Gunstlagen des Grünlandes ergibt sich daraus eine 4–5 malige Nutzungshäufigkeit der Bestände. Diese wird meist auch bei flächenstarken Betrieben eingehalten, da eine Reduzierung der standortoptimalen Bewirtschaftungsintensität zu negativen Bestandsänderungen führen kann (Tab. 9). Jedoch stellt sich in Fällen von regelmäßigen Futterüberschüssen die Frage einer sinnvollen Verwertung, sofern keine Alternativen wie z. B. Cobs-Erzeugung oder Heuverkauf realisierbar sind.

Daher können Kombinationen der Verwertung aller Aufwüchse einer Fläche durch Milchvieh und Biogas eine sinnvolle Strategie sein, um eine pflanzenbaulich notwendige Mindestintensität zur Stabilisierung hochproduktiver Standorte wirtschaftlich möglich zu machen. So können zum Beispiel flächenstarke rinderhaltende Betriebe mit Teilernten (1. Schnitt) qualitativ hochwertiges Futter für die leistungsorientierte Milchviehernährung erzeugen und andererseits Teilernten (Sommerschnitte), die in der Energiedichte erfahrungsgemäß qualitativ abfallen, in der Biogasanlage verwerten. Überschlüssig entspricht dies bei einem Schnitt mit 20–30 dt TM/ha einer Erzeugung von ca. 550–800 m<sup>3</sup> Methan (CH<sub>4</sub>). Durch die Aufrechterhaltung einer hohen Nutzungsintensität und dem daraus resultierenden höheren Nährstoffbedarf können zudem auch größere Mengen an Gülle bzw. Gärresten pflanzenbaulich sinnvoll verwertet werden (Tab. 9).

TABELLE 8: GESCHÄTZTE NUTZUNGSINTENSITÄTEN UND NETTO-ERTRÄGE DER GRÜNLANDFLÄCHE IN BAYERN (2008) UND IHRE EIGNUNG/VERFÜGBARKEIT ZUR BIOGASERZEUGUNG

Schnitte pro Jahr	Fläche (in 1.000 ha)	TM-Ertrag (dt/ha)	TM-Anfall (1.000 t)	Erwartete Verfügbarkeit für Biogaserzeugung
1	71	25-40	178-284	kaum
2	182	45-55	819-1.001	begrenzt
3	488	70-80	3.416-3.904	größere Anteile
4	348	80-100	2.784-3.480	teilweise
über 4	35	100-120	350-420	kaum
gesamt	1.124	75	8.430	

TABELLE 9: ERTRAG, N-AUFNAHME UND FUTTERWERT BEI UNTERSCHIEDLICHER BEWIRTSCHAFTUNGSINTENSITÄT EINER WEIDELGRASREICHEN WIESE IM ALLGÄUER ALPENVORLAND

Schnitte/Jahr	Bewirtschaftungsintensität		
	3	4	5
Güllegaben <sup>1</sup> /Jahr (m <sup>3</sup> /ha)	2 x 20	3 x 20	4x20
TM-Ertrag (dt/ha)	105	106	113
Energie-Ertrag (MJ NEL/ha)	64.225	66.708	71.483
N-Aufnahme (kg N/ha)	207	259	312
Σ Gräser (% FM 1. Schnitt)	61	81	81
Dt. Weidelgras (% FM)	40	62	63
Ø Futterwertzahl (max. 8,0)	6,3	7,2	7,2

Quelle: Diepolder und Raschbacher (2010)

<sup>1</sup> 4,2 % TS; Nährstoffe in kg/m<sup>3</sup>: 2,22 Gesamt-N, 1,04 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, 2,62 K<sub>2</sub>O

#### Substratspezifisches Potenzial

- Die substratspezifische Ausbeute an Methan (CH<sub>4</sub>) liegt für Grünlandssubstrate bei durchschnittlich 300 Normlitern (NI) pro Kilogramm organischer Trockenmasse (oTM), wobei Spannweiten von ca. 200-400 NI CH<sub>4</sub>/kg oTM genannt werden.
- Die mittlere Substratausbeute liegt damit in vergleichbarer Größenordnung wie bei Klee gras, Getreide-GP und Mais bzw. deren Silageprodukten.
- Die Schwankungen werden u.a. durch das physiologische Alter (Lignifizierung) und das C/N-Verhältnis, somit auch von der Artenzusammensetzung des Substrats, hervorgerufen. Ein hoher Ligninanteil senkt dabei den Gehalt an fermentierbarer Masse, während ein niedriges C/N-Verhältnis den Prozess durch die Bildung von hemmendem Ammoniak negativ beeinflussen kann.
- Wie für die Fütterung des Wiederkäuers hat der Erntezeitpunkt auf die Biogas- und Methanausbeuten deutlichen Einfluss. Insbesondere die steigenden Rohfasergehalte begrenzen die maximal mögliche Biogasmenge. Rohfaser besteht überwiegend aus den Komponenten Zellulose, Hemizellulose und Lignin, wobei Letzteres anaerob gar nicht abbaubar ist und Zellulose und Hemizellulose i. d. R. mit Lignin inkrustiert vorliegen und dementsprechend

schwer abbaubar sind. Jedoch ist bei ähnlichem physiologischem Alter der Einfluss von Inhaltsstoffen zwischen Gräserarten und -sorten bzw. zwischen unterschiedlichen Vegetationstypen des Grünlands von untergeordneter Bedeutung.

- Zusammenfassend ergibt sich daraus, dass alle pflanzenbaulichen Maßnahmen auf die Ausschöpfung des standortspezifischen Ertragspotenzials auszurichten sind, während die Bedeutung der substratspezifischen Inhaltsstoffe – innerhalb gewisser Grenzen – vergleichsweise gering ist.
- Auch aus Sicht der Biogaserzeugung ist eine zuverlässige Konservierung zwingend erforderlich. Im Gegensatz zur Tierernährung spielt aber die Frage nach der Art der Silierung (Stichwort Schmackhaftigkeit) nur eine untergeordnete Rolle. In einigen Versuchen konnte sogar nachgewiesen werden, dass eine vermeintlich schlechte Silage mit hohen Gehalten an organischen Säuren (z. B. Essigsäure) sogar schneller umgesetzt wird, da vermutlich ein Teil der zeitintensiven Abbauschritte bereits im Silo stattfindet (ANDRADE ET AL. 2009). Damit würde die realisierte Ausbeute im Vergleich zu üblichen Silagen umso höher liegen, je kürzer der betrachtete Zeitraum (Verweildauer) gewählt wird.



Abb. 34: Ertrag und Qualität des Substrates bestimmen dessen Biogaseignung.

## PRODUKTIONSTECHNIK

### Bestandesführung

Die Ansprüche der Bestandesführung können aus dem Bereich der standortgerechten Grobfutterbereitstellung übernommen werden. Diese Aussage bezieht sich auf die Schnitthöhe, den Nährstoffbedarf (Tab. 10) und die Sortenwahl bei gegebenenfalls notwendiger Über- oder Nachsaat, insbesondere bei intensiver Grünlandwirtschaft.

TABELLE 10: ERTRÄGE U. DÜNGEBEDARF VON WIESEN

Schnitte/a	Bei TM-Ertrag (dt/ha)	N <sup>1</sup>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> <sup>2</sup> (kg/ha)	K <sub>2</sub> O
2	55	50–70	40	140
3	75	115–135	70	220
4	90	195–215	90	270
5	110	260–280	110	330

Quelle: Wendland et al. (2007)

<sup>1</sup> Untere Werte bei sehr stark humosen Böden bzw. hohen Kleeanteilen von 10–20 %

<sup>2</sup> Bei Bodengehaltsklasse „C“

Diesbezüglich wird auf das bestehende pflanzenbauliche Beratungsangebot der Institute für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung (siehe [www.lfl.bayern.de/ipz/gruenland/](http://www.lfl.bayern.de/ipz/gruenland/)), für Agrarökologie, Ökologischen Landbau und Bodenschutz (siehe [www.lfl.bayern.de/iab/gruenland/](http://www.lfl.bayern.de/iab/gruenland/)) sowie des Instituts für Pflanzenschutz ([www.lfl.bayern.de/ips/](http://www.lfl.bayern.de/ips/)) verwiesen.

Wesentliche Abweichungen im Vergleich zur Produktionstechnik zur Futtererzeugung in der leistungsorientierten Milchviehhaltung ergeben sich jedoch bei folgenden Aspekten:

- Aus wirtschaftlichen Erwägungen sollte die Schnitthäufigkeit – soweit pflanzenbaulich vertretbar – auch auf Gunststandorten auf max. 4 Schnitte begrenzt werden.
- Der optimale Schnittermin für die Substratbereitstellung kann im Vergleich zum optimalen Termin der Grobfuttergewinnung für die Milchkuh je nach Alterungsgeschwindigkeit des Bestandes etwas später liegen.
- Bei Grassilagen sollte die theoretische Häcksellänge von 6 auf 3 mm verkürzt werden, um möglichen Problemen im Fermenter durch lange Faserteile vorzubeugen. Eine optimale Schnitthöhe ist besonders wichtig, da Bodenbestandteile abrasiv im Fermenter wirken können und die Gefahr der Sinkschichtenbildung bei Reaktoren ohne Feststoffaustrag besteht.

Der Einsatz wirtschaftseigener Dünger (Gülle/Gärreste) ist bei Grünland gut möglich, wobei jeder Aufwuchs begünstigt werden kann. Genau wie Gülle sind Biogas-Gärrückstände sehr gut wirksame Mehrnährstoffdünger. Grundsätzlich ist eine Vorbehandlung in Form einer Vergärung auch aus Sicht der Düngeeigenschaften zu befürworten, da Gärreste im Vergleich zu unvergorenen Wirtschaftsdüngern geruchsärmer, dünnflüssiger und besser pflanzenverfügbar sind. Aufgrund der großen Schwankungen der Nährstoffgehalte von Gärresten sollte die mengenmäßige Ausbringung nur auf Basis der (gesetzlich vorgeschriebenen) Analysen erfolgen. Aufgrund des höheren Anteils an schnell verfügbarem Ammonium-N sowie des engeren C/N-Verhältnisses ist einerseits eine schnelle N-Wirkung möglich, andererseits besteht somit wegen des höheren pH-Wertes die Möglichkeit höherer NH<sub>3</sub>-Verluste als bei Gülle. Daher ist eine geeignete emissionsarme bodennahe Ausbringttechnik besonders wichtig. Dabei kann bei Biogasbeständen die Gärrestausrückführung auch in höher gewachsene Bestände erfolgen.

Hinsichtlich des Einsatzes von Biogassubstraten sind die rechtlichen Regelungen der Düngemittel-, Bioabfall- und Düngeverordnung sowie der Verordnung über Inverkehrbringen und Befördern von Wirtschaftsdünger zu beachten. Hierzu stehen seitens der LfL umfassende Informationen sowie EDV-Fachprogramme (z. B. für den Gärrestanfall, kalkulierte Inhaltsstoffe und Lagerraumbedarf) unter dem Link [www.lfl.bayern.de/iab/duengung](http://www.lfl.bayern.de/iab/duengung) zur Verfügung.

### Ernte, Ernteverfahren, -termin und Erträge

Die bisherigen Ergebnisse von Vergärungsversuchen deuten an, dass der optimale Schnittermin bei der Biogasproduktion etwas später (ca. 3–4 Tage) als bei der Nutzung für Milchvieh liegt. Im Einzelfall und in Einzeljahren kann so ein Schnitt eingespart werden. Mit fortschreitender Entwicklung nimmt insbesondere bei Gräsern der Anteil nicht abbaubarer Zellwandbestandteile (v.a. Lignin) zu, was die spezifische Methanausbeute verringert.

Je höher der Rohfasergehalt, desto geringer ist der Zuckergehalt des Siliergutes, die Verdichtbarkeit im Silo verschlechtert sich und die damit verbundene Gefahr der Schimmelbildung nimmt zu. Bei der Silierung ist das hohe Puffervermögen der Leguminosen zu berücksichtigen. Für die Silierung ist das Erntegut auf mindestens 30 % Trockensubstanz, bei hohen Silostapeln besser auf deutlich über 30 % Trockensubstanz anzuwelken. Eventuell anfallender Sickersaft ist unbedingt aufzufangen. Ganz wichtig ist eine hohe Verdichtung im Silo. Je höher der Trockensubstanzgehalt bei der Ernte ist, desto mehr Sorgfalt ist beim Be-

füllen und Verdichten aufzuwenden. Auf schweren Böden und bei zu feuchten Erntebedingungen besteht das Risiko, dass hohe Achslasten bei der Ernte Strukturschäden verursachen.

Die Erträge entsprechen in etwa den regional, bei intensiver Bewirtschaftung erzielbaren Grobfuttererträgen (Tab. 9 und Tab. 10). Spitzenerträge können in Gunstlagen des Grünlandes, welche oft ungünstige Lagen für den Silomais sind, etwa 75 % von dessen TM-Erträgen erreichen.



Güllefass auf Grünland



Grünland - Übergang zum Wald



### Ökologische Aspekte

Ist durch den Betrieb einer Biogasanlage der wirtschaftliche Erhalt von Grünland möglich, so ist dies auch in Hinblick auf den Grundwasser- und Erosionsschutz vorteilhaft. Zudem wäre der im Vergleich zum Ackerbau geringe Pflanzenschutzmitteleinsatz positiv hervorzuheben. Daneben sollte nicht zuletzt schon aus Gründen des Klimaschutzes der Umbruch von Grünland unbedingt vermieden werden.

Vor allem beim Einsatz von schlagkräftiger Großtechnik in Gemengelage (Wiesen mit angrenzenden Waldflächen oder Feldgehölz) sollte insbesondere zu Zeiten des Setzens und der Aufzucht von Jungtieren, die Aspekte des Wildschutzes beachtet werden.

### Literatur

**Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL):** Umweltwirkung eines zunehmenden Energiepflanzenanbaus; Schriftenreihe der LfL 11/2008.

**Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL):** Nutzung von Grünland zur Biogaserzeugung – Machbarkeitsstudie; LfL-Information, 1. Auflage, Januar 2011.

**Diepolder, M.: Aspekte der Grünlandnutzung in Bayern, in:** Rundgespräche der Kommission für Ökologie, Bd. 31 „Gräser und Grasland“, S. 93–110, Verlag Dr. Friedrich Pfeil, München, 2006.

**Diepolder, M. und Raschbacher, S.:** Leistungsfähiges Grünland und Verzicht auf mineralische Düngung – Sind nachhaltig hohe Erträge und Futterqualitäten möglich? Schule und Beratung, Heft 3–4/10; Seite III-13 bis III-19; Bayerisches Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten, 2010.

**Hartmann, St.:** Biomassepotenzial für Biogas in den Grünlandregionen Bayerns, Futterpflanzen – Perspektiven für die energetische Nutzung; GFP Workshop Freising 2006 [www.lfl.bayern.de/ipz/gruenland/18480/index.php](http://www.lfl.bayern.de/ipz/gruenland/18480/index.php).

**Andrade, D.; Marin-Perez, C.; Heuwinkel, H.;**

**Lebuhn, M.; Gronauer, A.:** Biogasgewinnung aus Grassilage: Untersuchungen zur Prozessstabilität. Internationale Wissenschaftstagung Biogas Science 2009, 02.12.–04.12.2009, Erding. Schriftenreihe der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft, Band 17. 2009.

**Wendland, M.; Diepolder, M.; Capriel, P.:** Leitfaden für die Düngung von Acker- und Grünland; 9. unveränderte Auflage 2011; LfL-Information, Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, 2007.

*Autoren: Hartmann, S. (Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung, LfL); Diepolder, M. (Institut für Agrarökologie, Ökologischen Landbau und Bodenschutz, LfL); Lichti, F. (Institut für Agrarökologie, Ökologischen Landbau und Bodenschutz, LfL)*

*Nachdruck mit freundlicher Genehmigung des Biogas Forums Bayern*

## 2.13 Buchweizen

### Botanik

Buchweizen (*Fagopyrum esculentum* Moench) ist ein Knöterichgewächs und gehört zur Familie der Polygonaceae. Botanisch werden drei Arten unterschieden: *Fagopyrum cymosum* (Wilder Buchweizen), *Fagopyrum esculentum* (Gewöhnlicher oder Echter Buchweizen) und *Fagopyrum tataricum* (Tatarischer Buchweizen). Er gehört zur Gruppe der Pseudogetreide, der auch Quinoa und Amarant angehören. Alle drei Kulturen produzieren wie Getreide stärke-reiche Körner, gehören aber nicht zur Familie der Gräser.

Der Echte Buchweizen ist eine einjährige krautige Pflanze mit einer Wuchshöhe von bis zu einem Meter. Der aufrechte Stängel verzweigt sich kontinuierlich und ist zur Fruchtreife meistens rot verfärbt. Dahingegen bleiben die Stängel des Tatarischen Buchweizens grün. Die Laubblätter haben eine herz- bis pfeilförmige Form. Typisch ist eine kurze, tütenartige Hülle, die an der Ansatzstelle des Blattstiels den Stängel umfasst. Die Stiele der traubenartigen Blütenstände entspringen direkt aus den Blattachseln. Die Blüten werden circa drei bis fünf Millimeter lang und setzen sich aus fünf weißen bis rosarötlichen Blütenhüllblättern zusammen. Aus den Blüten entwickelt sich ein dreikantiges Nüsschen, welches sich in der Abreife braun-grau verfärbt. Die Frucht besitzt eine derbe Fruchtschale, die vor der Nutzung als Nahrungsmittel entfernt werden muss. Darunter befindet sich ein weißes, stärke-reiches Mehl. Die Wurzel ist pfahlförmig und entwickelt zahlreiche Faserwurzeln. Blütenbiologisch ist der Echte Buchweizen ein strenger Fremdbefruchter und somit auf Insekten angewiesen.

### Allgemeines

Die Pflanze stammt ursprünglich aus Asien, genauer gesagt aus der Region des heutigen China, der Mongolei und Nepals. Auch in Russland und slawischen Gebieten ist Buchweizen weit verbreitet und wird für viele Gerichte genutzt. Weltweit werden jährlich ca. 1,8 Mio. Tonnen produziert, wobei der deutsche Anteil nur einen Bruchteil beträgt. Neben dem Hauptproduzenten Russland sind vor allem China und die Ukraine sowie Polen und Frankreich Hauptanbauggebiete für Buchweizen.

Der Name Buchweizen ist eine Zusammensetzung aus *fagus* = Buche, weil die Samen ähnlich wie „Bucheckern“ aussehen, und *pyrós* = Weizen, weil die Samen sehr stärke-reich sind. Durch die geschichtliche Prägung sind viele Namen für Buchweizen bekannt, so findet man ihn auch unter den Bezeichnungen Tatarisches Korn, Heidenkorn, Heiden, Tater, Sarazenenkorn, Schwarz-Plent, Schwarzes Welschkorn, Schwarzpolenta und Türkischer Weizen.



Eingang nach Europa fand Buchweizen im 13. und 14. Jhd. Er wurde vorwiegend als willkommene Alternative zu Getreide (Roggen, Hafer, Gerste, Weizen und Dinkel), besonders wegen seiner anspruchslosigkeit gegenüber Nährstoffen sowie seiner hohen Säurefestigkeit angebaut. Als Pionierpflanze wurde Buchweizen bevorzugt auf sandigen und moorigen Böden sowie in Mittelgebirgslagen nach der Brandrodung oder auf den Heidemoorflächen Norddeutschlands (Moorbrandwirtschaft) kultiviert.

### Vorteile des Buchweizenanbaus

Durch die schnelle Jugendentwicklung und die gute Bodenbedeckung wirkt Buchweizen Unkraut unterdrückend, schützt den Boden vor Erosion und Nährstoffauswaschung und fördert die Bodenfruchtbarkeit. Die Bodenstruktur wird durch die gute Durchwurzelung verbessert. Als Gründüngungskultur reichert Buchweizen den Boden mit organischer Substanz an. Buchweizen hat eine phytosanitäre Wirkung und gilt daher als Gesundungsfrucht (Nematodenbekämpfung). Buchweizen ist anspruchslos in Bezug auf Nährstoffe und relativ trocken-tolerant. Er bietet die Möglichkeit einer pflanzenbaulich sinnvollen Gärrestausrückung im Sommer. Buchweizen ist als Nektar- und Pollenlieferant sehr attraktiv. Jede Pflanze bildet ungefähr 1.800 Blüten. Das langandauernde Blütenangebot ist besonders wichtig, da in unserer Kulturlandschaft zur Zeit der Buchweizenblüte das Nahrungsangebot für Blütenbesucher bereits stark eingeschränkt ist. Buchweizenhonig wird von Imkern allerdings nicht besonders geschätzt. Blühende Buchweizenfelder sind dennoch ein wertvolles Strukturelement in der Landschaft, was zu einer Erhöhung der gesellschaftlichen Akzeptanz führen kann. Vor allem aufgrund seiner kurzen Vegetationszeit kann Buchweizen sehr variabel in Fruchtfolgen eingebunden werden. In einem aktuellen Projekt wird daher Buchweizen zusammen mit Quinoa in einem dreijährigen Feldversuch auf die Eignung als späte Zweitfrüchte für die Biogasproduktion geprüft.

### **Standortansprüche, Bestandsbegründung und -pflege**

Buchweizen ist anspruchslos und gedeiht auch auf kargen Böden und eignet sich prinzipiell für leichte und sandige Böden, Mittelgebirgslagen und Südalpengebiete. Schwere und tonreiche Böden sollten bei einer Nutzung locker und nicht zu feucht sein. Staunässe und Bodenverdichtungen sollten vermieden werden. Buchweizen besitzt eine gute Säurefestigkeit gedeiht jedoch auf neutralen Böden besser.

Der Gewöhnliche Buchweizen ist sehr frostempfindlich, daher sollte die Aussaat nicht vor Mitte Mai (nach den Eisheiligen; Bodenmindesttemperatur 10 °C) erfolgen. Eine Ausnahme ist der Tatarische Buchweizen, der im gewissen Maße kältetolerant ist und Temperaturen bis -2 °C verträgt. Als Biogassubstrat empfiehlt sich eine Aussaat je nach Vorfrucht von Ende Mai bis Mitte Juli. Mit einem TKG von 26 bis 30 Gramm kann Buchweizen in einer Tiefe von 2 bis 4 cm und einer Reihenweite von 14 cm mit der üblichen Drilltechnik ausgesät werden. Je nach Nutzungsrichtung variiert die Saatstärke zwischen 20 kg/ha (ca. 80 bis 100 keimfähige Körner/m<sup>2</sup>) für die Körnernutzung und 60 bis 80 kg/ha (ca. 200 bis 300 keimfähige Körner/m<sup>2</sup>) für die Gründüngung. Als Biogassubstrat genutzt liegt die Saatmenge bei 40 bis 60 kg pro Hektar.

Das Saatbett sollte gut abgesetzt sein und einen flachen lockeren Saathorizont aufweisen. Bodenverdichtungen sollten vermieden werden. Je nach Erntezeitpunkt der Vorfrucht ist eine Grundbodenbearbeitung mit Pflug oder Grubber sinnvoll. Vor Winter empfiehlt es sich zu pflügen, danach ist im Frühjahr ein Einsatz des Grubbers oder der

Egge zu empfehlen. Buchweizen ist nach der Aussaat gegen Austrocknung empfindlich, somit sollte, zur Verbesserung des Wasseranschlusses, ein Einsatz der Walze in Betracht gezogen werden.

In der beschreibenden Sortenliste vom Bundessortenamt ist Buchweizen nicht gelistet. Auf der Internetseite [www.organicxseeds.com](http://www.organicxseeds.com) kann man sich über Eignung und Verfügbarkeit von Sorten für den ökologischen Landbau informieren. In der Sortendatenbank sind momentan die Sorten Panda, Lifago und Spacinska gelistet. Ferner ist ein Buchweizen-Phacelia-Gemenge denkbar. Ergebnisse vom bayerischen Standort Ascha innerhalb des Projekts „Entwicklung und Optimierung von standortangepassten Anbausystemen für Energiepflanzen im Fruchtfolgeregime“ zeigten TM-Erträge um 56 dt/ha mit einem TS-Gehalt von 29 %.

Da Buchweizen mit keiner der üblichen landwirtschaftlichen Kulturen verwandt ist, stellt er keine besonderen Ansprüche an die Fruchtfolgestellung. Vorteilhaft ist eine Stellung nach Getreide oder Kartoffeln. Klee gras ist aufgrund seiner hohen Stickstoffnachlieferung eher nicht geeignet. Buchweizen selbst hat eine sehr gute Vorfruchtwirkung (Unkrautunterdrückung, Verbesserung der Bodengare, Senkung des Nematodendrucks). Buchweizen kann aufgrund seiner kurzen Vegetationszeit sehr variabel in Fruchtfolgen eingebaut werden und eignet sich als Zweitkultur z.B. nach Ganzpflanzengetreide oder nach einer früh räumenden Marktfrucht wie z.B. Gerste oder Roggen.



**TABELLE 11: TROCKENMASSE-ERTRÄGE UND TROCKENSUBSTANZGEHALTE VON ACHT BUCHWEIZENSORTEN ZU ZWEI SAATTERMINEN IM ANBAUJAHR 2011**

Buchweizensorte	Aussaat 15.06., Ernte 23.09.		Aussaat 12.07., Ernte 21.10.	
	TM-Ertrag in dt/ha	TS-Gehalt in %	TM-Ertrag in dt/ha	TS-Gehalt in %
Lifago	49	23	37	26
Spacinska	56	24	34	26
Zita	65	23	35	26
Panda	66	25	34	27
Kora	66	26	33	28
Tussi	68	24	32	26
Lileja	67	25	35	27
Jana	60	24	29	26

Besondere Pflege- und Pflanzenschutzmaßnahmen sind nicht nötig, da die schnelle Jugendentwicklung und ein rascher Reihenschluss Buchweizen sehr konkurrenzfähig gegen Unkräuter machen. Außerdem ist das Auftreten von Krankheiten noch eher selten.

Eine gesteigerte Stickstoffdüngung würde die Lagerneigung von Buchweizen erhöhen und die Abreife verzögern. Daher sollte nur verhalten bis maximal 80 kg N/ha (Sollwert unter Anrechnung von  $N_{\min}$ -Gehalten) gedüngt werden. Für eine gute Bestandsentwicklung sollten ferner ca. 60 kg  $P_2O_5$ /ha und ca. 80 kg  $K_2O$ /ha zur Vorfrucht ausgebracht werden. Wirtschaftsdünger wie Gärreste, Gülle und Stallmist sollten gut verträglich sein.

Je nach Saattermin und erreichtem Trockensubstanzgehalt (optimal sind 28 bis 32 %) kann die Ernte 90 bis 110 Tage nach der Saat mit einem Häcksler erfolgen.

#### **Erträge, Qualität und Zusammensetzung des Ernteprodukts, Methanausbeute**

Die Trockenmasse-Erträge von Buchweizen als späte Zweitfrucht reichen von 30 dt/ha als Minimum für einen späten Saattermin Mitte Juli bis 68 dt/ha als Maximum für den früheren Saattermin Mitte Juni (Tab. 11). Allgemein erzielten Bestände mit Saattermin im Juni fast doppelt so hohe TM-Erträge als eine Aussaat im Juli. Die Trockensubstanzgehalte lagen beim frühen Saattermin unterhalb der geforderten 28 % für ein verlustfreies Silieren, hier empfiehlt es sich den Erntetermin etwas nach hinten zu verlagern.

Neben dem TM-Ertrag sind die Inhaltsstoffe wichtige Parameter für eine Beurteilung der Eignung von Kulturen für die Biogasproduktion. Die nach ELOS (EnzymLösliche Organische Substanz) berechnete, theoretische Methanausbeute liegt im Bereich von 270 bis 330  $NI\ CH_4/kg\ oTM$ . Die Methangehalte aus Gärversuchen werden im Jahr 2013 vorliegen.

#### **Fazit**

Buchweizen-Ganzpflanzen können für die Erzeugung von Biogas genutzt werden. Durch seine kurze Vegetationsperiode lässt sich Buchweizen individuell in Biogasfruchtfolgen aber auch in Kombination mit Marktfrüchten einbauen. Ein Anbau als Biogassubstrat ist je nach Vorfrucht von Ende Mai bis ca. Mitte Juli mit einer Ernte von September bis Oktober machbar. Eine zu spätere Aussaat (Mitte Juli) scheint sich negativ auf die TM-Erträge auszuwirken. Aus pflanzenbaulicher Sicht ist Buchweizen eine willkommene Abwechslung auf dem Feld, bietet einen ökologischen Zusatznutzen als Bienenweide und ist ein attraktives landschaftsgestaltendes Strukturelement.

Ausführlichere Beschreibungen stehen unter [www.tfz.bayern.de](http://www.tfz.bayern.de) bereit.

Autoren: Stockmann, F. (Technologie- und Förderzentrum); Fritz, M. (Technologie- und Förderzentrum)



Buchweizensaat

## 2.14 Amarant

### Allgemeines

Amarant (*Amaranthus cruentus* L.) ist ein Fuchsschwanzgewächs und gehört zur Familie der Chenopodiaceen. Die Pflanze stammt aus den Andenhochländern Boliviens, Peru und Chile. Als  $C_4$ -Pflanze verfügt Amarant wie z. B. auch Mais, Sorghum oder Miscanthus über eine effizientere Fotosyntheseleistung und Wassernutzung als  $C_3$ -Pflanzen (z. B. Getreide, Kartoffeln, Zuckerrüben). Ähnlich wie Sorghum hat Amarant einen hohen Wärmeanspruch und ist sehr frostempfindlich. Da Amarant aufgrund seiner wertvollen Eiweißzusammensetzung und seines hohen Mineralstoffgehalts ein wachsendes Interesse in der Vollwerternährung erfährt, wurde dieses Pseudogetreide in Parzellenversuchen geprüft. Erst in den letzten Jahren wurde auch eine Ganzpflanzennutzung zur Biogasgewinnung diskutiert. Hier deuten jedoch unsere Versuchsergebnisse darauf hin, dass Amarant in Bayern nicht für diesen Nutzungspfad zu empfehlen ist. Unter dem hier kühl-gemäßigten Klima erfolgt die Abreife sehr spät, sodass die niedrigen Trockensubstanzgehalte zur Ernte keine verlustfreie Silierung erlauben. Auch weist Amarant ein relativ niedriges Ertragsniveau auf, das keine wirtschaftliche Substratproduktion zulässt. Dennoch sollen im Folgenden die Anbauempfehlungen, die aus den bisherigen Versuchen abgeleitet wurden, dargestellt werden.

### Standortansprüche, Bodenbearbeitung und Saatbettbereitung

Amarant ist eine sehr genügsame Kultur, die außer einem hohen Anspruch an die Wärmesumme keine besonderen Standortansprüche stellt. Aufgrund der schwachen Konkurrenzkraft gegenüber Unkräutern sollten jedoch möglichst unkrautfreie Ackerflächen für den Amarant-Anbau gewählt werden.

Aufgrund des geringen Tausendkorngewichts (0,8 g) von Amarant ist für einen guten Feldaufgang eine sehr sorgfältige Saatbettbereitung (ähnlich wie für Zuckerrüben) notwendig.

### Saattermin, -gut, -technik, -stärke und Reihenweite

Da Amarant sehr frostempfindlich ist, sollte die Aussaat nicht vor Ende April/Anfang Mai erfolgen. Amarant kann mit der üblichen Drilltechnik auf 14,5 cm gedrillt werden. Als optimale Saattechnik haben sich jedoch spezielle Einzelkornsäugeräte mit exakter Tiefenablage bewährt. Ist der Einsatz einer Hacke zur Unkrautbekämpfung geplant, ist der Reihenabstand abhängig von der vorhandenen Hacktechnik zu wählen. Bei einer Bestandsdichte von 50 Pflanzen/ $m^2$  beträgt die Saatmenge 500 g/ha (TKG = 0,8 g; Keimfähigkeit 80 %). Bei der Etablierung von Amarantbeständen in Versuchspartellen wurde festgestellt, dass trotz optimaler Saatbettbereitung nur bei doppelter Aus-



saatstärke ein ausreichender Feldaufgang erreicht wurde. Insbesondere Verschlämmung kann das Auflaufen von Amarant stark beeinträchtigen.

### Bestandespflege und Düngung

Die einzige Sorte, die aktuell vom Bundessortenamt zugelassen ist, ist die Sorte Bärnkrafft. Da Amarant mit keiner der üblichen landwirtschaftlichen Kulturen verwandt ist, stellt er keine besonderen Ansprüche an die Fruchtfolgestellung.

Amarant weist eine sehr langsame Jugendentwicklung auf und ist damit sehr empfindlich gegen Unkräuter. Einem hohen Unkrautdruck kann mechanisch durch ein- bis zweimaliges Hacken bei einer Wuchshöhe von 5-10 cm begegnet werden. Zur chemischen Unkrautbekämpfung kann Sulcotrione eingesetzt werden. Für eine ausreichende Kulturverträglichkeit sind dabei die Anwendungsbedingungen genau zu beachten.

Die Düngung sollte generell verhalten erfolgen, um das vegetative Wachstum nicht zu fördern, da dann die Gefahr von Lager besteht. Für eine gute Bestandesentwicklung genügen 80 bis 100 kg N/ha, 50 kg  $P_2O_5$ /ha und 100 kg  $K_2O$ /ha. Auch Stallmist, Gülle und Gärreste sind gut verträglich.

Die Ernte erfolgt ab Anfang Oktober mit einem Häcksler. Da die Trockensubstanzgehalte jedoch in der Regel unter 25 % liegen, ist eine verlustfreie Silagebildung nicht möglich.

### Erträge, Qualität und Zusammensetzung des Ernteprodukts, Methanausbeute

In Versuchspartellen wurden bei optimalen Wachstumsbedingungen (Standort mit hoher Stickstoffnachlieferung, gute Bodenerwärmung, überdurchschnittlich hohe Temperatursummen) Maximalerträge von 150 dt TM/ha erzielt. Auf Praxisschlägen liegen die Erträge vermutlich um 20 bis 30 % niedriger. In Versuchen zur Zweikulturnutzung erreichte Amaranth bei einem Aussaattermin Anfang Juni mittlere Trockenmasse-Erträge von 65 dt TM/ha. In Tabelle 12 sind die wichtigsten Inhaltsstoffe von Amaranth dargestellt.

**TABELLE 12: INHALTSSTOFFE VON AMARANTH (% IN TROCKENSUBSTANZ) NACH DER ERWEITERTEN WEENDER-ANALYSE**

Rohasche in %	Rohprotein in %	Rohfett in %	NFE in %	Rohfaser in %	NDF in %	ADF in %	ADL in %
14,6	10,8	2,4	45,4	26,7	45,2	34,7	4,8

Die berechnete Methanausbeute liegt bei 270 NI CH<sub>4</sub>/kg oTM. In einem einmaligen Gärversuch am Institut für Landtechnik und Tierhaltung der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft wurde eine Methanausbeute von 280 NI/kg oTM ermittelt. Damit liegen die theoretischen Methanhektarerträge unter 2.500 m<sup>3</sup>/ha.

### Eignung zur Zweitkultur

Amaranth ist aufgrund seines langsamen Entwicklungszyklus nicht als Zweitkultur nach Ganzpflanzengetreide geeignet.

### Fazit

Im Allgemeinen ist Amaranth nicht für die Nutzung als Biogassubstrat zu empfehlen, da das Ertragsniveau im Vergleich zu anderen Sommerungen verhältnismäßig niedrig ist und die Abreife oft erst sehr spät erfolgt. Nur an Gunstandorten mit hohen Wärmesummen erreicht Amaranth akzeptable Trockenmasse-Erträge.

Autoren: Fritz, M. (Technologie- und Förderzentrum);  
Deiglmayr, K. (Technologie- und Förderzentrum);  
Gehring, K. (Institut für Pflanzenschutz, LfL)

Nachdruck mit freundlicher Genehmigung des  
Biogas Forums Bayern



Vielfältige Amaranthsorten in einem Parzellenversuch

© Stockmann (TFZ)

## 2.15 Für die Biogasgewinnung optimierte Wildpflanzenmischungen

### Allgemeines

Die Wildpflanzenmischungen zur Biogasgewinnung bestehen aus Wildpflanzen- und Kulturarten, die über mehrere Jahre nutzbare, 1,5 bis 3,5 m hohe, blütenreiche Pflanzenbestände bilden. Das Erscheinungsbild der mehrjährigen Mischansaat verändert sich in den ersten drei Standjahren deutlich, da an die Stelle der zunächst dominierenden ein- und zweijährigen Arten zunehmend ausdauernde Pflanzen treten. Durch die Kombination von bis zu 25 Arten ergeben sich vielfältige Mischbestände mit wechselnden Blühaspekten.

Chancen des Anbausystems werden auf regionaler Ebene darin gesehen, dass Flächen mit hoher Artenvielfalt und attraktivem Landschaftsbild auch für die Biogasgewinnung genutzt werden können. Eine Motivation für die Anlage von Wildpflanzenmischungen kann daher in der Kooperation mit Jagdverbänden, Imkern oder in der Akzeptanzförderung der Biogaserzeugung gesehen werden.

Die artenreichen Pflanzenbestände schaffen zusätzliche Lebensräume für verschiedene Wildtiere wie Fledermäuse, Vögel, Feldhase und Reh. Die Blütenpflanzen bieten Bienen und anderen Blütenbesuchern gerade in der blütenarmen Zeit im Spätsommer zusätzliche Nahrungsquellen.

Die mehrjährige Bodenruhe, ganzjährige Bodendeckung und intensive Durchwurzelung des Bodens bieten Schutz vor Bodenabtrag durch Wasser- oder Winderosion, die Gefahr der Bodenverdichtung ist vermindert. Der Verzicht auf Pflanzenschutzmittel, das relativ niedrige Düngenniveau und die lange Vegetationszeit verringern das Risiko einer Stickstoffverlagerung im Boden oder eines Stoffeintrags in Oberflächengewässer.

Der Produktionsaufwand ist durch die einfache Bestandsgründung als Blanksaat und die mehrjährige Nutzungsdauer mit nur zwei jährlichen Arbeitsschritten (Düngung und Ernte) niedrig.

### Mischungen

Diese Art des Energiepflanzenanbaus mit mehrjährigen Mischkulturen wird momentan noch von der Bayerischen Landesanstalt für Wein- und Gartenbau (LWG) erprobt und weiterentwickelt. In den in Bayern und Niedersachsen gelegenen Versuchen stehen bis zu 12 Mischungen, die an unterschiedliche Standortansprüche angepasst und für verschiedene Einsatzgebiete konzipiert sind. Die gezielte Auswahl speziell angepasster Wildpflanzenarten bietet die Möglichkeit, selbst bei schwierigen Standortbedingungen befriedigende Erträge zu erzielen.



Abb. 35: Von Malven und Sonnenblumen dominierter Bestand im ersten Standjahr.

Im Handel sind bisher nur wenige für die Biogasgewinnung konzipierte Mischungen erhältlich. Auf Praxisflächen wird derzeit überwiegend die „Praxistestmischung (t)“ für eher trockene Standorte eingesetzt. Sie verfügt über ein sehr großes Artenspektrum mit einer relativ breiten Standortanpassung. Bei dieser Mischung herrschen im ersten Standjahr verschiedene Malvenarten und Sonnenblumen vor, die bis zu 3,5 m hohe, meist lockere Bestände bilden. In den folgenden Standjahren dominieren heimische Staudenarten wie Rainfarn, Wegwarte und Flockenblume, welche etwas niedrigere Bestände mit einer wesentlich dichteren Struktur bilden.

### Erträge

Versuchserträge lagen im Etablierungsjahr, bei einer starken Streuung, meist im Bereich zwischen 5 und 12 t Trockenmasse pro Hektar. Bei der Praxistestmischung nimmt das Ertragsniveau danach meist zu, sodass ab dem 2. Standjahr regelmäßig Erträge zwischen 8 und 15 t/ha erzielt werden können (Abb. 37). Die Methanausbeute liegt bei den wichtigsten ertragsbildenden Arten dieser Mischung zumeist etwas niedriger als beim Silomais (Abb. 38).

### Aussaat

Für eine sichere Bestandsetablierung empfiehlt sich die Aussaat auf ein feinkrümeliges, möglichst unkrautfreies, abgesetztes Saatbett. Die Aussaat sollte zwischen Ende März bis Anfang Juni erfolgen, am günstigsten ist der Zeitraum zwischen Mitte April und Mitte Mai. Bei der Praxistestmischung liegt die Saatstärke bei 10 kg Saatgut pro Hektar. Das Saatgut muss oberflächlich abgelegt werden, um eine Keimung der lichtabhängigen Wildstaudensamen zu ermöglichen. Um einen guten Bodenanschluss der Samen zu gewährleisten, wird die Fläche im Allgemeinen anschließend gewalzt. Bei sehr leichten, trockenen Böden muss auf das Walzen verzichtet werden, wenn die Gefahr besteht, dass die Samen dabei überdeckt werden.

Abb. 36: Bei der Praxistestmischung bilden im zweiten Standjahr heimische Wildstauden wie Rainfarn, Flockenblume und Wegwarte einen blütenreichen Pflanzenbestand.



## Pflanzenschutz und Düngung

Pflanzenschutz ist im Regelfall nicht erforderlich. Tierische Schädlinge oder andere Pflanzenkrankheiten wurden bisher nur in Einzelfällen beobachtet (z. B. *Sclerotinia* bei Sonnenblumen).

Die Stickstoffdüngung kann organisch oder mineralisch erfolgen. Nach derzeitiger Empfehlung wird im ersten Standjahr auf 100 kg N/ha und ab dem zweiten Standjahr auf 150 kg N/ha aufgedüngt. Für P, K, Mg und Ca ist die mittlere Versorgungsstufe C anzustreben.

## Ernte und Verwertung

Die Erntetermine unterscheiden sich je nach Mischung und Standjahr. Bei der Praxistestmischung wird im ersten

Standjahr bei ca. 28 % Trockenmasse geerntet (meist im September), ab dem zweiten Standjahr nach der Hauptblüte des Bestandes ab Mitte Juli bei Trockenmassegehalten von etwa 31 %. Die Ernte kann mit praxisüblichen Maschinen, z. B. einem reihenunabhängigen Häcksler oder im absätzigen Verfahren erfolgen. Verspätete Erntetermine führen zu einem Rückgang der Methanausbeute, weshalb auf eine rechtzeitige Ernte geachtet werden sollte. Das Häckselgut kann entweder separat oder zusammen mit dem Erntegut anderer Energiepflanzen siliert und anschließend als Koferment in landwirtschaftlichen Biogasanlagen verwertet werden.

Autorin: Vollrath, B.

(Bayerische Landesanstalt für Weinbau und Gartenbau)

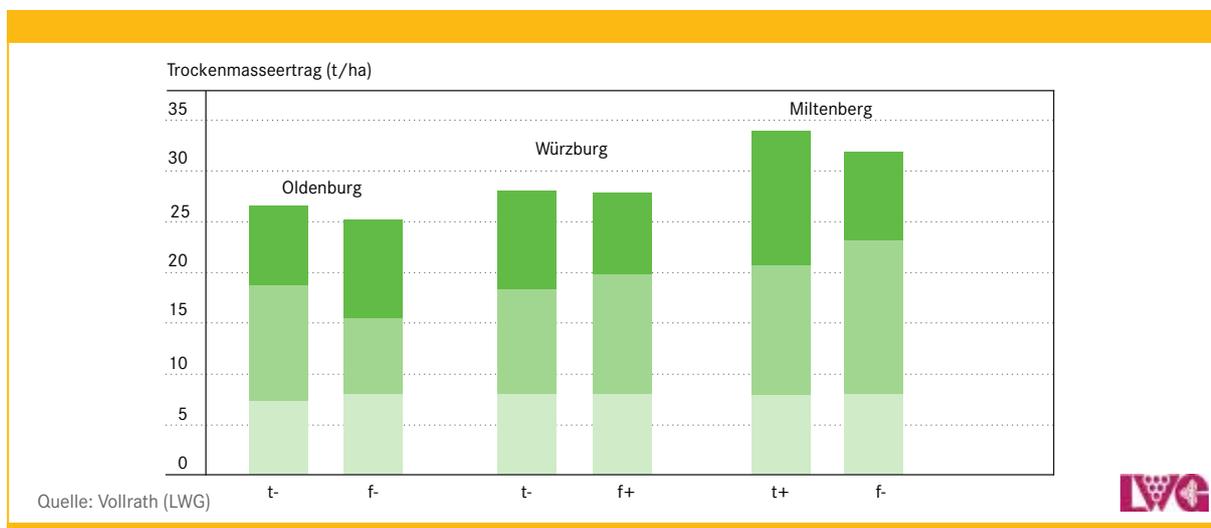


Abb. 37: Aufsummierte Biomasseerträge der beiden ertragsstärksten Mischungen der Standorte Oldenburg, Würzburg und Miltenberg

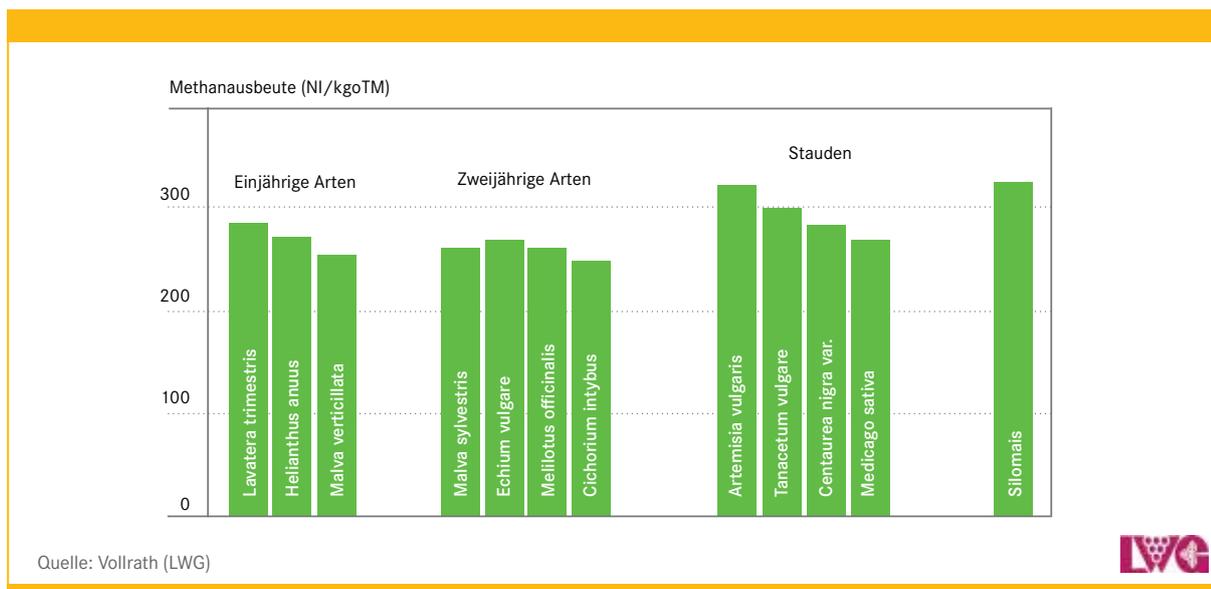


Abb. 38: Methanausbeute wichtiger ertragsbildender Arten der Praxismischung sowie von Silomais



## 2.16 Miscanthus als Energie- und Rohstoffpflanze

### Allgemeines

*Miscanthus x giganteus* ist ein stark wüchsiges Süßgras (Poaceae) mit 4 bis 5 m Wuchshöhe, das 1935 nach Europa eingeführt wurde. Das Chinaschilf ist steril und kann sich dadurch nicht unkontrolliert vermehren. Der Anbau erfolgt üblicherweise über die Pflanzung von Rhizomen (Wurzelstücke, die als Speicherorgane dienen).

Miscanthus hat als C<sub>4</sub>-Pflanze eine sehr effektive Photosynthese, wodurch er unter optimalen Standortbedingungen hohe Biomasseerträge bis über 20 t TM/ha liefern kann. Ein Herbizideinsatz beschränkt sich auf das erste bzw. maximal auf die ersten beiden Jahre. Bei der Düngung kann auf verhaltene Gaben gesetzt oder bei guter Nährstoffversorgung des Bodens auch ganz darauf verzichtet werden. Der Blattabwurf über Winter dient der Nährstoffrückführung, dem Humusaufbau und der Unkrautkontrolle. Da so gut wie keine Bodenbearbeitung nötig ist, schon ein Miscanthusbestand langfristig Boden und Grundwasser. Bei diesem geringen pflanzenbaulichen Aufwand und einer Nutzung von über 20 Jahren kann somit von einem bodenschonenden Anbau gesprochen werden. Darüber hinaus hat er ein großes Potenzial, Kohlenstoff aus der Luft über die Fotosynthese zu speichern, den er in seiner Biomasse (oberirdisch und Wurzelwerk) und Humusaufbau festlegt. Bei der thermischen Nutzung wird nur der oberirdisch gebundene CO<sub>2</sub>-Anteil wieder frei, während bei der stofflichen Nutzung das CO<sub>2</sub> der Atmosphäre dauerhaft entzogen wird.

### Standortansprüche, Pflanzung und Pflege in aller Kürze

Ausführliche Anbauhinweise zu Miscanthus finden sich auf der Internetseite des TFZ unter [www.tfz.bayern.de/rohstoffpflanzen/](http://www.tfz.bayern.de/rohstoffpflanzen/) sowie in den TFZ-Berichten Nr. 18 (Miscanthus als Nachwachsender Rohstoff) und 19 (Miscanthus: Anbau und Nutzung – Informationen für die Praxis).

Auch wenn Miscanthus als eher anspruchslos gilt, sollte er zum Erreichen höchster Erträge von über 20 t TM/ha

auf guten und Staunässe freien Böden angebaut werden. Gut geeignet wären lockere, tiefgründige Böden mit gutem Wasserspeichervermögen. Für gesicherte hohe Erträge sollten die Niederschläge im Jahr gut verteilt sein und möglichst über 700 mm liegen. Da eine Durchschnittstemperatur von über 7 °C angestrebt werden sollte, wird von exponierten, kahlfrosthigen Lagen eher abgeraten.

Abgesehen von höheren Auswinterungsraten bei meristemvermehrten Jungpflanzen sind diese auch teurer und anfängliche Unterschiede von höheren Triebanzahlen im Vergleich zu rhizomvermehrten Jungpflanzen verwachsen sich nach wenigen Jahren. Werden 0,17 € als Preis je Rhizom unterstellt ergeben sich dennoch relativ hohe Investitionskosten von etwa 1.700 € je Hektar. Allerdings können später aus etablierten Beständen (frühestens ab 3. Standjahr) Rhizome für weitere Flächen gewonnen werden. Die empfohlene Pflanztiefe liegt bei 10 bis 15 cm und sollte wie praxisüblich im Frühjahr nach den letzten Spätfrösten geschehen, ist aber auch im Herbst möglich. Für die Pflanzung haben sich Maschinen aus dem Kartoffelanbau sowie aus Gemüsebau und Forst durchgesetzt. Wie oben schon erwähnt, sollte aufgrund der Konkurrenzschwäche im ersten Jahr der Boden vor Pflanzung tiefgründig gelockert und unkrautfrei sein.

Miscanthus ist nach der Pflanzung im ersten Anbaujahr sehr empfindlich gegenüber Unkräutern und Ungräsern. Der Einsatz von Bodenherbiziden nach der Pflanzung ist daher unverzichtbar. Hierfür ist eine Reihe von verschiedenen Herbiziden zugelassen. Im Frühjahr des zweiten Standjahres können Altunkräuter noch vor dem Wiederaustrieb der Kultur mit einer Glyphosat-Behandlung bekämpft werden. Ab dem zweiten Standjahr ist in geschlossenen Beständen meist keine Unkrautbekämpfung mehr notwendig.

### Düngung und Erträge

Für eine gute Bestandsetablierung und Rhizomentwicklung wird im Pflanzjahr auf eine N-Düngung verzichtet, die Versorgung des Bodens mit Phosphor, Kalium oder Magnesium aber gegebenenfalls auf die Gehaltsstufe C aufgedüngt. Im ersten Standjahr empfiehlt sich eine Düngung von bis 100 kg N/ha, 40–60 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha, ca.

150 kg K<sub>2</sub>O und bis zu 30 kg MgO/ha. Im weiteren Verlauf richtet sich die Düngung nach dem Ertrag und der entsprechenden Nährstoffabfuhr.

Je nach Standortbedingungen können aber auch andere Faktoren als die Nährstoffverfügbarkeit, wie u. a. Niederschlag, Durchschnittstemperaturen, Länge der Vegetationsperiode etc., ertragslimitierend wirken. Während in einem bayerischen Langzeitversuch am Gunststandort Freising eine erhöhte N-Düngung (bis 150 kg N/ha) durchaus Ertragsanstiege bewirkt, bleiben die Erträge in Güntersleben unabhängig der N-Gaben auf einem einheitlichen Niveau (Abb. 39). Zum einen fallen in Güntersleben rund 150 ml weniger Niederschlag (ca. 600 mm/Jahr). Zum anderen verkürzen früh auftretende Fröste und eine späte Erwärmung im Frühjahr die Vegetationsperiode und führen so zu einem verminderten Ertrag.

### Ernte und Verwendungsmöglichkeiten

Die Ernte erfolgt im Frühjahr, meist von März bis April, wenn Trockensubstanzgehalte von über 85 % vorliegen und das Material ohne weitere Trocknung ab Feld lagerfähig ist. Durch den fast ganzjährigen Bewuchs bietet Miscanthus einen wertvollen Rückzugsraum für Wildtiere, insbesondere über Winter. Als Erntegeräte eignen sich reihenunabhängige Maishäcksler oder Scheibenmäher mit nachfolgender Ballenpresse.

Die Verwertungsmöglichkeiten sind sehr vielfältig (Abb. 40) und benötigen unterschiedliche Erntegutqualitäten. Aufgrund ihrer geringen Schüttdichte haben Miscanthushäcksel ein größeres Lager- und Transportvolumen als

beispielsweise Holzhackschnitzel oder gar Holzpellets. Es lassen sich aber auch Miscanthuspellets und -briketts herstellen. Weit verbreitet ist die thermische Nutzung von Miscanthus in Form von Häckselgut, Pellets oder Briketts. Mit ca. 0,5 bis 0,75 ha Miscanthus kann der Jahreswärmebedarf eines Einfamilienhauses gedeckt werden. Als halmgutartiger Brennstoff weist er jedoch im Vergleich zu Holz einige Besonderheiten auf, weshalb er nur in auf Miscanthus geprüfte und zugelassene Feuerungsanlagen eingesetzt werden darf.

Weitere Einsatzmöglichkeiten finden sich z. B. im Gartenbau als Mulchmaterial oder in der Tierhaltung als Einstreu. Als biologischer Baustoff wird er mit Zement zu Leichtbausteinen verarbeitet, als Bauelement, Estrich oder in der Wärme- und Schallisolierung verwendet. In China ersetzt Miscanthus bereits einen großen Holzanteil in der Papierherstellung und in Dänemark wird Miscanthus (allerdings *M. sinensis*) zur Dachbedeckung als Reetdach-Ersatz genutzt. In Verbindung mit Polymeren aus Rapsöl entsteht ein leichter, flexibler und stabiler Kunststoff, der z. B. in der Autoindustrie eingesetzt wird.

Theoretisch kann die Biomasse von **Miscanthus in Biogasanlagen** eingesetzt werden, doch müsste das zum regulären Frühjahrstermin geerntete, zu verholzte Material vorerst chemisch-mechanisch behandelt werden, um einen Aufschluss im Fermenter zu gewährleisten. Interessant wäre hingegen die Möglichkeit einer Ernte der noch grünen Biomasse, beispielsweise im Sommer. Ein Versuch des TFZ mit unterschiedlichen Schnittregimen zeigte jedoch, dass ein früher Schnitt der noch grünen Biomasse

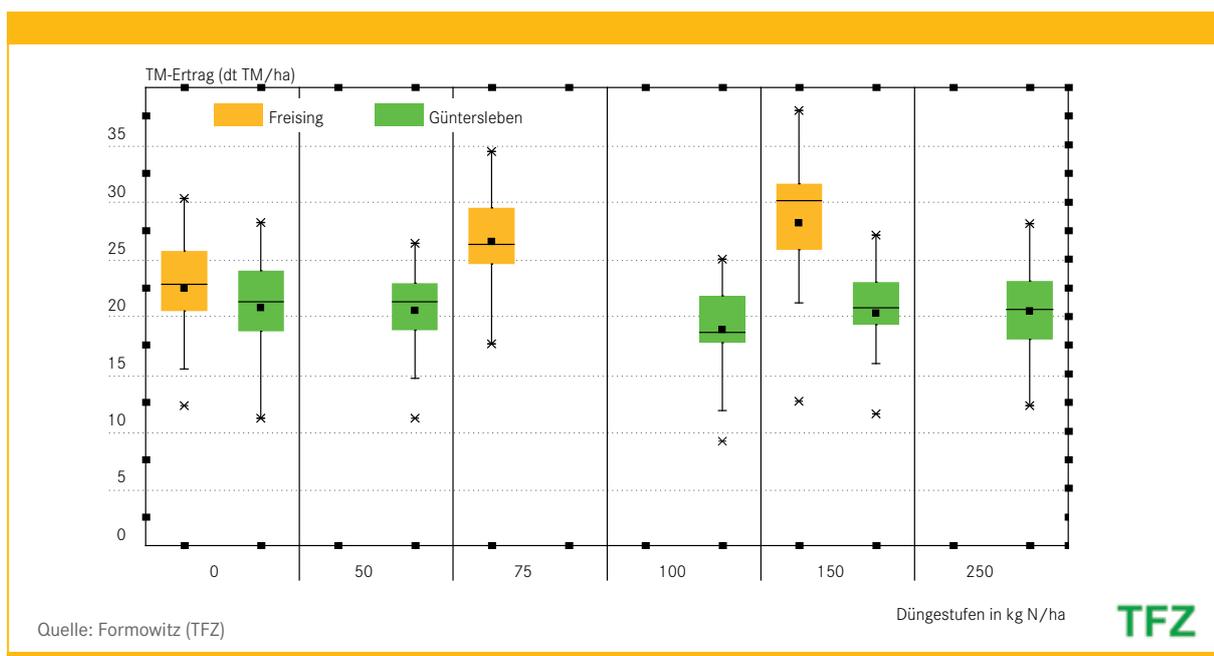


Abb. 39: Trockenmasse-Erträge von *Miscanthus x giganteus* der Aufwuchsjahre 1993 bis 2010 in Freising und Güntersleben je N-Düngestufe

im August zu Ertragsverlusten führt. Nach diesem Termin treibt Miscanthus nicht mehr genügend nach, um ausreichend Nährstoffe aus der oberirdischen Biomasse in das Rhizom zu verlagern, wodurch die Grundlage seiner Austriebskraft im nächsten Jahr geschwächt wird. Selbst nach einer „Schonzeit“ von 1,5 Jahren hatte sich der Bestand von der frühen Ernte noch nicht wieder erholt (Abb. 41). Somit muss nach derzeitigem Kenntnisstand aus pflan-

zenbaulicher Sicht von der Nutzung der grünen Biomasse von *Miscanthus x giganteus* als Biogassubstrat abgeraten werden.

Autoren: Formowitz, B. (Technologie- und Förderzentrum); Fritz, M. (Technologie- und Förderzentrum); Gehring, K. (Institut für Pflanzenschutz, LfL)

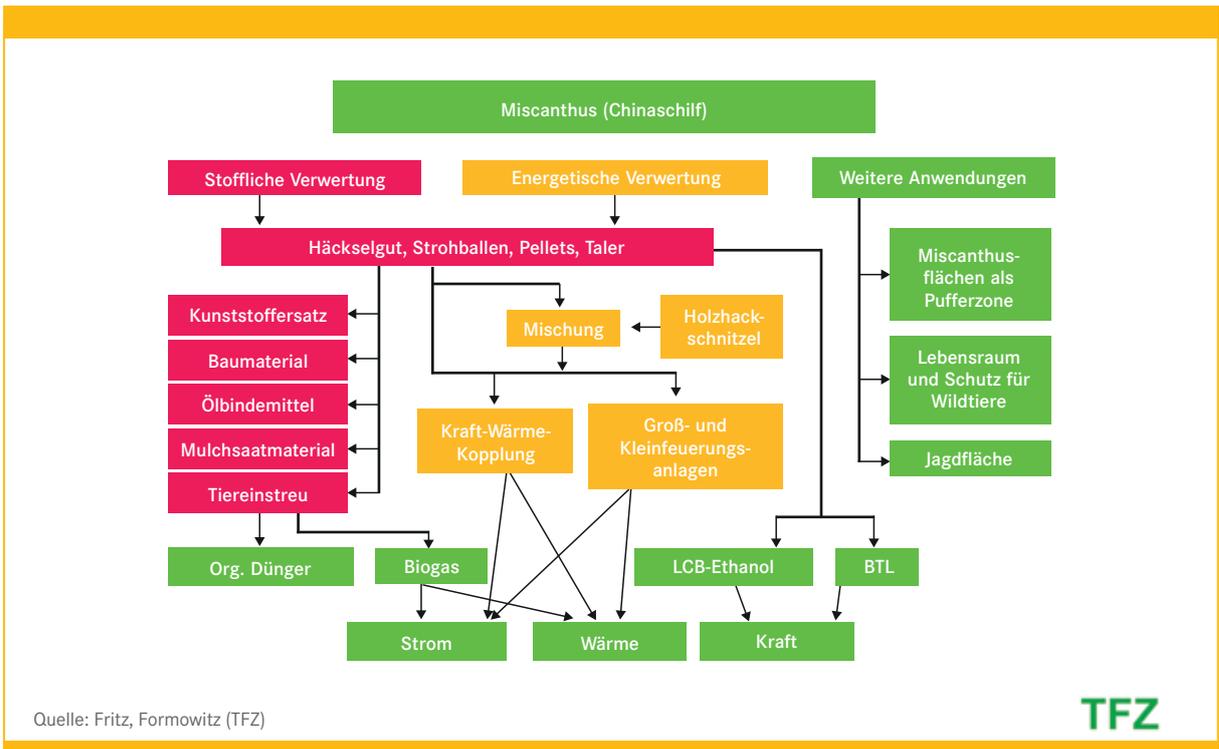


Abb. 40: Stoffliche, energetische und weitere Verwertungs- sowie Anwendungsmöglichkeiten für *Miscanthus x giganteus*

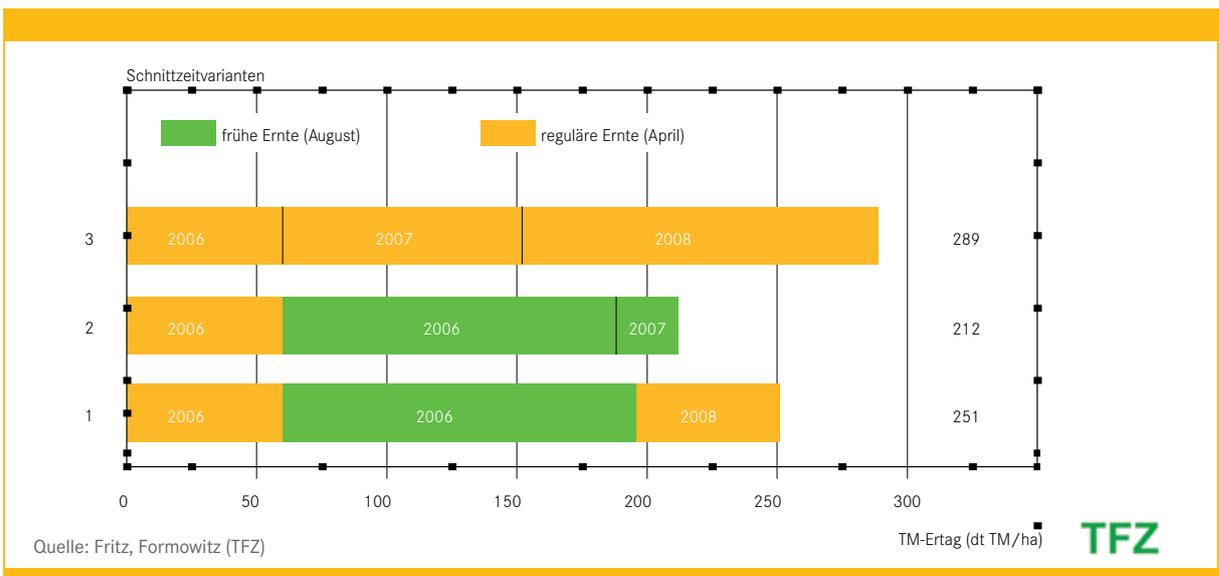


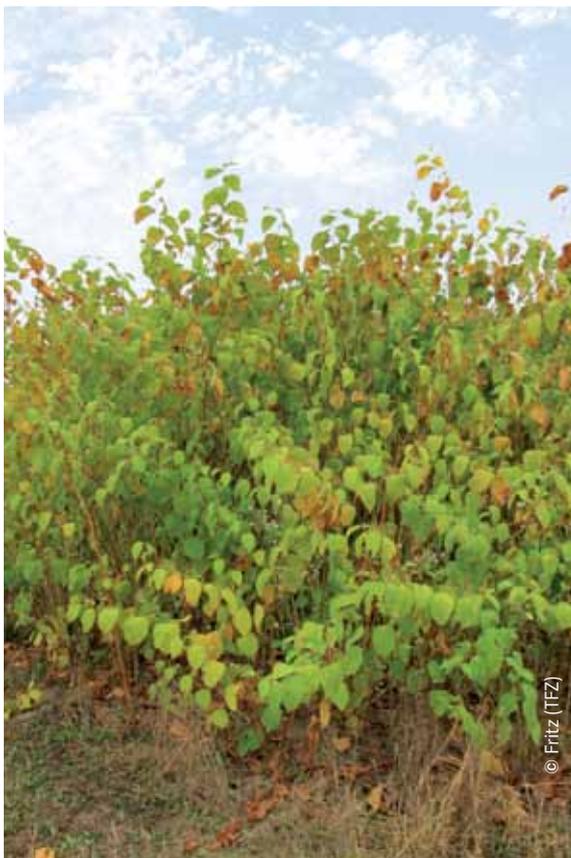
Abb. 41: Trockenmasse-Erträge von *Miscanthus x giganteus* unter verschiedenen Schnittregimen (Var. 1 = Sommerschnitt 2006 + reguläre Ernte 2008; Var. 2 = Sommerschnitt 2006 und 2007; Var. 3 = reguläre Ernte 2007 und 2008)

## 2.17 Exoten und neue bzw. Sonderkulturen

Auf der Suche nach neuen Energiepflanzen werden immer wieder neue einjährige und mehrjährige Pflanzen getestet, um das Angebotsspektrum mit lukrativen Kulturen zu erweitern. Derzeit werden neben bekannten Ackerkulturen unter anderem Knöterichsorten, Topinambur, die zu den Malvengewächsen zählende Sida, Ampfer (Rumex Schavnat), Rutenhirse (Switchgrass) sowie das Riesenweizengras angebaut und auf ihre jeweilige Nutzungseignung hin geprüft. Ob sie sich im Anbau durchsetzen, hängt von Ertragshöhe und -stabilität sowie der erzielbaren Biomasse-Qualität ab, aber auch von der Verfügbarkeit passender Produktionstechnik. Je nach Nutzungsrichtung werden unterschiedlichste Ansprüche an die jeweilige Kultur gestellt. Für den erfolgreichen Einsatz in Biogasanlagen müssen beispielsweise eine gute Siliereignung und hohe Biogas- bzw. Methanausbeuten vorliegen. Ertragsstarke Dauerkulturen wären von besonderem Interesse, da sie hohe Deckungsbeiträge durch oftmals geringen pflanzenbaulichen Aufwand versprechen.

### 2.17.1 Knöterichsorten

Beide **Knöterichsorten**, die unter den Namen **IGNISCUM® Basic** und **IGNISCUM® Candy** vermarktet werden, unterscheiden sich von dem herkömmlichen Sachalin- oder Riesenknöterich (*Reynoutria japonica*) durch das Fehlen von Seitenausläufern, wodurch eine seitliche Ausdehnung der Bestände weitgehend vermieden wird. Trotzdem sind beide IGNISCUM®-Sorten aufgrund ihrer tiefreichenden Wurzeln und dem enormen Austriebsvermögen als hochinvasive Kulturen einzuschätzen. Daher sollte ihr Anbau nicht auf Standorten erfolgen, die eine ungewollte



Verbreitung erleichtern (z. B. angrenzende Fließgewässer) und entsprechende Vorsichtsmaßnahmen bei der Bestandspflege und Ernte getroffen werden (z. B. Entfernung anhaftender Pflanzenteile von Bodenbearbeitungs- und Erntegeräten, Abdeckung des grünen Pflanzenmaterials beim Transport). Wer dennoch eine Pflanzung vornehmen will, muss eine vergleichsweise hohe Investition für die Jungpflanzen einplanen.

Bei der Bestandesanlage werden Pflanzdichten von 1 Pflanze je Quadratmeter angestrebt. Die erzielbaren Erträge werden von wissenschaftlichen Forschungseinrichtungen, Praktikern und Händlern sehr unterschiedlich eingeschätzt, es werden Erträge von 10 bis über 30 t TM je Hektar und Jahr genannt. Da die Stängel hohl sind, weichen tatsächliche Erträge häufig von Erwartungen nach Sichtung des Bestands ab. IGNISCUM® Candy darf erst nach 3-jähriger Etablierung beerntet werden. Ähnlich wie Miscanthus wird IGNISCUM® Basic für die thermische Verwertung erst nach Winter bei Trockensubstanz-Gehalten über 85 % geerntet. Zur Rodung von IGNISCUM®-Beständen sind keine Untersuchungen bekannt. Ausgehend von den Bekämpfungsproblemen des Sachalin-Knöterichs und den sehr tiefreichenden Wurzeln wird ein hoher Aufwand erwartet.

### 2.17.2 Topinambur

Der aus Nord- und Mittelamerika stammende Korbblütler **Topinambur** (*Helianthus tuberosus*) ist ein invasives Knollengewächs, welches leicht verwildert. Er erreicht Wuchshöhen von 3 bis 5 m und erreicht bei geringem Arbeitsaufwand 10 bis 17 t Kraut-Trockenmasse/ha. Topinambur bevorzugt leicht erwärmbar, sandige bis sandig-lehmige Böden mit ausreichender Wasserversorgung. Mit 45.000 bis 50.000 Pflanzen je Hektar wird diese Pflanze – zur leichteren Ernte der Knollen häufig in Dammkultur – angebaut. Die gelbe Blüte stellt nicht nur eine gute Futterquelle für Bienen, Hummeln und andere Insekten im Spätsommer dar, sondern leistet zusätzlich einen wertvollen Beitrag zur Imagepflege. Es können Kraut- und Knollen Verwendung finden, jedoch fällt die Methanausbeute des Krauts aufgrund hoher Ligningehalte eher gering aus. Die Nutzung der Knollen in Biogasanlagen ist problematisch aufgrund anhaftender Erde. Beim Auflösen der Fläche werden meist nicht alle Knollen entfernt, sodass es immer wieder zu Durchwuchs kommt, was Folgekulturen beeinträchtigt und einen erhöhten Kontroll- bzw. Herbizidaufwand erfordert.



### 2.17.3 Sida

Die Nutzungsdauer der relativ anspruchslosen, aus Nordamerika stammenden **Sida** (*Sida hermaphrodita*) beträgt laut Borkowska und Styk (2006) 15 bis 20 Jahre. Die Flächenbegründung kann durch Aussaat von 1 bis 2 kg Samen pro Hektar in 1 bis 1,5 cm Tiefe erfolgen oder durch Ablage von 8 bis 10 cm langen Wurzelstücken in 6 bis 8 cm Tiefe (MAREK und CZYZ 2009). Pflanzen aus vegetativer Vermehrung seien dabei in den ersten drei Jahren wuchskräftiger als jene aus generativer Vermehrung. Zudem zeigte das Saatgut in einem ersten eigenen Etablierungsversuch am TFZ nur eine ca. 40 %ige Keimfähigkeit. Bei der Saat ist unbedingt auf gut rückverfestigten Boden bei möglichst flacher Ablage zu achten, da die Triebkraft von Sida sehr gering ist. Angestrebt wird eine Bestandesdichte von minimal 40.000 bis 70.000 Pflanzen/ha für die thermische Verwertung und etwa 120.000 Pflanzen/ha für die Nutzung als Biogassubstrat. Generell ist Sida im ersten Jahr konkurrenzschwach, sodass eine Unkrautkontrolle erfolgen muss. In einem Versuch der Landesforschungsanstalt für Landwirtschaft und Fischerei in Gülzow erreichte der sehr heterogene Sida-Bestand Erträge von ca. 2,5 bis 10 t TM/ha ab dem zweiten Standjahr (PETERS 2012). Eine zu BBCH 51 durchgeführte Biomasseuntersuchung ergab eine theoretische Methanausbeute von lediglich 228 l/kg oTS, womit diese Kultur nicht als vorzügliches Biogassubstrat erscheint. Jedoch konnten Energiewerte von 18 MJ/kg Trockenmasse festgestellt werden, womit Sida im Bereich von Holz und Miscanthus liegt. Sida entwickelt dichte und tiefreichende Wurzeln, die in Polen zur Rodung bisher herausgegrubbert und entfernt werden (teilweise Nutzung als Pflanzgut oder zur Wildfütterung).

### 2.17.4 Rutenhirse

**Rutenhirse** (*Panicum virgatum*), auch **Switchgrass** genannt, stammt ebenfalls aus Nordamerika und ist wie Mais eine C<sub>4</sub>-Pflanze. Das an Trockenstress angepasste Präriegrass ist auch bei Sommertrockenheit zur Produktion hoher Biomasseleistungen imstande, da es tief wurzelt und Bodenwasservorräte gut erschließt (TRESSELER 2007). Switchgrass erreichte in österreichischen Versuchen 17 bis 18 t TM/ha (SCHRABAUER ET AL. 2010), die je nach Standortbedingungen von 8 bis 20 t TM/ha variieren können (BÖHRNSEN 2010). Wie Miscanthus bildet Rutenhirse Rhizome aus, unterirdische Speicherorgane, die das Überwintern ermöglichen. Im Gegensatz zu Miscanthus wird Switchgrass jedoch im Frühjahr gesät, mit 6 bis 9 kg Samen/ha auf eine unkrautfreie Ackerfläche. Rutenhirse kann einschnittig thermisch und zweisechnittig als Futter oder Biogassubstrat verwertet werden (SCHRABAUER ET AL. 2010).

### 2.17.5 Rumex Schavnat

**Rumex Schavnat** ist eine winterharte Ampferart, die ebenfalls als Dauerkultur (Nutzungsdauer 15 bis 20 Jahre) als Biogassubstrat oder thermisch genutzt werden kann. Als Substrat für die Biogasproduktion empfiehlt sich eine zweimalige Ernte, im zeitigen Frühjahr (April/Mai) und, je nach Wachstum, Juni/Juli (VETTER 2010). Für eine gute Bestandsetablierung muss eine Unkrautkontrolle im ersten Jahr erfolgen. Rumex liefert Erträge von 9 bis 16 t TM/ha und mit Mais vergleichbare Methanausbeuten (VETTER 2010). Dennoch hat es sich im Praxisanbau nicht durchgesetzt. Zum einen kann es nach Flächenumbruch zu Durchwuchs des Ampfers kommen, welcher einen erhöhten und am besten kombinierten chemischen sowie



mechanischen Bekämpfungsaufwand nach sich zieht. Zum anderen halten sich trotz wissenschaftlicher Untersuchungen, die die Abtötung von Ampfersamen durch Silierung und im Biogasfermenter belegen (GAMS ET AL. 2008, KILLERMANN ET AL. 2005), Bedenken gegen einen Einsatz dieses Substrats in der Praxis, aufgrund der Befürchtung über Gärreste noch keimfähige Ampfersamen zu verbreiten. Es sollte also überprüft werden, ob Rumex an eine Biogasanlage als Substrat verkauft oder eigene Gärreste als Dünger abgegeben werden können, bevor in diese Kultur investiert wird.

### 2.17.6 Riesenweizengras/Energiegras

Das frost- und trockenheitstolerante **Riesenweizengras** oder **Energiegras** (*Elymus elongatus* subsp. *ponticus* cv. Szarvazi-1, oft auch als *Agropyron elongatum* oder *Thinopyrum ponticum* bezeichnet) stammt aus dem vorderasiatischen Raum und ist wie die Rutenhirse aufgrund seines guten Wurzelsystems an Trockenheit angepasst (MOORE ET AL. 2006). In Österreich konnten mit einschnittigen und zweischnittigen Ernteregimen Erträge zwischen 9 und 20 t TM/ha erzielt werden (SCHRABAUER ET AL. 2010). Ergebnisse des Landwirtschaftlichen Bildungszentrums Triesdorf ergaben Trockenmasse-Erträge von summierten 19 t TM/ha bei einem Zweischnittregime (GEISSEN-DÖRFER 2011). In dem Triesdorfer Schauversuch lagen die Methanausbeuten des Riesenweizengrases Szarvazi-1 sogar um 20 l/kg oTM höher (350 l/kg oTM) als die von Mais (330 l/kg oTM), weitere Analysen dazu liegen derzeit nicht vor. Zur thermischen Nutzung sollte der Schnitt im Spätsommer geschehen, um geringere Gehalte an unerwünschten Nährstoffen zu erhalten (SCHRABAUER ET AL. 2010). Für einen guten Wiederaufwuchs wird eine Schnitthöhe von 15 cm empfohlen. Aufgrund des langsamen Wiederaufwuchses und der Konkurrenzschwäche kam es teilweise zu Ertragsverlusten. Somit ist auch bei dieser Kultur eine gute Unkrautbekämpfung im ersten Jahr ein Muss. Zu beachten ist, dass zur Bestandesanlage am besten im Spätsommer oder sehr zeitig im Frühjahr ausgesät wird. Eine Saat im April oder Mai führt zu nicht schossenden Beständen, hohem Aufwand zur Unkrautkontrolle (mulchen) und Ertragsausfall.

Die angeführten Kulturen stellen interessante Ergänzungen des bekannten Kulturartenspektrums dar, doch brauchen sie noch weitere züchterische Bearbeitung und begleitende Forschung, um hohe Ertragsstabilität und eine effiziente energetische oder stoffliche Nutzung sicherstellen zu können.

### Literatur

**Böhrnsen, A. (2010):** Heizen mit Switchgrass – Vielversprechender Nawaro. Profi – Magazin für professionelle Agrartechnik, Nr. 1, S. 70–73.

**Borkowska, H. und Styk, B. (2006):** Staude mit Potenzial – Sida als Energie- und Faserpflanze. Energie Pflanzen II/2006. URL: [www.biogas-infoboard.de/](http://www.biogas-infoboard.de/) (Datum des Zugriffs: 01.03.2012).

**Gams, U.; Kaiser, F.; Gronauer, A.; Pomer, G.; Fuchs, R.; Mosch, S.; Voit, B. und Killermann, B. (2008):** Laboruntersuchungen über den Einfluss des Biogasprozesses auf die Lebensfähigkeit von Ampfersamen in einer einstufigen Versuchsfermentieranlage. URL: [www.lfl.bayern.de/ipz/saatgutenerkennung/23809/](http://www.lfl.bayern.de/ipz/saatgutenerkennung/23809/) (Datum des Zugriffs 16.03.2012).

**Geißendörfer, H. (2011):** Triesdorfer Energiepflanzenversuch – Versuche mit perennierenden Energiepflanzen. Vortragsfolien, URL: [www.bioenergie-portal.info/fileadmin/bioenergie-beratung/rheinland-pfalz-saarland/dateien/2\\_Geissendoerfer\\_Energiepflanzen.pdf](http://www.bioenergie-portal.info/fileadmin/bioenergie-beratung/rheinland-pfalz-saarland/dateien/2_Geissendoerfer_Energiepflanzen.pdf) (Datum des Zugriffs: 12.03.2012).

**Killermann, B. (2005):** Auswirkungen des Silierens auf die Keimfähigkeit von Ampfersamen (*Rumex* spp.). URL: [www.lfl.bayern.de/ipz/gruenland/13616/](http://www.lfl.bayern.de/ipz/gruenland/13616/) (Datum des Zugriffs 16.03.2012).

**Marek, B. und Czyz, H. (2009):** Einfluss von Standortbedingungen und agrotechnischen Maßnahmen auf die Entwicklung und Erträge von Sida (*Sida hermaphrodita* Rusby). URL: [www.biomalwa.com/de/literatura.html](http://www.biomalwa.com/de/literatura.html) (Datum des Zugriffs: 01.03.2012).

**Moore, G.; Sanford, P. und Wiley, T. (2006):** Perennial pastures for Western Australia. Department of Agriculture and Food Western Australia, Bulletin 4690, Perth. URL: [www.agric.wa.gov.au/objtwr/imported\\_assets/content/past/tall%20wheat%20grass.pdf](http://www.agric.wa.gov.au/objtwr/imported_assets/content/past/tall%20wheat%20grass.pdf) (Datum des Zugriffs: 13.03.2012).

**Peters, J. (2012):** Persönliche Mitteilung über Versuchsergebnisse der Landesforschungsanstalt für Landwirtschaft und Fischerei Mecklenburg Vorpommern zum Anbau und der Verwertung von *Sida hermaphrodita*.

**Schrabauer, J.; Liebhard, P.; Humer, J. und Buchgraber, K. (2010):** Bestandesbegründung und Kulturführungsmaßnahmen bei Rutenhirse, Rohrschwengel und Riesen-Weizengras zur energetischen Verwertung und Futtermutzung. In Pude R. (Hrsg.): *Miscanthus – Netzwerke und Visionen*. Tagungsband der 6. Internationalen Miscanthus-Tagung, 24.–26. November 2010, Österreich. Bonn: Universität Bonn-ILB Press, S. 55–62; ISBN: 978-3-941766-04-4.

**Treseler, C.-H. (2007):** Switchgrass. URL: [www.switchgrass.de](http://www.switchgrass.de) (Datum des Zugriffs: 12.3.2012).

**Vetter, A. (2010):** Mal was Anderes als Mais. DLZ-Agrar-magazin, April 2010, S.130–134.

*Autoren: Formowitz, B. (Technologie- und Förderzentrum); Fritz, M. (Technologie- und Förderzentrum)*

## 3 EINBINDUNG IN ANBAUSYSTEME

### 3.1 Einbindung von Energiepflanzen in Fruchtfolgen

„Fruchtfolge“ bezeichnet die zeitliche Abfolge verschiedener Ackerkulturen auf einem Feld. Sie hat wesentlichen Einfluss auf die Bodenfruchtbarkeit und das Vorkommen von Unkräutern, Krankheiten und Schädlingen. Unter Berücksichtigung der einzelbetrieblichen Standortvoraussetzungen und der Markterfordernisse sind möglichst mehrgliedrige Fruchtfolgen anzustreben. So sehen auch der integrierte Pflanzenschutz und die gute fachliche Praxis im Pflanzenschutz die standortgerechte Fruchtfolgegestaltung als eine wichtige Maßnahme an, um dem Befall mit Schadorganismen vorzubeugen bzw. ihn einzudämmen. Wo nur einseitige Fruchtfolgen möglich sind, muss möglichen negativen Auswirkungen durch geeignete Verfahren des Pflanzenbaues (Sortenwahl, Bodenbearbeitung, Beregnung, Zwischenfruchtanbau) und der Düngung (Einarbeitung organischer Substanz) begegnet werden.

Die Auswahl der einzelnen Fruchtarten für die Biomasseproduktion richtet sich vorrangig nach dem zu erzielenden Methanertrag und den Stückkosten, d. h. € pro m<sup>3</sup> Methan, weniger nach Qualitätskriterien wie Stärkegehalt, Rohproteintrag oder Backqualität. Der Anbau von Energiepflanzen bietet nicht nur die Möglichkeit hohe Methanerträge zu erzielen, sondern leistet auch einen Beitrag zur Erhöhung der Biodiversität. Darüber hinaus trägt er zur Vermeidung von Stoffausträgen ins Grund- und Oberflächenwasser bei und zur Vermeidung von Emissionen durch Klimagase. Auch bietet der Energiepflanzenanbau ein hohes Potenzial hinsichtlich des Erosionsschutzes. So besteht die Möglichkeit der Bedeckung des Bodens über Winter mit einer Zwischenfrucht. Diese kann zum einen abfrieren und zum anderen in der Biogasanlage eingesetzt werden. Wird die Winterzwischenfrucht mit einer Zweitfrucht kombiniert und in der Biogasanlage eingesetzt wird im Allgemeinen auch vom „Zweikulturnutzungssystem“ gesprochen (VETTER, 2009).

#### Literatur

**Vetter, A; Heiermann, M.; Toews, T. (Hrsg.):** Anbausysteme für Energiepflanzen. DLG Verlag: Frankfurt/Main 2009.

*Autoren: Nehring, A.; Vetter, A. (Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft)*



Kulturlandschaft

© Heimler (TFZ)



Abb. 42: Versuchsfläche am Standort Ascha

### 3.2 Fruchtfolgen der Vor- und Mittelgebirgslagen – Standortcharakteristik und Versuchsbeschreibung

Im Verbundprojekt „EVA – Entwicklung und Vergleich von optimierten Anbausystemen für die landwirtschaftliche Produktion von Energiepflanzen unter den verschiedenen Standortbedingungen Deutschlands“ repräsentiert der Versuchsstandort des Technologie- und Förderzentrum im Kompetenzzentrum für Nachwachsende Rohstoffe (TFZ) in Bayern die Standorte der Vorgebirgs- und Mittelgebirgsregionen mit schlechten bis mittleren Böden, einer niedrigen Temperatursumme und einer guten bis sehr guten Wasserversorgung. Typisch für die Vor- und Mittelgebirgslagen Deutschlands sind die im Vergleich zu anderen Produktionsregionen kühleren und feuchteren Bedingungen. Vor allem in Bayern, Hessen, Baden-Württemberg, Thüringen, Sachsen und Rheinland-Pfalz kommen ähnliche Standortbedingungen vor. Da die Böden häufig wenig tiefgründig und die Flächen hängig sind, kann trotz insgesamt hohen Jahresniederschlägen zeitweilig ein Mangel an Bodenwasser mit entsprechender Einschränkung des Ertragsniveaus auftreten. Die niedrigeren Jahresdurchschnittstemperaturen, oft auch in Verbindung mit tiefen Wintertemperaturen oder langer Schneebedeckung, verhindern oder erschweren den Anbau wärmeliebender oder weniger winterharter Kulturen. Entsprechend sind Silomais, Ackerfutter, Winter- bzw. Sommergerste und Wintertriticale die typischen Kulturen in dieser Ackerbau-region.

Der Ackerfutteranbau hat eine hohe Bedeutung: Neben Kleegras, das über- und mehrjährig angebaut wird, spielt auch Weidelgras in verschiedenen Fruchtfolgestellungen eine wichtige Rolle. Einjähriges Weidelgras wird als Zweitfrucht nach Gerste oder Getreide-GPS genutzt, während winterhartes Weidelgras auch als Zwischenfrucht vor Mais angebaut wird und so noch für einen Schnitttermin im Frühling genutzt werden kann. Bei mehrjährigen Ackergras- oder Kleegrasmischungen werden oft nur 3, maximal 4 Schnitte erzielt, da im Hochsommer Bodenwasser für einen schnellen Wiederaufwuchs und somit eine hohe Flächenleistung fehlt. Hohe Bedeutung haben auch der

Silo- und Körnermais, auch wenn aufgrund der relativ kurzen Vegetationszeit nur mittelfrühe Sorten (Reifezahlen bis 240, maximal 250) verwendet werden können. In Hauptfruchtstellung kann Körnermais als Marktfrucht erzeugt werden, während in Vieh haltenden Betrieben oder bei Anbau in Zweitfruchtstellung Silomais produziert wird.

Wintergerste ist das Getreide mit der höchsten Anbaubedeutung, vor allem, da sie früh räumt und so den Anbau einer Zwischenfrucht erlaubt. Braugerste wird nur in geringem Umfang angebaut. Auch Roggen und Triticale sind häufig vertreten, allerdings ist der verbleibende Vegetationszeitraum nach einem Drusch dieser beiden Kulturen für den Anbau einer Zweitfrucht schon zu kurz. Weizen spielt eine untergeordnete Rolle. Kartoffeln werden nur in geringem Umfang und mit relativ niedrigen Erträgen für die regionale Vermarktung angebaut. Raps, Rüben und Zuckerrüben sind in diesen Regionen kaum anbauwürdig. Sorghum kann genutzt werden, sein Anbaurisiko ist in kühleren Jahren und bei verspäteter Saat allerdings so hoch, dass es sich in den Vor- und Mittelgebirgsregionen noch nicht etabliert hat.

Der Fruchtfolgeversuch des TFZ wurde in der Gemeinde Ascha, ca. 20 km nördlich von Straubing, angelegt. Die Versuchsfläche liegt in ca. 430 m Höhe über NN in leichter Neigung an einem Hang mit nord-nordöstlicher Exposition (Abb. 42). Der Boden mit einer Ackerzahl von 47 wechselt zwischen Braunerde und Pseudogley, wobei lehmige Sande die Bodenart bestimmen. Das Klima ist kontinental geprägt, wobei die Niederschläge aufgrund des Staueinflusses des Bayerischen Waldes relativ hoch sind. So beträgt das langjährige Mittel des Jahresniederschlags 807 mm bei einer Jahresdurchschnittstemperatur von 7,5 °C. Die Vegetationszeit beträgt in der Regel 190 bis 210 Tage.

Fünf einheitlich vorgegebene Kernfruchtfolgen wurden mit drei, an die Region angepassten Regionalfruchtfolgen ergänzt. Durch den Anbau von zwei Kulturen je Jahr (z. B. Winterroggen und Mais, Wintertriticale und Sorghum) wurden teilweise sehr enge Kulturabfolgen realisiert. Alle Fruchtfolgen schließen zum Vergleich der Fruchtfolgewirkung

mit Winterweizen ab. Der Fruchtfolgeversuch wurde 2005 (Anlage I) und parallel nochmals 2006 (Anlage II) angelegt, und nach einer kompletten Fruchtfolgerotation von vorne begonnen (Anlage III, seit 2009, bzw. Anlage IV, seit 2010). Die Fruchtfolgen 4 und 5 wurden nach einer Fruchtfolgerotation getauscht, sodass nun die Fruchtfolge 4 auf den bisherigen Parzellen der Fruchtfolge 5 angebaut wird und umgekehrt.

Es folgt eine kurze Übersicht über die getesteten Fruchtfolgen, Kulturen in Klammern wurden zur zweiten Fruchtfolgerotation durch die vorhergehenden ersetzt:

- FF 1:** W.Gerste-GPS (S.Gerste-GPS) – Sorghum (Ölrettich) – Silomais – W.Triticale-GPS – Phacelia-Gründung (Sorghum) – W.Weizen-Drusch
- FF 2:** Sorghum – W.Roggen-GPS – Silomais – W.Triticale-Drusch – W.Weizen-Drusch
- FF 3:** Silomais – W.Roggen-GPS – Sorghum – W.Triticale-GPS – Einjähriges Weidelgras (Welsches Weidelgras) – W.Weizen-Drusch
- FF 4:** Hafersortenmischung-GPS – W.Triticale-GPS – W.Raps-Drusch – W.Weizen-Drusch (war in 1. Fruchtfolgerotation FF 5)
- FF 5:** S.Gerste-GPS mit Untersaat Klee gras – Klee gras – Klee gras – W.Weizen-Drusch (war in 1. Fruchtfolgerotation FF 4)
- FF 6:** Bastard-Weidelgras – Silomais – W.Roggen-GPS – Silomais – Wickroggen – Buchweizen-Phacelia-Gemenge zur Gründung (Sorghum) – W.Weizen-Drusch
- FF 7:** W.Gerste-W.Rübsen-Gemenge – Mais-Corn-Cob-Mix – W.Weizen-GPS – W.Raps-GPS – Buchweizen-Gründung – W.Weizen-Drusch
- FF 8:** Wickroggen – Körnermais – Welsches Weidelgras (Kartoffel) – W.Weizen-GPS – Erbsen-Gründung (Erbsen-GPS) – W.Weizen-Drusch

Die Festlegung der zu düngenden N-Mengen erfolgte gemäß dem Düngesystem Stickstoff (DSN), das vom Institut für Agrarökologie, Ökologischen Landbau und Bodenschutz der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL) entwickelt wurde. Die Pflanzenschutzmaßnahmen bestanden ausschließlich aus einem dem Unkrautspektrum angepassten Herbizideinsatz.

### Vergleich der Fruchtfolgen

Neben einem hohen Ertrag konventioneller Erntegüter (Futter-/Marktfrüchte) soll durch eine nahezu ganzjährige Bodenbedeckung die Vegetationszeit weitgehend ausgenutzt und hohe Biomasseerträge für die Nutzung als Biogassubstrat erzeugt werden. Problematisch an diesen Fruchtfolgen ist der mitunter sehr kleine zeitliche Spielraum durch enge Kulturabfolgen, bei dem witterungsbedingte Verzögerungen deutliche Ertragsverluste nach sich

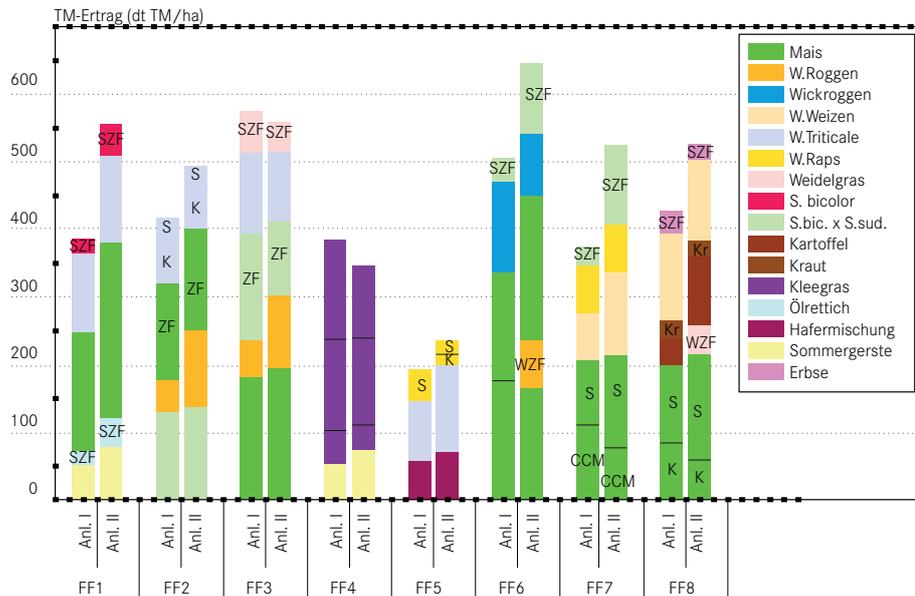
ziehen können. Außerdem bestehen hohe Anforderungen an den Wasserhaushalt des Bodens, auf flachgründigen, hängigen Böden mit geringer Wasserspeicherkapazität kann dieser Faktor ertragslimitierend wirken. Die hohen Erträge, die durch die Zweikulturnutzung realisiert wurden, gehen oft mit einer ungenügenden Abreife und demnach höheren Transportkosten sowie höheren Siloverlust einher.

In der Gesamtbetrachtung war Fruchtfolge 6 mit zweimaligem Silomaisanbau in drei Jahren, einmal in Hauptfrucht- und einmal in Zweitfruchtstellung, die ertragreichste der angebauten Fruchtfolgen. Sie zeigte allerdings hohe witterungsbedingte Schwankungen zwischen den Anlagen I und II, wie beispielsweise den kompletten Ausfall einer Winterzwischenfrucht (Abb. 43). An zweiter Stelle lag Fruchtfolge 3. Auffällig sind hier die deutlich geringeren Jahresunterschiede, die auf ein geringeres Anbauisiko mit dieser Fruchtfolge hinweisen. Beide Fruchtfolgen 3 und 6 enthalten einen hohen Anteil schnellwachsender C<sub>4</sub>-Pflanzen wie Mais und Sorghum (*S. bicolor* x *S. sudanense*) sowie Kulturabfolgen von Erst- und Zweitfrüchten. Mit deutlichem Abstand folgen Fruchtfolgen 1 und 2, die ebenfalls höhere Anteile an C<sub>4</sub>-Pflanzen enthalten. In Anlage III und IV wurde die Abfolge Sommergerste – Ölrettich durch die wesentlich leistungsfähigere Abfolge Wintergerste – Sorghum ersetzt.

Die Fruchtfolge 4 erzielte mit dem dreischnittigen Klee gras deutlich geringere Erträge. Vor allem in so genannten „Mais-Jahren“ wie 2007 war Klee gras deutlich weniger produktiv als Mais. Allerdings war der Kleeanteil niedrig und die fehlende Stickstofffixierung wurde nicht durch eine Mehrdüngung an Stickstoff ausgeglichen. Fruchtfolge 5 war die ertragsschwächste der getesteten Fruchtfolgen. Sie enthält keinerlei C<sub>4</sub>-Pflanzen und ist mit den Fruchtfolgegliedern Hafersortenmischung, Wintertriticale-GPS und Winterraps als Marktfrucht auf einen Gesundheitseffekt gegen Fußkrankheiten ausgerichtet. Im Raps kam es zu massiven Kornverlusten durch frühen Ausfall und Vogelfraß. Die Fruchtfolgen 7 und 8 sind von ihrem Biomasseertrag nicht überragend, dies liegt allerdings daran, dass im ersten Fruchtfolgeglied CCM bzw. Körnermais erzeugt wurden. Die in diesen Fruchtfolgegliedern erzeugte Trockenmasse ist deutlich energiereicher, der Körnermais wäre auch als Marktfrucht nutzbar und es wird mit dem Maisstroh eine große Menge humuswirksamer Biomasse erzeugt, die auf dem Feld verbleibt.

### Bewertung einzelner Kulturen

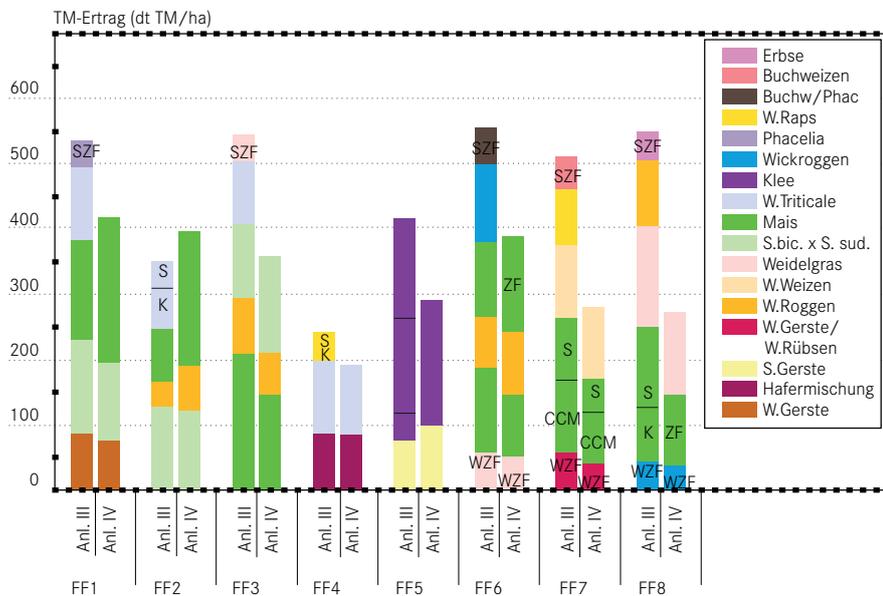
**Silomais** ist auch in den Regionen der Vor- und Mittelgebirge die vorzüglichste Kultur, wenn hohe Mengen Biomasse, entweder für die Tierfütterung oder als Biogassubstrat, erzeugt werden sollen. In Hauptfruchtstellung kombiniert Mais ein sehr hohes Ertragspotenzial



Quelle: Deiglmayr (TFZ)

TFZ

Abb. 43: Aufsummierte Trockenmasse-Erträge der getesteten Fruchtfolgen am Standort Ascha der ersten (2005–2007) und zweiten (2006–2008) Versuchsanlage



Quelle: Deiglmayr (TFZ)

TFZ

Abb. 44: Aufsummierte Trockenmasse-Erträge der getesteten Fruchtfolgen am Standort Ascha der dritten (Start 2009) und vierten (Start 2010) Versuchsanlage

mit optimaler Siliereignung, guter Methanausbeute und erreicht damit eine sehr hohe Flächeneffizienz. In Zweitfruchtstellung ist Mais jedoch wenig geeignet für Anbauregionen mit geringen Wärmesummen, wie z. B. in Höhenlagen, da selbst bei Wahl früher Sorten die geforderten Trockensubstanzgehalte nicht sicher erreicht werden.



GPS Gerste

Wärmebedürftige Kulturen wie **Sorghum** (*S. bicolor* und *S. bicolor* x *S. sudanense*) bringen in Vor- und Mittelgebirgslagen geringere und weniger stabile Erträge als Mais. Bei dem Anbau als Hauptfrucht lag der Ertrag deutlich unter dem von Silomais, die Erträge in Zweitfruchtstellung lagen mit sehr großer Schwankungsbreite im Bereich 30–134 dt TM/ha. Jede Saatverzögerung führt zu Ertragsverlusten und vor allem auch zu niedrigeren TS-Gehalten. Dennoch ist Sorghum bei unmittelbar nach Ernte der Vorfrucht erfolgreicher Aussaat und günstigen Witterungsbedingungen als ertragreiche und auch in den Vorgebirgen anbauwürdige Kultur einzustufen. Bedingung dafür ist die Wahl frühreifer Sorten und eine optimale Ausdehnung der Wachstumszeit durch Anbau wirklich früh räumender Vorfrüchte, wie Gerste-GPS.

**Getreide-GPS** sind ein wichtiger und ertragreicher Fruchtfolgebestandteil. Wintertriticale- und Winterweizen-GPS zeigen sehr gute Trockenmasse- und entsprechend hohe Methanerträge. Die verbleibende Vegetationszeit nach diesen GPS ist recht kurz, was sich in geringen Erträgen und ungenügenden TS-Gehalten der nachfolgenden Zweitfrüchte zeigt. Winterroggen-GPS bleibt hinter den Erträgen von Weizen und Triticale aufgrund der einige Wochen früheren Ernte zurück. Als früh räumende Erstkultur vor Mais erreicht er jedoch zeitig ausreichende Trockensubstanzgehalte und zeigt sich hier anderen Kulturen überlegen. Die Sommergetreide Hafer und Sommergerste liefern nur sehr bescheidene Ganzpflanzenerträge. Wickroggen zur GPS-Nutzung erreicht bei einer im Vergleich zu reinem Roggen um 20 % verminderten Stickstoffdüngung immer noch ein hohes Ertragsniveau.

**Grünschnittroggen** zeigte je nach Witterungsverlauf der Jahre große Schwankungen der Ertragshöhe von 51 bis 110 dt TM/ha im Mittel über die Varianten. In einem Jahr mit langer Schneebedeckung bis in den April hinein fiel der Roggen sogar komplett aus. Grünroggen liefert einen um 25 % geringeren Methan-Ertrag als Winterweizen-GPS. Die deutlich frühere Ernte ermöglicht dann eine frühere Saat von Sorghum und entsprechende Ertragssteigerungen. Damit wird deutlich, dass Grünroggen als früh räumende Erstkultur durchaus Vorteile im Anbausystem der Zweikulturnutzung bringen kann.

Die Erträge des mehrjährigen Kleeegrases zeigen sich stark von den Jahreswitterungsverhältnissen und der Zusammensetzung der Mischung abhängig. Hervorzuheben ist die gute Ertragsstabilität von **Ackerfutter**. Trotz des höheren Arbeitsaufwandes für den mehrmaligen Schnitt sowie Anwelken und Bergung kann Klee gras ökonomisch interessant sein, da die Kosten für Düngung und Saatgut deutlich geringer liegen als beispielsweise für Mais. Außerdem sollten positive und nachhaltige Effekte für den Boden, wie der Erosionsschutz durch ständige Bodenbedeckung, Ausbringungsmöglichkeit von Gärresten über die Vegetationsperiode, Stickstofffixierung und vor allem die positive Humuswirkung bei der Kulturbewertung berücksichtigt werden.

**Weidelgras** birgt als überjährige Zwischenfrucht ein gewisses Auswinterungsrisiko, kann aber mit einem Schnitt im Frühjahr über 40 dt TM/ha zusätzliche Biomasse liefern. Als Sommerzwischenfrucht zeigte sich Weidelgras im direkten Vergleich mit Futtersorghum (*S. bicolor*) leicht überlegen, den *S. bicolor* x *S. sudanense* aber unterlegen. Als Winterzwischenfrucht zeigte sich eine Überlegenheit von Bastardweidelgras gegenüber Wickroggen. In allen Fällen ist eine zuverlässige Abtötung des Weidelgrases zur erfolgreichen Etablierung von Sommerungen wie Mais und Sorghum zwingend notwendig.

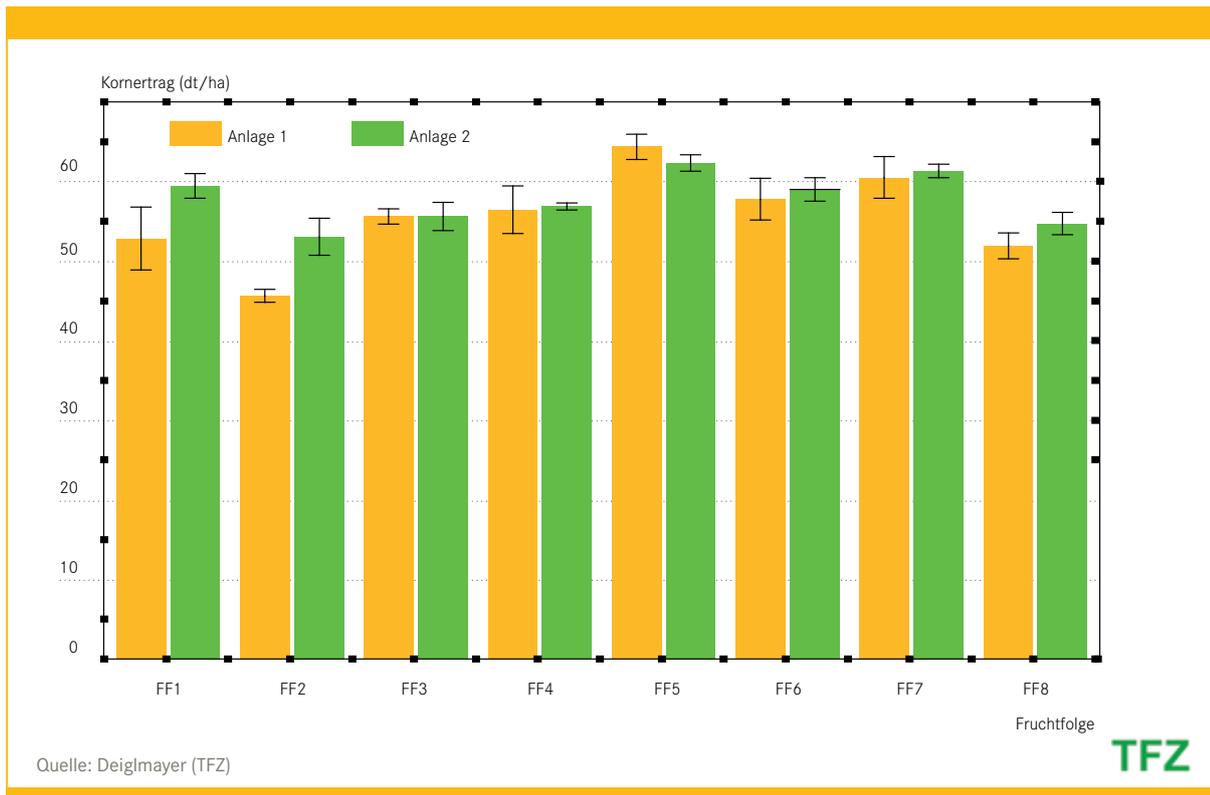


Abb. 45: Vergleich der Kornerträge aus den Anlagen I und II; dargestellt sind arithmetische Mittelwerte mit  $n = 4$  und die jeweiligen Standardfehler

Kulturen wie **Raps und Kartoffeln**, die für Vor- und Mittelgebirgslagen eher ungewöhnlich sind, brachten nur geringe Erträge. Im Raps, der sowohl als Marktfrucht in Fruchtfolge 5 wie auch als GPS in Fruchtfolge 7 angebaut wurde, kam es durch Vogelfraß und Kornausfall zu hohen Ertragsverlusten. Die GPS-Nutzung von Raps kann nicht empfohlen werden, da der TS-Gehalt während der Abreifephase nur langsam anstieg, das energiereiche Korn verloren ging und die Wachstumszeit für nachfolgende Kulturen verkürzt wurde.

Bisher nur einjährige Ergebnisse zu **Buchweizen-Phacelia-Gemenge** und reinem **Buchweizen** zeigen deren Potenzial zur Gründüngung, aber auch als Biogassubstrat. Buchweizen-Phacelia-Gemenge erreichte 56 dt TM/ha bei Trockensubstanzgehalten von 29 %, während Buchweizen 50 dt TM/ha bei etwa 25 % TS erzielte.

#### Winterweizen als abschließendes Fruchtfolglied

Die Kornerträge des Winterweizens, der als abschließende Frucht der ersten Fruchtfolgerotation die akkumulierte Fruchtfolgewirkung abbilden soll, differenzierten in Anlage II weniger als in Anlage I (Abb. 45). Das allgemeine Ertragsniveau war dem Standort entsprechend nur mäßig.

In beiden Anlagen wurden die höchsten Erträge in der Fruchtfolge 5 erreicht, gefolgt von der Fruchtfolge 7. Dies liegt wahrscheinlich einerseits an der guten Vor-

fruchtwirkung von Winterrraps und andererseits an den geringen Nährstoffentzügen der vorangegangenen Kulturen. Fruchtfolgen 1, 3, 4 und 6 wiesen trotz der sehr unterschiedlichen Vorfrüchte und Kulturabfolgen keine Weizen-Ertragsunterschiede auf. Das zweijährige Klee gras in Fruchtfolge 4 konnte als Vorfrucht zu Winterweizen keine ertragssteigernde Wirkung entfalten. Eine Ursache dafür liegt wahrscheinlich in der schnellen Mineralisation des organischen Stickstoffs nach der Pflugfurche im Herbst, geringer Stickstoffaufnahme von Winterweizen über Winter und der deswegen sehr hohen Auswaschung des mineralisierten Stickstoffs. Die niedrigsten Kornerträge erbrachten jeweils Fruchtfolge 2 und 8. Während in Fruchtfolge 2 Wintertriticale zur Körnernutzung als Vorfrucht stand, wurde in Fruchtfolge 8 Winterweizen-GPS mit der Sommerzwischenfrucht Futtererbse angebaut. In beiden Varianten traten – vermutlich fruchtfolgebedingt – verstärkt Fußkrankheiten auf und limitierten die Ertragsbildung. Im Mittel lagen die Stroherträge bei 30 dt/ha, welche zur Humusmehrung auf dem Feld belassen und eingearbeitet wurden.

#### Nährstoffbilanzen

Der im Rahmen der Düngeverordnung geforderte betriebliche Nährstoffvergleich wurde für die untersuchten Fruchtfolgen als mittlere jährliche Zu- bzw. Abfuhr von Stickstoff, Phosphat, Kalium und Magnesium kontrolliert.

Die Stickstoffbilanzen waren in den ertragsstarken Fruchtfolgen überwiegend negativ, da hier die Entzüge deutlich über der Zufuhr durch N-Düngung lagen. Der Grund dafür liegt in den hohen Erträgen, die mit Mais und Sorghum erzielt wurden und Ertragsbewertungen deutlich übertrafen. Diese Fruchtarten können offensichtlich über eine gute Verwertung des mineralisierten Stickstoffs aus dem Bodenvorrat mit relativ niedrigen Düngegaben ein hohes Ertragsniveau realisieren. Die Düngung dieser Kulturen sollte daher im Sinne eines umweltverträglichen Anbaus entsprechend verhalten bemessen werden. Langfristig wird jedoch eine Unterversorgung an den Bodenreserven zehren und die Bodenfruchtbarkeit zurückgehen. Um die Ertragsfähigkeit zu erhalten, sollte deswegen auf ausgeglichene Nährstoffbilanzen geachtet werden.

Stickstoffüberschüsse wurden dagegen vor allem in Fruchtfolge 5, 7 und 8 beobachtet, da hier die Kulturen aufgrund der schwachen Bestandsentwicklung die Stickstoffgaben nicht verwerten konnten. Das einheitlich gedüngte abschließende Fruchtfolgeglied Winterweizen wies abhängig vom Ertragsniveau leicht positive Stickstoffsalden auf. Im jährlichen Mittel wurden in allen Varianten die Vorgaben der Düngeverordnung zu N-Salden eingehalten.

Bei Phosphat, Kalium und Magnesium zeigte der Nährstoffvergleich in den einzelnen Jahren ein sehr wechselhaftes Bild. Da der Boden diese Mineralstoffe aber wesentlich besser speichern kann als den mobilen Stickstoff, ist hier das Ziel, im Mittel der Jahre eine ausgeglichene Nährstoffversorgung zu erreichen. Der mittlere jährliche P-Saldo war über die Fruchtfolgeglieder in allen Fruchtfolgevarianten ausgeglichen. Dagegen zeigte sich bei Kalium über alle Varianten eine leichte bis erhöhte Unterversorgung von  $-7 \text{ kg K/ha}$  und Jahr (Fruchtfolge 8) bis  $-146 \text{ kg K/ha}$  und Jahr (Fruchtfolge 3). Magnesium wurde durch die Ausbringung eines Mg-sauren Kalks im dritten Fruchtfolgejahr stark angereichert, sodass in den nächsten Jahren von diesem Depot gezehrt werden kann. In der zweiten Versuchsanlage zeigte sich ein sehr ähnliches Bild.

### **Fruchtfolgeempfehlungen für Vor- und Mittelgebirgslagen**

In den bisherigen Ergebnissen zeigt sich deutlich die Überlegenheit von Mais hinsichtlich Ertragsleistung und Wirtschaftlichkeit. Deshalb sollte Mais auch in Zukunft eine tragende Rolle in der Fruchtfolgegestaltung im Energiepflanzenanbau spielen. Ein Anbau als späte Zweitfrucht ist jedoch aufgrund der kurzen Vegetationszeit und der deswegen in kühlen Jahren späten Abreife in Ackerbaueregionen der Vorgebirge nicht zu empfehlen. Auch wenn Mais die wichtigste Kultur für die Biogasproduktion ist, sollte ein Fruchtfolgeanteil von über 50 % aufgrund der starken Humuszehrung dieser Kultur vermieden werden.

Ergänzend bieten sich Getreide-GPS mit Anbau einer Sommerzwischenfrucht oder auch die Integration von Futter- bzw. Brotgetreide in die Fruchtfolge an. Neben dem Mais liefert auch mehrjähriges Klee gras hohe und stabile Methanerträge. Insbesondere in höheren Lagen und auf hängigen Flächen, die sehr erosionsgefährdet sind, sollten Ackerfuttermischungen verstärkt angebaut werden.

In den Vor- und Mittelgebirgslagen ist einschnittiges Weidelgras als Zweitfrucht in der Junimitte eine Alternative zu Sommerungen, da Letztere in kühlen Jahren die geforderten TS-Gehalte zur Ernte nicht erreichen. Außerdem kann durch die zeitlich nach hinten verschobene Ernte dieser Zweitfrüchte eine nachfolgende Bestellung mit Wintergetreide so stark verzögert werden, dass deren Winterhärte problematisch wird. Daher ist unbedingt auf die Wahl ausreichend frühreifer Mais- und Sorghumsorten sowie der entsprechenden Nachfrucht zu achten.

Winterraps zeigte sich am Versuchsstandort in Ascha weder zur Körnerernte noch zur Ganzpflanzennutzung geeignet. Sorghum (*S. bicolor* und *S. bicolor* x *S. sudanense*) und Sorghumhybriden verfügen zwar über ein hohes Biomassebildungspotenzial, jedoch erreichen die aktuell verfügbaren Sorten meist keinen ausreichenden Trockensubstanzgehalt, sodass hier vergleichsweise hohe Transportkosten anfallen. Wer dennoch diese trockenheitstolerante Kulturart in seine Fruchtfolge integrieren möchte, sollte auf frühreifende Sorten zurückgreifen.

Bei der Fruchtfolgegestaltung sollte auf die Ausgewogenheit von Humusmehrern und -zehrern geachtet werden. Beispielsweise könnte in Hauptfruchtstellung statt Silo als Alternative Körnermais produziert werden, um durch das Maisstroh hohe Mengen humuswirksamer Stoffe auf dem Feld zu belassen. Ebenso muss gewährleistet sein, dass die anfallenden Gärrestmengen pflanzenbaulich effektiv und damit umwelt- und gewässerschonend verwertet werden können. Falls ein Stickstoffüberschuss in der Bilanzierung befürchtet wird, muss natürlich die Rückführung von Gärresten reduziert und auf den Anbau stickstofffixierender Leguminosen wie im Klee gras verzichtet werden.

*Autoren: Fritz, M. (Technologie- und Förderzentrum);  
Formowitz, B. (Technologie- und Förderzentrum)*

### 3.3 Mischfruchtanbau

#### Ziel des Mischfruchtbaus

Im Mischbau wird die Strategie verfolgt, durch den Anbau von zwei oder mehr Kulturen eine flexible Anpassung an unterschiedliche Wachstumsbedingungen und damit eine höhere Ertragssicherheit als mit Reinsaaten zu erreichen. Daneben sollen die Ressourcen Wasser, Nährstoffe und Sonneneinstrahlung effizienter genutzt werden, durch Wahl von Mischungspartnern, die sich in Wurzelmorphologie und Bestandesarchitektur optimal ergänzen. Mischsaaten zeigen eine ausgeglichene Reaktion auf Einflüsse durch Umwelt, Schaderreger und Unkräuter. Im Vergleich zu Reinkulturen bilden Mischkulturen meist etwas dichtere Bestände mit etagenartigem Aufbau und erreichen damit eine sehr gute Unkrautunterdrückung. Sollte ein Mischkulturbestand doch eine Verunkrautung über der Schadschwelle aufweisen, ist eine Herbizidbehandlung meist nicht zulässig oder aber nicht leicht durchführbar, da immer die Gefahr besteht, einen der Mischungspartner zusammen mit dem Unkraut zu eliminieren. Im Anbau von Energiepflanzen für die Produktion von Biogas kann jedoch oft ein höherer Unkrautbesatz toleriert werden, da die hochwachsenden Unkräuter zusammen mit der früh geernteten GPS geräumt werden, bevor sie die Samenreife erlangen.

#### Winterkulturen in Reinsaat und Mischfrucht

Der Mischfruchtversuch zu Winterungen wurde in den Jahren 2005/2006 und 2006/2007 an den zwei Versuchsstandorten Ascha (430 m ü NN, Vorgebirgs- und Mittelgebirgsregion mit schlechten bis mittleren Böden, 7,5 °C, 807 mm) und Aholting (325 m ü NN, Donauaue, 8,3 °C, 658 mm) durchgeführt. Aholting ist zwar erheblich (sommer-) trockener als Ascha, aufgrund des Temperaturverlaufs und der längeren Vegetationszeit lassen sich hier dennoch im Allgemeinen höhere Erträge erzielen. Die Artenmischungen wurden individuell modular zusammengestellt (siehe Tab. 13).

Je nach Winter- und Frühjahrswitterung fielen die Erträge wie auch die Zusammensetzung der Mischfruchtbestände, also die Anteile der Mischungspartner, unterschiedlich aus. Die höchsten Erträge über die beiden Vegetationsperioden wurden mit der Reinsaat Winterroggen-GPS und dem Gemenge Wickroggen-GPS (etwa -11 % TM gegenüber Roggen) erzielt. Die geringere Ertragsleistung des Wickroggen erklärt sich unter anderem durch die um 25 kg N/ha (entspricht 20 % der N-Gabe zu Roggen in Reinsaat) reduzierte Stickstoffdüngung.

Noch höhere Erträge wurden im Jahr 2007 mit Welschem Weidelgras und Landsberger Gemenge erzielt, die in diesem Jahr an beiden Versuchsstandorten über die GPS-Ernte hinaus fortgeführt und insgesamt jeweils vier Mal geschnitten wurden (Abb. 46). Nach dem ersten Schnitt waren Wicke und Inkarnatklée im Landsberger Gemenge

TABELLE 13: ÜBERSICHT ZU VARIANTEN, SORTEN, SAATSTÄRKEN UND DÜNGUNG DER GETESTETEN WINTERUNGEN AN DEN STANDORTEN ASCHA UND AHOLFING

Kultur	Sorte	Saatstärke in kg/ha	Düngung in kg N/ha
Reinsaaten			
W.Gerste	Merlot	167	130
W.Roggen	Pollino	100	130
W.Raps	Elektra	4,8	180
W.Rübsen	Perko PVH	3,4	180
W.Wicken	Dr. B. Ostsaat	50	0
Welsches Weidelgras	Taurus	34,8	100
Inkarnatklée	Linkarus	30	0
Gemenge			
Wickroggen	Pollino, Dr. B. Ostsaat	80/40	105
Landsberger Gemenge	Taurus, Dr. B. Ostsaat, Linkarus	85/40/45	80
W.Gerste + W.Rübsen + Wicke	Merlot, Perko PVH, Dr. B. Ostsaat	70/40/30	150
W.Gerste + W.Rübsen	Merlot, Perko PVH	70/50	150
W.Roggen + Steinklee	Pollino, Steinklee gelb	80/80	105
W.Raps + Wicken	Elektra, Dr. B. Ostsaat	60/40	110

so gut wie nicht mehr feststellbar. Wird nur eine Nutzung als Winterzwischenfrucht angestrebt, kann der Umbruch nach einmaliger Nutzung im Frühjahr erfolgen. Mit dem ersten Schnitt wurden in Aholting 84 dt TM/ha mit dem Welschen Weidelgras und 78 dt TM/ha mit dem Landsberger Gemenge erzielt. In Ascha lagen die Erträge des ersten Schnitts höher, bei 101 dt TM/ha für Welsches Weidelgras und 100 dt TM/ha für das Landsberger Gemenge. Die Trockensubstanzgehalte lagen bei 19 % (Ascha) bzw. 22 % (Aholting), sodass ein Anwelken für verlustarmes Silieren notwendig ist.

Wintergerste-GPS in Reinsaat zeigte sich über beide Standorte und Versuchsjahre relativ ertragsstabil mit durchschnittlich 120 dt TM/ha. Die Gemenge Wintergerste-Winterrüben-GPS und Wintergerste-Winterrüben-Winterwicke-GPS erreichten in Ascha etwas niedrigere, aber beständige Trockenmasse-Erträge von 108 dt TM/ha und 105 dt TM/ha. Dagegen zeigte in Aholting insbesondere das Wintergerste-Winterrüben-Winterwicke-Gemenge sehr schwankende Erträge von 117 dt TM/ha in 2006 und 89 dt TM/ha in 2007, während sich das Wintergerste-Winterrüben-Gemenge mit im Mittel nur 82 dt TM/ha an diesem Standort nicht bewährte. Dieser Ertragsrückgang in den Gemengen liegt wohl an der schwachen Ertragsleistung der Gemengepartner Winterrüben und Winterwicke, die auch in Reinsaat nur unzureichend Biomasse bildeten.

Steinklee konnte sowohl als Einzelfrucht wie auch im Gemenge nicht erfolgreich etabliert werden, da er auf Lichtkonkurrenz sehr empfindlich reagiert und damit als Mischungspartner kaum empfohlen werden kann.

Bezüglich ihrer Silierfähigkeit wiesen nur die Varianten Welsches Weidelgras, Inkarnatklee und Landsberger Gemenge mit 19 %, 16 % bzw. 20 % ungenügende TS-Gehalte auf, alle anderen Rein- und Mischkulturen lagen über 30 % TS-Gehalt.

Die übrigen Gemenge blieben hinter den Ertrags Erwartungen zurück und brachten auch im Hinblick auf die Ertragsicherheit keinen Vorteil. Der Mischfruchtanbau ist demnach für die ausschließliche Maximierung der Biomasseerträge nicht das geeignete Instrument. Als Extensivvariante in einseitigen Fruchtfolgen oder auf Grenzstandorten kann er hinsichtlich der Nährstoffversorgung der Folgekultur und zum Humusaufbau zur Optimierung der Fruchtfolge beitragen. Aus ökologischer Sicht ist neben dem Blütenangebot von Winterwicke, Inkarnatklee und anderen Kulturen auch die Erhöhung der Biodiversität in der Kulturlandschaft ein Gewinn.

#### Mais-Sorghum-Mischanbau nach Grünroggen, Roggen- und Wickroggen-GPS

Das Ziel des Mischanbaus von Sorghum mit Mais besteht darin, das Anbaurisiko bzw. die Ertragsschwankungen der Einzelkulturen in Jahren mit extremer Witterung auszugleichen. In Gebieten mit ausgeprägt kontinentalem Klima,

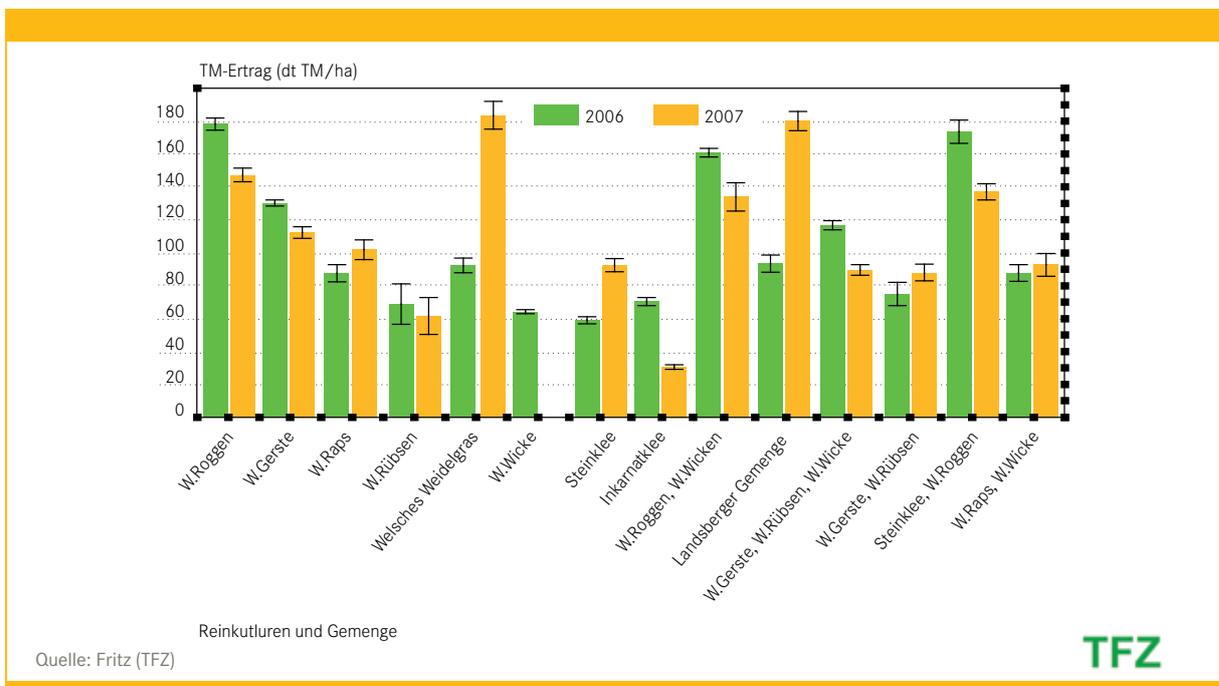


Abb. 46: Vergleich zwischen den Trockenmasse-Erträgen der Winterkulturen aus den Erntejahren 2006 und 2007 am Versuchsstandort Aholting in Bayern, dargestellt sind die arithmetischen Mittelwerte mit  $n = 4$  sowie die Standardfehler



Abb. 47: Mais-Sorghum-Mischanbau

z. B. in Ungarn, ist der Mischanbau von Mais und Sorghum weit verbreitet. Dabei liefert der Mischungspartner Mais bei guten Wachstumsbedingungen hohe Biomasse-Erträge, während Sorghum aufgrund seiner Trockenheitstoleranz Ertragsausfälle bei Sommerdürren kompensieren kann. Unter bayerischen Bedingungen soll der Mischanbau von Mais und Sorghum auch die Beerntbarkeit und Silierfähigkeit der Bestände verbessern, da nach vorhergehenden Winterkulturen für die Sommerungen nur ein verkürztes Vegetationsfenster zur Ertragsbildung und Abreife bleibt. Der Mischanbau von Mais und Sorghum erfolgt dabei in alternierenden Reihen bei einem Reihenabstand von 37,5 cm (siehe Abb. 47).

In Aholting wurde über drei Versuchsjahre (2009, 2010 und 2011) Reinsaaten und Gemenge von Sorghum und Mais jeweils in Zweitfruchtstellung nach den vorhergehenden Kulturen Grünroggen, Roggen- oder Wickroggen-GPS angebaut. Sowohl *Sorghum bicolor*- als auch *Sorghum bicolor* x *Sorghum sudanense*-Sorten wurden auf ihre Eignung als Mischungspartner geprüft. Die beiden Sorghumtypen weisen deutliche Unterschiede im Habitus auf: Die interspezifische Sorghumhybride *S. bicolor* x *S. sudanense* weist im Vergleich zu *S. bicolor* eine stärkere Bestockung bei geringerer Stängeldicke auf.

### Erträge der Winterungen

Der Anfang bis Mitte Mai geerntete Grünroggen lieferte im Mittel der zwei Versuchsjahre Erträge von 58 dt TM/ha bei TS-Gehalten unter 20 %. GPS-Roggen erreichte bei Ernte um den 10. Juni durchschnittlich 108 dt TM/ha bei TS-Gehalten von 32 %, wobei die reinen Roggenbestände dem Wickroggen mit einem Mehrertrag von etwa 10 % überlegen waren (Abb. 48). Von Vorteil bei Wickroggen ist das längere Erntezeitfenster aufgrund der langsameren Abreife der Zottelwicke, wodurch Arbeitsspitzen entzerrt werden können. Der im Vergleich zum reinen Roggen-GPS geringere Ertrag erklärt sich, wie weiter oben schon genannt, auch durch die um 20 % reduzierte N-Düngung. Zudem zeichnete sich Wickroggen insbesondere zur Ernte hin durch eine bessere Unkrautunterdrückung aus. Besonders wertvoll ist Wickroggen aus agrarökologischer Sicht zu bewerten, da die Zottelwicke reichlich Nektar und Pollen für Insekten wie Bienen, Hummeln und Tagfalter bietet.

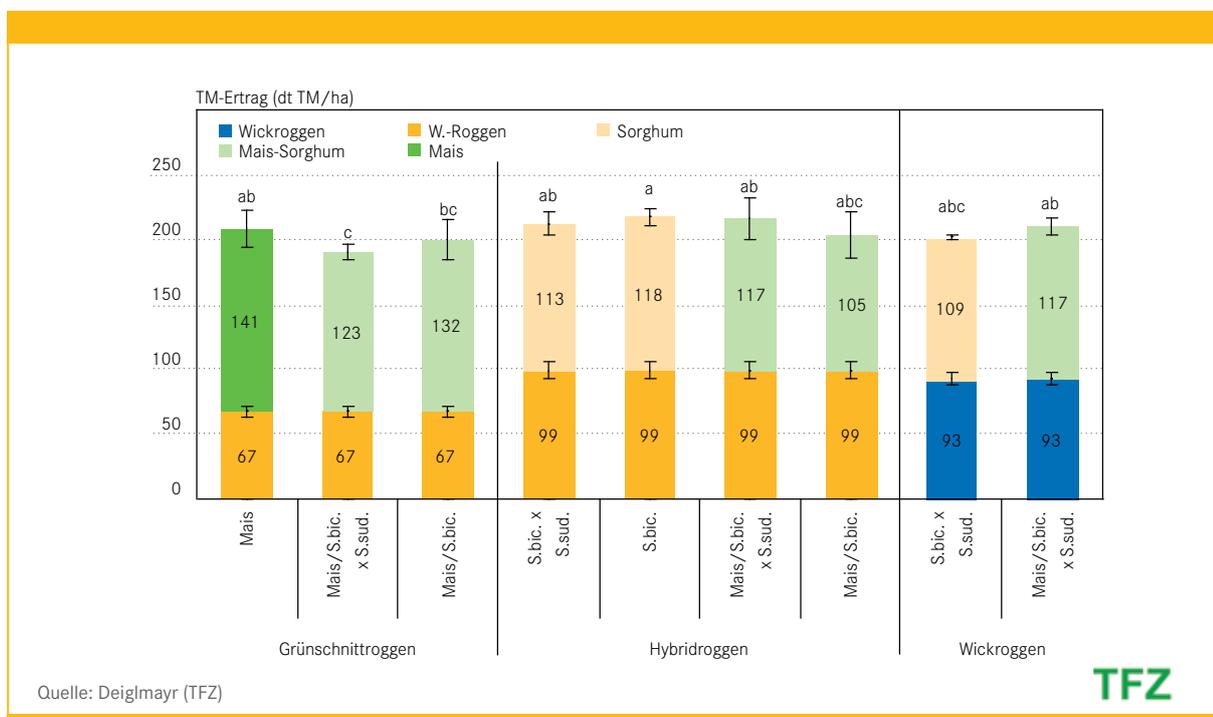


Abb. 48: Trockenmasse-Erträge am Standort Aholting im Erntejahr 2010

### Erträge der Sommerungen

Bei den Sommerungen zeigen die Versuchsergebnisse, dass sich die Erträge von Sorghum und Mais im Mischanbau gegenüber Sorghum in Reinsaat nicht unterscheiden. Jedoch wird die Silierfähigkeit bei *S. bicolor* im Mischanbau durch die deutlich höheren Trockensubstanzgehalte im Vergleich zum reinen Sorghumbestand verbessert. Mit dem Ertrag der Reinsaat Mais nach Grünroggen kann der Mischanbau nicht konkurrieren. Bei schnell abreifenden Maisbeständen puffert jedoch der Mischungspartner Sorghum die Zunahme der Trockensubstanzgehalte und trägt zu einer Entzerrung von Erntespitzen im Herbst bei. Zwischen den beiden Sorghumtypen zeichnen sich Unterschiede im Konkurrenzverhalten zu Mais ab, die sich aber nicht signifikant auf den Ertrag auswirken. Betrachtet man die Gesamterträge der Anbausysteme, zeigt sich, dass der Mischanbau Mais-Sorghum nach GPS-Roggen die Erträge des Anbausystems Mais-Grünroggen erreicht und sogar übertreffen kann (Abb. 48).

### Empfehlungen für die Praxis

In den Versuchen konnten mit den Gemengen aus Winterungen keine höheren Erträge als mit den ertragsstarken Getreiden in Reinsaat erzielt werden. Vorteile bietet Wickroggen im Hinblick auf die langsamere Abreife der Wicke im Vergleich zum Roggen, sodass Silier- und Methanverluste durch zu hohe TS-Gehalte im GPS vermieden werden. Sowohl Wickroggen als auch Landsberger Gemenge haben durch das Blütenangebot einen hohen agrarökologischen Wert und steigern die Biodiversität in der Kulturlandschaft. Dies kann zu einer verbesserten Akzeptanz der Bioenergie beitragen.

Für die landwirtschaftliche Praxis ist der Mischanbau von Mais und Sorghum bisher nur bedingt zu empfehlen: Er ist besonders für Standorte relevant, auf denen jahresweise starke Unterschiede in der Wasserversorgung auftreten können. Ein ertragsstabilisierender Effekt der Gemische tritt jedoch gegenüber dem stärkeren Risikoausgleich des Zweitfruchtensystems in den Hintergrund. Die Ertragsstabilität war bei den Varianten mit späterem Fruchtwechsel – also nach GPS-Getreide statt nach Grünroggen – höher. Im Mischanbau kann durch die Unterschiede im Trockenmassegehalt bei Mais und Sorghum das Erntezeitfenster erweitert werden. Zu beachten ist, dass der Gemengeanbau von Mais und Sorghum keine Alternative zu hohen Maiskonzentrationen oder bei Anbaubeschränkungen von Mais in der Fruchtfolge darstellt.

Im Mehrfachtantrag für die Direktzahlungen nach Cross Compliance werden die Gemenge nach ihrem Hauptbestandsbildner, also beispielsweise Mais oder Getreide, eingestuft.

*Autoren: Fritz, M. (Technologie- und Förderzentrum); Deiglmayr, K. (Technologie- und Förderzentrum)*



Mischkulturenparzellen



### 3.4 Zweikulturnutzungssystem (ZKNS) im Vergleich zu herkömmlichen Anbauverfahren

#### Allgemeines

Bei der Nutzung von Getreide als Ganzpflanzensilage ist der Erntetermin gegenüber der Kornnutzung um 3 bis 5 Wochen vorverlegt. So erreicht Wintergerste im bayerischen Mittel bereits Ende Mai die Siloreife (30 % Trockensubstanz), Winterroggen in der ersten Junidekade, Wintertriticale in der zweiten Junidekade und Winterweizen in der zweiten bis dritten Junidekade. Bei der GPS-Nutzung ergibt sich also eine deutlich längere Vegetationszeit für die nachfolgend angebauten Kulturen als bei der herkömmlichen Kornnutzung. Biogasanlagenbetreiber versuchen in dieser Zeitspanne massenwüchsige Pflanzenarten anzubauen, um so zwei vollwertige Ernten und damit einen hohen Trockenmasse-Ertrag zu realisieren. Für dieses Anbauverfahren führten Graß und Scheffer (2005) den Begriff „Zweikulturnutzungssystem“ (ZKNS) ein. In der Literatur finden sich Angaben, dass in einem ZKNS der Ertrag gegenüber dem reinen Hauptfruchtanbau um rund 20 % gesteigert werden kann (z. B. KARPENSTEIN-MACHAN, 2005).

Im Folgenden wird mit ZKNS ein Anbauverfahren bezeichnet, bei dem der Aufwuchs der Erstfrucht wie auch der Zweitfrucht die Siloreife erreichen. Dazu müssen die Bestände einen ausreichend hohen Trockensubstanzgehalt erreichen. Gegenüber einer Kombination aus Haupt- und Zwischenfrucht wird das ZKNS dadurch abgegrenzt, dass Zwischenfrüchte aufgrund ihres geringen Trockensubstanzgehaltes angelwelkt werden müssen.

Für den praktischen Biogasanlagenbetreiber stellt sich die Frage, ob die Ertragsleistung in einem ZKNS tatsächlich höher ist bei einem herkömmlichen Anbauverfahren (z. B. Silomais als Hauptfrucht ohne Vornutzung). Eine weitere Erwartung an das ZKNS ist es, nach der GPS-Ernte andere Sommerungen als den Mais anbauen zu können und so einem einseitigen Maisanbau gegenzusteuern.

#### Standortansprüche

Das ZKNS setzt eine hohe Standortgüte voraus. Insbesondere die Niederschlagsmenge ist hier entscheidend. Nach einer Expertenbefragung wird eine Jahresniederschlagsmenge von 800 mm bzw. 500 mm in der Hauptvegetationszeit (April bis September) als Voraussetzung

für einen ertragreichen ZKNS-Anbau angesehen. Bei hohen Regenmengen gilt es zu bedenken, dass die Ernte der Erstfrucht und die Saat der Zweitfrucht möglichst rasch aufeinanderfolgen müssen, um keine Vegetationszeit zu verlieren. Zudem ist in aller Regel vor der Saat der Zweitfrucht die Ausbringung von Gärrest einzuplanen. Somit stellt dieses Verfahren hohe Anforderungen an die Befahrbarkeit der Schläge. Bodenverdichtungen vor der Zweitfruchtsaat sind unbedingt zu vermeiden, da sonst Ertragseinbußen unausweichlich sind. In Regionen mit ausreichend hohen Niederschlägen ist die Spanne der Feldarbeitstage entsprechend kurz, deshalb stellt das ZKNS hohe Anforderungen an die Schlagkraft, die Technisierung sowie die Organisation der Arbeitsabläufe.

Die Vegetationszeit muss ausreichend lang sein. Mittelgebirgslagen mit langer Schneebedeckung und früh einsetzender Vegetationsruhe scheiden damit aus. Als Faustzahl kann eine Jahresmitteltemperatur von 7,5 °C und eine mittlere Temperatur in der Vegetationszeit von 13,5 °C als untere Grenze angegeben werden.

Die Zweitfruchtsaat erstreckt sich über den Zeitraum Ende Mai bis Ende Juni. In diesem Abschnitt ist mit dem Auftreten erosiver Niederschläge zu rechnen. Auf erosionsanfälligen Standorten sind deshalb unbedingt Erosionsschutzmaßnahmen einzuplanen. Generell sollten die Standorte sich in einem guten Fruchtbarkeitszustand befinden, leicht zu bearbeiten sein und ein gutes Wasserhaltevermögen aufweisen.

#### ARTENWAHL DER ERSTFRÜCHTE IM ZWEIKULTURNUTZUNGSSYSTEM

##### Getreide-Ganzpflanzensilage

Grundsätzlich sind alle Wintergetreidearten als Erstfrüchte geeignet. Dabei ist die Wintergerste auf früh räumende Vorfrüchte angewiesen und liefert von allen Wintergetreiden die niedrigsten Erträge. Diese Nachteile sind gegen den Vorteil der frühen Ernte und damit der potenziell längeren Vegetationszeit für die Zweitfrucht abzuwägen. Roggen und Triticale sind spätsaatverträglicher, erreichen aber die Siloreife erst später. Winterweizen ist grundsätzlich ebenfalls zur GPS-Nutzung geeignet, allerdings zeigt eine Vielzahl von Versuchen, dass das Ertragspotenzial eher niedriger ist als das von Triticale. In Tabelle 14 sind mittlere Saat- und Erntetermine ausgewählter Wintergetreidearten bei

**TABELLE 14: SAATTERMIN, FRÜHESTER EINTRITT DER SILOREIFE UND MITTLERER TROCKENMASSE-ERTRAG<sup>1</sup> BEI BEGINNENDER SILOREIFE VON WINTERGETREIDE-GPS UNTER BAYERISCHEN ANBAUBEDINGUNGEN**

	<b>Saattermin</b>	<b>Siloreife</b>	<b>Trockenmasse-Ertrag (dt/ha)</b>
Wintergerste	15.09.-25.09.	Anfang Juni	100
Winterroggen	25.09.-10.10.	Anfang bis Mitte Juni	120
Wintertriticale	25.09.-10.10.	Mitte Juni	140
Winterweizen	01.10.-20.10.	Mitte/Ende Juni	140

<sup>1</sup> Erträge sind für Praxisbedingungen um 20 % zu reduzieren

GPS-Nutzung dargestellt. Dabei geben die angegebenen Trockenmasse-Erträge das Ertragspotenzial bei frühest möglicher GPS-Ernte (28-30 % Trockensubstanzgehalt) wieder.

Nach Tabelle 14 erreicht Triticale erst Mitte Juni die Siloreife. Dieser Termin ist so spät, dass massewüchsige Zweitkulturen nach Triticale-GPS-Ernte nicht mehr anbaufähig sind. Es ist deshalb nicht empfehlenswert, Triticale als Erstfrucht in einem ZKNS einzuplanen. Gleiches gilt für den Winterweizen. Aufgrund des frühen Erntetermins sind Wintergerste und Winterroggen als Erstfrüchte zu empfehlen.

#### **Alternativen zu Getreide-Ganzpflanzensilage**

In Versuchen zur Zweikulturnutzung des deutschlandweiten Verbundvorhabens „EVA“ (Standortangepasste Anbausysteme für Energiepflanzen) wurden am Standort Straubing neben Winterroggen das Gemenge von Winterroggen mit Wintergerste sowie Winterrüben in Reinsaat als Erstfrüchte getestet. Das Winterroggen-Wintergerste-Gemenge zeigte sich dabei in dem dreijährigen Versuch dem Winterroggen in Reinsaat überlegen. Neben den um knapp 5 dt/ha höheren Trockenmasse-Erträgen waren dabei insbesondere die frühere Abreife sowie die verringerte Lagerneigung von Vorteil. Winterrüben erwies sich aufgrund seines niedrigen Ertragspotenzials von im Mittel knapp 80 dt/ha und einer schlechten Silierfähigkeit als ungeeignete Erstfrucht.

#### **ARTENWAHL DER ZWEITFRÜCHTE IM ZWEIKULTURNUTZUNGSSYSTEM**

Als Zweitfrüchte kommen massewüchsige Kulturarten wie Silomais, Sorghumhirse oder Sonnenblumen, aber auch Sommergetreide und Pseudogetreidearten wie Amaranth, Reismelde und Buchweizen infrage. Nachfolgend werden diese Arten hinsichtlich ihres Trockenmasse-Ertrages, des Trockensubstanzgehaltes und allgemeiner pflanzenbaulicher Aspekte bewertet.

#### **Hafer**

In bayernweit durchgeführten Versuchen der LfL hat sich Hafer aufgrund seines geringen Trockenmasse-Ertrages von nur 34 bis 43 dt/ha als nicht anbaufähig erwiesen (Tab. 15). Offensichtlich entsprechen bei Saaten im Juni weder die Tageslänge noch die Temperaturen den Ansprüchen des Hafers für ein ausreichendes vegetatives Wachstum. Die Bestände gingen bei niedrigen Wuchshöhen und mit schwacher Bestockung sehr schnell in die Schossphase über. Zudem wurden die Pflanzen stark von Krankheiten, vor allem Haferkronenrost, befallen.

Obwohl der Hafer pflanzenbaulich günstige Eigenschaften aufweist, kann er als Zweitfrucht nicht empfohlen werden.

#### **Sorghum**

Sorghum erreichte in Zweitfruchtstellung mit 92 bis 111 dt TM/ha ein ansehnliches Ertragsniveau (Tab. 15). Allerdings war der Trockensubstanzgehalt für eine verlustfreie Silierung nicht ausreichend. Das Merkmal „Frühreife“ bzw. „Trockensubstanzgehalt zur Ernte“ wird züchterisch intensiv bearbeitet, sodass zu erwarten ist, dass in Kürze verbesserte Sorten für den Anbau zur Verfügung stehen. Auch die sortenbedingt teilweise geringe Standfestigkeit wird züchterisch verbessert.

Detaillierte Anbauhinweise zum Sorghumanbau sind in der Veröffentlichung „Sorghum für die Verwendung in Biogasanlagen“ im Biogas Forum Bayern [www.biogas-forum-bayern.de/publikationen/Sorghum\\_als\\_Biogassubstrat\\_2\\_Auflage.pdf](http://www.biogas-forum-bayern.de/publikationen/Sorghum_als_Biogassubstrat_2_Auflage.pdf) dargestellt. Insbesondere das niedrige Tausendkorngewicht und die Empfindlichkeit gegenüber Bodenverdichtungen sind beim Anbau von Sorghum zu beachten. Das Saatgut muss dementsprechend flach abgelegt werden und der Anschluss an die wasserführende Schicht muss sichergestellt sein. Auf kalten und schweren Böden ist eine Pflugfurche und anschließende Rückverfestigung nötig. Die Saat von Sorghum stellt also sehr hohe Anforderungen an die Saatbettbereitung und die Saattechnik. Da im ZKNS die Ernte der Erstfrucht, die Gärrestausrückführung und die Saat der Zweitfrucht rasch aufeinanderfolgen, ist dieser Aspekt speziell bei der kleinkörnigen Hirse besonders zu beachten.

**TABELLE 15: MITTLERE TROCKENMASSE-ERTRÄGE<sup>1</sup> UND TROCKENSUBSTANZGEHALTE AUSGEWÄHLTER ZWEITFRÜCHTE UNTER BAYERISCHEN ANBAUBEDINGUNGEN**

Saattermin	Art	Trockenmasse-Ertrag (dt/ha)	Trockensubstanzgehalt (%)
Anfang Juni	Hafer	43	29,5
	Sorghumhirse	111	22,1
	Silomais	150	33,3
	Sonnenblumen	92	26,0
Mitte/Ende Juni	Hafer	34	28,4
	Sorghumhirse	92	19,8
	Silomais	130	28,1
	Sonnenblumen	85	21,2

<sup>1</sup> Erträge sind für Praxisbedingungen um 20 % zu reduzieren

Der Anbau der Hirse ist aus pflanzenbaulichen Aspekten zu begrüßen, da er eine Aufweitung des Kulturartenspektrums darstellt und so zur Erhöhung der Biodiversität beiträgt. Zum jetzigen Stand der Züchtung ist die Nutzung von Sorghum nur möglich nach früh räumenden Kulturen, wie z. B. Wintergerste-GPS, mit einem Saattermin nicht nach der ersten Junidekade bei ausdrücklicher Wahl früh abreifender Sorten.

#### Silomais

Silomais erwies sich als die mit Abstand ertragreichste Zweitfrucht (Tab.15). Gleichzeitig erreicht Mais bis zu einem Saattermin Anfang Juni beim Anbau von Sorten mit niedriger Siloreifezahl (ca. 200) sicher die Siloreife. Die Fruchtfolgeeffekte, die von Mais in Zweitfruchtstellung ausgehen, sind mit denen von Mais in Hauptfruchtstellung annähernd gleich zu setzen.

#### Sonnenblumen

Sonnenblumen sind als Zweitfrucht wegen des niedrigen Trockensubstanzgehaltes zur Ernte sowie des gegenüber Sorghum und Mais geringen Trockenmasse-Ertrages nicht geeignet (Tab.15). Außerdem besteht die Gefahr, dass Sonnenblumen bei feuchtem Witterungsverlauf in der Abreife von Pilzkrankheiten befallen werden, was die Beerntung erschweren kann. Sonnenblumen lassen sich im Silo schwer verdichten. Obwohl die Sonnenblumen eine

fetteiche Silage ergeben (ca. 12 % Rohfett an der organischen Trockenmasse), sind die im Labor ermittelten spezifischen Methanausbeuten nur unterdurchschnittlich. Eine Ursache dafür ist sicher der hohe Ligningehalt von rund 9 % an der organischen Trockenmasse. Ein weiterer Nachteil bei der Ernte von Sonnenblumen ist der hohe Aschegehalt, der mit rund 10 % doppelt so hoch liegt wie bei Mais.

Nach den bisher vorliegenden Ergebnissen spricht nichts für den Anbau der Sonnenblumen als Zweitfrucht.

#### Pseudogetreidearten

Erste Versuchsergebnisse des Technologie- und Förderzentrums innerhalb des Versuchsvorhabens „EVA“ deuten darauf hin, dass Reismelde und Buchweizen interessante Alternativen für den Zweitfruchtanbau darstellen können (Tab. 16). Die Erträge liegen zwar deutlich niedriger als bei Silomais, jedoch werden diese innerhalb einer wesentlich kürzeren Vegetationszeit, in nur 90 bis 100 Tagen nach Aussaat, erzielt. Die Trockensubstanzgehalte erreichen dabei knapp die geforderten 28 %. Während diese Kulturen aus pflanzenbaulicher Sicht eine willkommene Abwechslung in der Fruchtfolgegestaltung darstellen, bieten sie auch einen ökologischen Zusatznutzen als Bienenweide (Buchweizen) bzw. ein attraktives landschaftsgestaltendes Element (orange-rote Fruchtstände der Reismelde).

**TABELLE 16: MITTLERE TROCKENMASSE-ERTRÄGE<sup>1</sup> UND TROCKENSUBSTANZGEHALTE VON AMARANT, REISMELE UND BUCHWEIZEN AM VERSUCHSSTANDORT STRAUBING BZW. MENGKOFEN (BUCHWEIZEN)**

Saattermin	Art	Trockenmasse-Ertrag (dt/ha)	Trockensubstanzgehalt (%)
Anfang Juni	Amarant	61,8	24,1
	Reismelde	71,1	27,9
	Buchweizen	69,6	27,4

<sup>1</sup> Erträge sind für Praxisbedingungen um 20 % zu reduzieren

Amarant kommt wegen seiner schwierigen Etablierung aufgrund des sehr geringen Tausendkorngewichts, seiner unzureichenden Abreife und niedrigen Ertragsleistung als Zweitfrucht nicht infrage (siehe auch [www.biogas-forum-bayern.de/publikationen/Amarant.als.Biogasssubstrat.pdf](http://www.biogas-forum-bayern.de/publikationen/Amarant.als.Biogasssubstrat.pdf)).

### Bewertung des ZKNS: Fruchtfolge

Nach den bisher vorliegenden Ergebnissen aus dem bayernweiten Versuch zum Zweikulturnutzungssystem sowie dem deutschlandweiten Verbundvorhaben „EVA“ können als Erstfrüchte in einem ZKNS nur Wintergerste oder Winterroggen empfohlen werden. Als Zweitfrucht hat sich der Silomais bewährt. Hafer oder Sonnenblumen können aufgrund der geringen Ertragsleistung und des ungenügenden Trockensubstanzgehaltes nicht empfohlen werden. Sorghumhirse ist für einen Zweitfruchtanbau nur mit Einschränkung (frühreife Sorte, wärmebegünstigte Anbaubetriebe) geeignet. Daneben kann aber auch der Buchweizen als Zweitfrucht nach Getreide-GPS maisbetonte Fruchtfolgen auflockern.

Da im ZKNS mehr Arbeitsgänge und Überfahrten nötig sind als bei einer einmaligen Ernte, besteht die Gefahr, dass ZKNS-Fruchtfolgen stärker erosionsgefährdet und verdichtungsanfällig sind als herkömmliche Anbauverfahren.



Amarant

Ein Vorteil des ZKNS besteht darin, dass gegenüber dem alleinigen Maisanbau Arbeitsspitzen entzerrt werden und der Siloraum durch die zeitlich gestaffelten Ernten besser ausgenutzt wird.

### Bewertung des ZKNS: Ertrag

In Tabelle 17 werden ertragsstarke Kombinationen des ZKNS (früh räumende Wintergerste plus nachfolgenden Silomais) mit alleinigem Silomaisanbau (Hauptfruchtstellung) verglichen. Im ZKNS wurden sowohl Mindererträge von -30 dt/ha als auch Mehrerträge von +25 dt/ha ermittelt. Eine generelle Über- oder Unterlegenheit des ZKNS gegenüber Mais in Hauptfruchtstellung kann für bayerische Anbaubedingungen nicht abgeleitet werden. Den teilweise geringen Mehrerträgen sind der höhere Aufwand und das größere Risiko im ZKNS gegenüberzustellen. Trotzdem ist das ZKNS ein Ansatz, um in Gunstlagen und bei entsprechender Technisierung den Ertrag zu maximieren, sodass bei knapper Flächenausstattung die Substratbereitstellung besser abgesichert wird.

### Literatur

**Graß, R. und Scheffer, K. (2005):** Alternative Anbaumethoden: Das Zweikulturnutzungssystem. Natur und Landschaft 9/10, S. 435-439.

**Karpenstein-Machan, M. (2005):** Energiepflanzenanbau für Biogasanlagenbetreiber. DLG-Verlag, Frankfurt/M.

**Stülpnagel, R.; Von Buttlar, C.; Heuser, F. und Wachendorf, M. (2009):** Systemversuch zum Zweikultur-Nutzungssystem auf sechs Standorten im Bundesgebiet. Schlussbericht (demnächst online verfügbar unter [www.fnr.de](http://www.fnr.de)).

*Autoren: Stickse, E. (Abteilung Versuchsbetriebe - Versuchswesen, Biometrie, LfL); Salzedo, G. (Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung, LfL); Eder, J. (Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung, LfL); Aigner, A. (Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung, LfL); Fritz, M. (Technologie- und Förderzentrum); Deiglmayr, K. (Technologie- und Förderzentrum)*

*Nachdruck mit freundlicher Genehmigung des Biogas Forums Bayern*

**TABELLE 17: GEGENÜBERSTELLUNG DER MITTLEREN TROCKENMASSE-ERTRÄGE<sup>1</sup> IN dt/ha VON MAIS UND DEM ZKNS (DREIJÄHRIG)**

	Freising	Ansbach	Straubing
Mais (Hauptfruchtstellung)	277	204	292
ZKNS (Wintergerste + Mais)	297 (109 + 188)	229 (96 + 133)	262 (122 + 140)

<sup>1</sup> Erträge sind für Praxisbedingungen um 20 % zu reduzieren

### 3.5 Reduzierung von Pflanzenschutz und Düngung bei der Substratproduktion

Effiziente und nachhaltige Anbausysteme für Energiepflanzen sind für eine zukunftsfähige Entwicklung der Biogasbranche unabdingbar. Der optimierte Produktionsmitteleinsatz spielt dabei eine wichtige Rolle, da einerseits die Produktionskosten gesenkt werden und andererseits eine umweltverträgliche Landbewirtschaftung gefördert wird. Bei dem Düngemittel- und Pflanzenschutzmitteleinsatz in der Substratproduktion muss berücksichtigt werden, dass andere Produktionsziele als im Nahrungs- oder Futtermittelbereich im Vordergrund stehen. Hier zählt in erster Linie der Methanhektarertrag, der vor allem auf hohen Trockenmasse-Erträgen beruht. Die Qualität des Ernteguts spielt nur eine untergeordnete Rolle, sodass hier die Produktionsintensität eventuell verringert werden kann. Spezielle Aspekte im Energiepflanzenanbau, wie früher Erntetermin, geringe Erntereste auf der Fläche, geringe Anforderungen an Schmackhaftigkeit beziehungsweise den Gehalt an Giftstoffen sowie eine Pflanzenarchitektur, die strohreichere Typen erlaubt, lassen die Hypothese zu, dass intensivere Produktionsverfahren möglich sind.

Mittel- und langfristige Folgen der Minimierung könnten allerdings eine Abnahme des pflanzenverfügbaren Stickstoffs im Boden und eine Steigerung des Unkrautsamenzustands sein, die bei der Produktion von Marktfrüchten zu Problemen führen könnten.

#### Versuchsaufbau

Der Standort Ascha (430 m über NN; 807 mm; 7,5 °C), ca. 20 km nördlich von Straubing gelegen, repräsentiert Standorte der Vorgebirgs- und Mittelgebirgsregionen mit schlechten bis mittleren Böden, einer niedrigen Temperatursumme und einer guten bis sehr guten Wasserversorgung. Zwei Parzellenversuche wurden zeitlich versetzt (Anlage I ab 2005, II ab 2006; Anlage III ab 2009 und IV ab 2010) angelegt, in denen drei ausgewählte Fruchtfolgen 3, 6 und 8 (siehe Kap. 3.2) entsprechend der Intensi-

TABELLE 18: INTENSITÄTSSTUFEN DER GETESTETEN VARIANTEN

Variante	Grundversuch	Minimierung 1	Minimierung 2
Intensität	ortsüblich optimal	-N (-30 kg N/ha je Kultur)	-N, kein PSM (-30 kg N/ha je Kultur und Verzicht auf Herbizide)

tätsstufen in Tabelle 18 behandelt werden. Die Fruchtfolgen decken verschiedene Produktionsschwerpunkte ab: Fruchtfolge 3 zielt auf die Produktion von Biomasse zur energetischen Nutzung ab, bei Fruchtfolge 6 und 8 wird der Energiepflanzenanbau in die Futter- bzw. Marktfruchtproduktion integriert.

#### Versuchsergebnisse Mais und Sorghum

Die Entwicklung der Maisbestände in der Minimierungsvariante 2 war durch massives Auftreten von hochwachsenden Unkräutern (wie Flohknöterich und Weißer Gänsefuß) stark beeinträchtigt. Der Mais wurde vorzeitig beerntet, um ein Aussamen der Unkräuter und einen höheren Unkrautdruck im weiteren Verlauf der Fruchtfolge zu verringern. Dies hatte stark verminderte Erträge (nur 31 bis 45 dt TM/ha) und unzureichende Trockensubstanzgehalte im Vergleich zur später geernteten optimal geführten Variante zur Folge. Damit bestätigt sich, dass bei Mais auf eine effiziente Unkrautkontrolle nicht verzichtet werden kann. Ähnliches gilt auch für Sorghum, das in der Jugendentwicklung noch langsamer als Mais ist.

Die reduzierte Stickstoffdüngung mit Herbizideinsatz wirkte sich weder bei Energiemais (FF 3) noch bei Körnermais (FF 8) auf die Ertragsleistung aus. In Fruchtfolge 6 dagegen zeichneten sich Ertragseinbußen von minus 23 % unter reduzierter Stickstoffdüngung mit Herbizid ab, welche sich jedoch statistisch nicht absichern lassen und eventuell auf einer Konkurrenz von Durchwuchs-Weidelgras beruhen, das nicht ausreichend abgetötet wurde.

Bei Sorghum war die geringere N-Düngung optisch im Bestand nicht zu erkennen. Sowohl Mais als auch Sorghum sind sehr effizient in der N-Aufnahme und können mit reduzierter N-Düngung auskommen.

#### Versuchsergebnisse Getreide

Im ersten Versuchsdurchlauf zeigten sich bei Getreide-GPS Mindererträge um im Mittel minus 7 % in beiden Minimierungsvarianten, während die Wintergetreidearten (außer Wickroggen) im zweiten Durchgang ab 2009 nicht auf das geringere N-Düngeniveau reagierten. Dies lässt sich damit erklären, dass die Getreidebestände in den ersten Versuchsjahren eher dünn aus dem Winter kamen, auch die optimal geführte Variante sehr verhalten gedüngt wurde und alle Varianten ausgeprägt negative Stickstoffsalden aufwiesen. Unter diesen Gegebenheiten ist eine Reduktion der Stickstoffdüngung sehr schnell ertragswirksam. Im zweiten Durchgang waren die Bestände besser entwickelt und die Gesamt-N-Menge etwas höher, sodass es auch bei den Minimierungsvarianten nicht zu einer N-Unterversorgung kam.



Insgesamt zeigten die Getreide-GPS eine gute Unkrautunterdrückung, sodass der fehlende Herbizideinsatz in Minimierungsvariante 2 keinen Ertragseffekt hatte. Bei Winterweizen-GPS war das Unkrautspektrum entscheidend, ob Mindererträge auftraten. Dominiert beispielsweise Echte Kamille (*Matricaria chamomilla*) – evtl. in vorangehendem Mais zur Samenreife gekommen – ist ohne Herbizideinsatz mit Ertragseinbußen zu rechnen, während überwiegend unterständige Unkräuter wie Jährige Rispe (*Poa annua*) und Vogelmiere (*Stellaria media*) keine nennenswerte Konkurrenz zu Winterweizen darstellen.

Der Ertragsrückgang bei Wickroggen (-10% bei Minimierungsvariante 2) lässt sich möglicherweise mit der Zunahme des Wickenanteils und der damit erhöhten Konkurrenz – vor allem um Licht – zu dem ertragsstarken Mischungspartner Winterroggen erklären. Die  $N_{\min}$ -Werte bei Ernte des Wickroggens lagen bei optimaler N-Düngung mit 71 kg N/ha relativ hoch und auch bei den N-reduzierten Varianten mit 30 kg N/ha noch in einem normalen Bereich. Dies deutet darauf hin, dass Stickstoff hier keinen limitierenden Ertragsfaktor darstellte.

### Fruchtfolge

Die kumulierten Erträge der Fruchtfolgen seit 2008 über die drei Intensitätsstufen zeigen, dass sowohl die Fruchtfolge wie auch die Intensitätsstufe einen großen Einfluss auf die Ertragsleistung haben, insbesondere in der Minimierungsvariante 2. Ausschlaggebend hierfür sind vor allem die hohen Ertragseinbußen bei Mais in der Minimierungsvariante 2, die aus dem hohen Unkrautdruck und der deswegen vorgezogenen Ernte resultierten.

Ziel der Faktorminimierung ist, durch eine Reduktion der Produktionsfaktoren Stickstoffdüngung und Pflanzenschutz neben der wirtschaftlichen Effizienz auch das Verhältnis Energie-Output (Nettoenergieertrag = Heizwert Methanertrag mit 36 MJ/N m<sup>3</sup>) zu Energie-Input zu maximieren. Durch die Reduktion der Stickstoffgabe um 30 kg/ha und Kultur ergab sich eine Einsparung in Düngemittelproduktion und -transport im Energie-Input. Der Verzicht auf Pflanzenschutz schlägt abhängig von der Kultur und dem eingesetzten Herbizid unterschiedlich zu Buche. Insgesamt führten die Ertragseinbußen im Mais bei reduziertem Faktoreinsatz zu sehr negativen Energie-Salden, da der Verlust im Energie-Output weitaus größer war als die Einsparung. Daraus lässt sich ableiten, dass ein Pflanzenschutzmittel-Einsatz im Mais aus energetischer Sicht äußerst effektiv ist, da hier mit geringem Energieaufwand ein hoher Mehrertrag gesichert werden kann.

### Empfehlungen für die Praxis

Es zeichnete sich ab, dass in der Produktion von Biogassubstraten ein reduzierter Faktoreinsatz möglich ist. Bis auf Mais und Sorghum konnten alle Kulturen erfolgreich ohne Herbizidanwendung angebaut werden.

In Mais und Sorghum können durch den geringen Energieaufwand des Herbizideinsatzes hohe Erträge gesichert und damit die Energiebilanz positiv beeinflusst werden. Beide Kulturen reagierten aufgrund ihrer hohen Nährstoffeffizienz kaum auf die geringere Stickstoffgabe. Diese Kulturen können aufgrund ihres Wachstumszyklus sehr gut von der Stickstoffnachlieferung aus dem Bodenvorrat zehren, da die Zeiten höchsten Nährstoffbedarfs mit den ma-

ximalen Mineralisationsraten zusammenfallen. Langfristig wird eine Stickstoffdüngung, die unter der N-Abfuhr mit dem Erntegut liegt, zu einer Abnahme der Bodenfruchtbarkeit und geringeren Erträgen führen und ist deswegen nicht im Sinne einer nachhaltigen Landwirtschaft. Im Rahmen der Fruchtfolge sollte die N-Bilanz daher ausgeglichen werden.

Bei gut überwinterten Getreide-Beständen für die Nutzung als GPS kann, um Lager sowie unnötige Kosten zu vermeiden, die 2. N-Gabe reduziert werden, ohne den Ertrag merklich zu verringern. Ganzpflanzengetreide und Weidelgras können durch die wesentlich dichteren Pflan-

zenbestände aufkeimende Unkräuter schnell und effektiv überwachsen und damit unterdrücken. Hochwachsende Unkräuter wie Echte Kamille können allerdings in Weizen-GPS problematisch werden, daher sollte das vorhandene Unkrautspektrum genau beobachtet werden. In nachfolgenden Kulturen konnten selbst bei vorangehender starker Verunkrautung im Getreide-GPS oder Ackergras keine negativen Folgewirkungen der fehlenden Unkrautkontrolle festgestellt werden.

Autoren: Deiglmayr, K. (Technologie- und Förderzentrum); Fritz, M. (Technologie- und Förderzentrum)

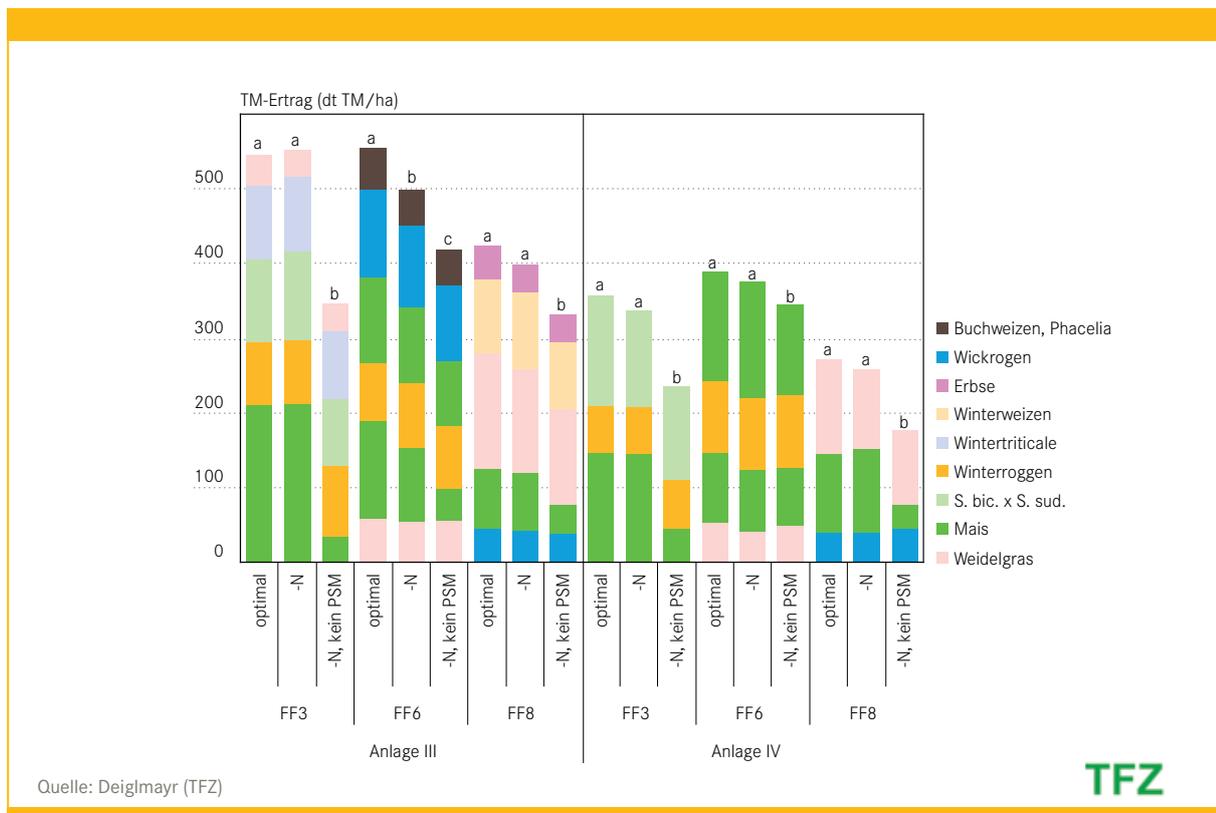


Abb. 49: Trockenmasse-Erträge der geprüften Fruchtfolgen im Vergleich der Intensitätsstufen in Anlage III und IV; unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Intensitätsstufen einer Fruchtfolge

### 3.6 Effiziente Nutzung von Biogasgärresten

#### 3.6.1 Biogasgärreste – Einsatz von Gärresten aus der Biogasproduktion als Düngemittel

##### Einsatz von Gärresten aus der Biogasproduktion

Gärreste entstehen aus den verschiedensten Ausgangssubstanzen, die während des Gärprozesses in Abhängigkeit von der Verweildauer, der Temperatur und dem Mischungsverhältnis unterschiedlichen Abbauraten unterliegen. Sie werden auf landwirtschaftliche Flächen zur Nährstoffversorgung der Kulturen ähnlich des Wirtschaftsdüngers Gülle ausgebracht. Sind die Gärreste aus der Vergärung von pflanzlichen Materialien aus landwirtschaftlichen, forstwirtschaftlichen oder gartenbaulichen Betrieben (auch gemischt mit tierischen Ausscheidungen) entstanden, werden sie als Wirtschaftsdünger betrachtet. Werden andere Stoffe (z. B. Bioabfälle) mitvergoren, handelt es sich nach der Düngemittelverordnung um organische Düngemittel. Durch den Gärprozess entstehen jedoch qualitative und quantitative Veränderungen, die eine angepasste fach- und umweltgerechte Ausbringung erfordern.

##### Stoffliche Zusammensetzung des Gärrestes

Im Verlauf des anaeroben Gärprozesses wird organische Trockenmasse abgebaut, folglich liegt der Trockenmassegehalt des vergorenen Materials deutlich unter dem des Eingangsmaterials. In der Praxis werden häufig TS-Gehalte von 5 bis 7 % gemessen.

Der Nährstoffgehalt der Gärreste ist von der Zusammensetzung der Eingangssubstrate, deren Nährstoffgehalte und den Gärbedingungen abhängig. Ergebnisse der Gärrestuntersuchungen von Praxisbetrieben zeigen, dass die TS- und Nährstoffgehalte stark schwanken (Tab. 19). Daher können keine allgemein gültigen Tabellenwerte abgeleitet werden. Für eine pflanzenbaulich und umweltgerechte Verwertung des Gärsubstrates sind betriebspezifische Untersuchungen der Gärreste unerlässlich und in Anbetracht der gestiegenen Düngemittelpreise anzuraten. Nach der Düngerverordnung muss bei Eigenverwertung jährlich mindestens eine Gärrestuntersuchung vorliegen. Für die Abgabe von Gärresten gelten die Vorschriften der Düngemittelverordnung mit Untersuchun-



gen zu den Hauptabgabeterminen. Die Werte der Tabelle 19 können daher lediglich als Anhaltspunkte dienen.

Für die Lagerung der Gärreste wird eine Lagerkapazität von mindestens 6 Monaten empfohlen. Weitere Hinweise finden Sie in der LfL-Information „Wirtschaftsdünger und Gewässerschutz“ [www.lfl.bayern.de/publikationen/daten/informationen/p\\_34348.pdf](http://www.lfl.bayern.de/publikationen/daten/informationen/p_34348.pdf).

##### Bewertung der Stickstofffraktionen

Die absoluten Nährstoffgehalte in der Frischsubstanz ändern sich durch die Vergärung nur unwesentlich. Von besonderer Bedeutung ist der durch den Abbau organischer Substanz steigende pflanzenverfügbare Stickstoff, der sich in einem höheren Ammoniumanteil am Gesamtstickstoff zeigt. Während dieser sofort wirksame Stickstoff z. B. in Rindergülle einen Anteil von 40 bis 50 % des Gesamtstickstoffes einnimmt, werden in Gärresten in Abhängigkeit von den Einsatzstoffen und des Gärprozesses Werte von 50 bis 80 % erreicht.

Beim Gärprozess wird nur die leicht abbaubare organische Masse abgebaut, es bleibt hauptsächlich schwerer abbaubare und relativ stabile organische Substanz zurück, worin der restliche Stickstoff gebunden ist. Ein kleiner Teil davon wird relativ schnell mineralisiert (ca. 10 %) und zusammen mit dem Ammoniumstickstoff als im Anwendungsjahr verfügbarer Stickstoff ( $N_{\text{schnell}}$ ) bezeichnet. Der verbleibende Stickstoff wird sehr langsam mineralisiert, je nach Witterung und Bodenbearbeitungsintensität ist mit Freisetzungsraten von 1 bis 3 % des Gesamtstickstoffes pro Jahr zu rechnen.

##### Separierung

Viele Biogasanlagen gehen auch dazu über, die anfallenden Gärreste zu separieren. Es entsteht eine flüssige und relativ feste Phase. Erste Untersuchungen zeigen, dass auch in der festen Phase ein hoher schnell pflanzenverfügbarer Anteil von Ammoniumstickstoff verbleibt (Tab. 20). Auch die feste Phase darf daher nicht in der von der

TABELLE 19: ANALYSE VON GÄRSUBSTRATEN (PRAXISBETRIEBE)

	TS (%)	N ges. (kg/m <sup>3</sup> )	NH <sub>4</sub> -N (kg/m <sup>3</sup> )	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (kg/m <sup>3</sup> )	K <sub>2</sub> O (kg/m <sup>3</sup> )
Min.	2,9	2,4	1,5	0,9	2,0
Max.	13,2	9,1	6,8	6,0	10,6
Ø	6,7	5,4	3,5	2,5	5,4

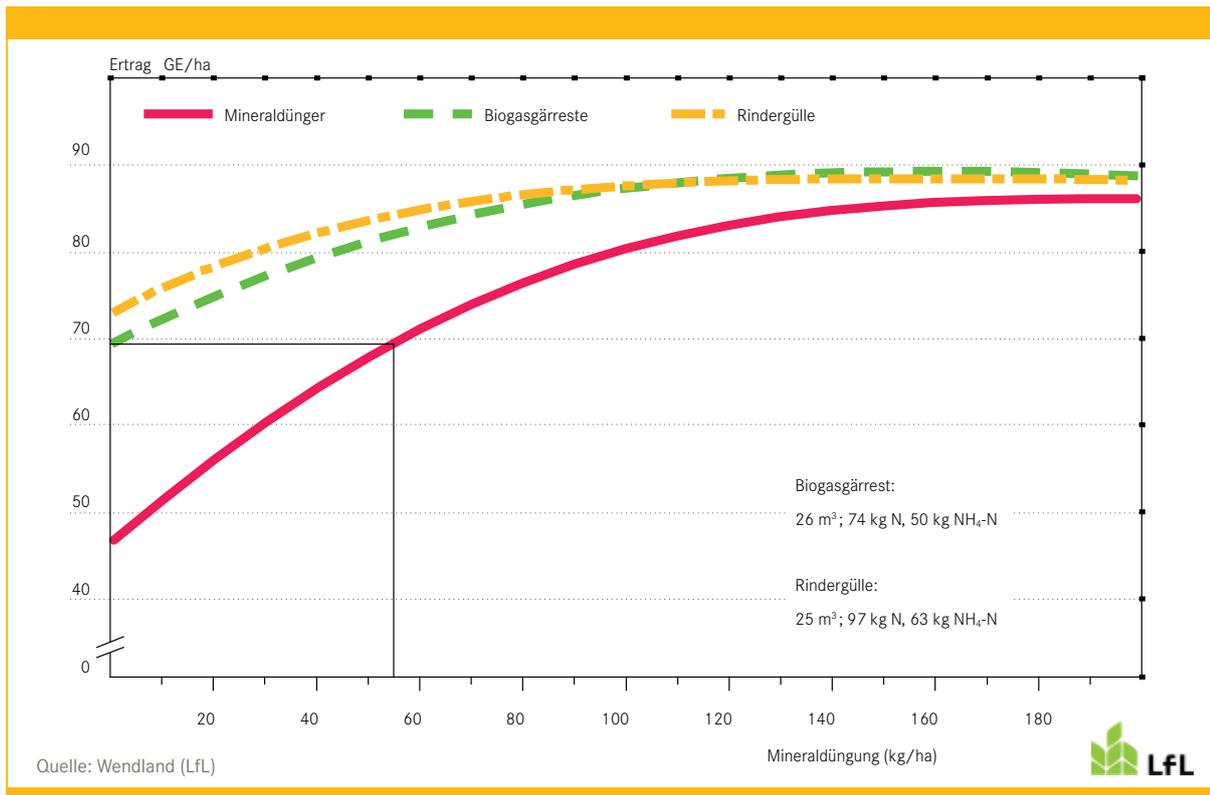


Abb. 50: N-Ertragskurven verschiedener organischer Dünger mit mineralischer Ergänzung (nach Boguslawski & Schneider), Ertragsmittel aus 1999 bis 2006, Puch. Wie aus Versuchen der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft hervorgeht, ist der durch den Gärprozess gestiegene Ammoniumanteil am Gesamtstickstoff sofort pflanzenverfügbar und kann in seiner Wirkung mit Mineraldünger verglichen werden. Im Durchschnitt mehrerer Jahre wurde durch den Einsatz von 26 m<sup>3</sup> Gärrest ohne mineralische Ergänzung ein Ertrag von 69 GE/ha erzielt, die gleiche Menge wie mit ca. 53 kg Stickstoff aus der mineralischen Düngung. Gärreste eignen sich daher gut zur Bestandesführung, erfordern jedoch auch einen gezielten Einsatz zeitnah zum Bedarf der Pflanzen. Mit Rindergülle wurde im Schnitt der Jahre sowohl mehr Gesamtstickstoff als auch Ammoniumstickstoff ausgebracht, daher konnten etwas höhere Erträge erzielt werden.

Düngeverordnung vorgegebenen Sperrfrist ausgebracht werden. Außerhalb der Sperrfristen darf die Ausbringung nicht auf überschwemmten, wassergesättigten, gefrorenen oder durchgängig mit mehr als fünf Zentimeter mit schneebedecktem Boden erfolgen. Untersuchungsergebnisse über die pflanzenbauliche Wirkung der separierten festen Gärreste stehen noch aus. Es deutet sich jedoch an, dass die Stickstoffwirkung im Anwendungsjahr eingeschränkt ist.

Die in allen Arten von Gärresten enthaltenen Phosphat- und Kalimengen sind in ihrer Wirkung langfristig denen der Mineraldünger gleichwertig und können in der Düngeplanung voll angesetzt werden.

Schwermetalle unterliegen keinem biologischen Abbau, sie konzentrieren sich daher in der verbleibenden Trockenmasse des Gärückstandes. Da die tolerierbaren Schwermetallgehalte (z. B. BioAbfV, DüMV) in mg/kg Trockenmasse angegeben werden, kann es in manchen Fällen zu Grenzwertüberschreitungen kommen, obwohl die Gesamtfrachten gleich bleiben.

#### Pflanzenbauliche Bewertung

Der üblicherweise reduzierte TS-Gehalt der Gärreste führt zu einer höheren Fließfähigkeit und zu einem schnelleren Ablaufen der Gärreste von den Pflanzen. Weniger Pflanzenverschmutzung und schnellerer Bodenkontakt sind die Folge, wodurch Gärreste vor weiteren gasförmigen Verlusten geschützt sind.

TABELLE 20: DURCHSCHNITTLLICHE ANALYSEERGEBNISSE VON SEPARIERTEN GÄRRESTEN

	TS (%)	N ges. in kg/m <sup>3</sup>	NH <sub>4</sub> -N (kg/m <sup>3</sup> )	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (kg/m <sup>3</sup> )	K <sub>2</sub> O (kg/m <sup>3</sup> )
flüssige Phase	5,7	4,9	3,0	2,3	6,2
feste Phase	24,3	5,8	2,7	5,0	5,8

TABELLE 21: HUMUSWIRKUNG NACH CROSS COMPLIANCE (CC) FÜR SILOMAIS

Kultur	Humuswirkung nach CC	Gärrest (m <sup>3</sup> )	Humuswirkung Gärrest	Humussaldo
Silomais	-560	40	360	-200

Resultierend aus dem fermentativen Abbauprozess steigt der pH-Wert des Gärrestes. Der höhere Ammoniumanteil in Verbindung mit den steigenden pH-Werten birgt die Gefahr von gasförmigen Verlusten in Form von Ammoniak während der Ausbringung des Gärrestes. Bei steigenden pH-Werten nimmt der Ammoniakanteil zu und der Ammoniumanteil entsprechend ab. Hohe Temperaturen beschleunigen diesen Vorgang. Die Risiken lassen sich durch eine verlustarme Ausbringung und sofortige Einarbeitung minimieren. Bei Kopfdüngung oder auf Grünland ist eine bodennahe, großtropfige Ausbringung bei bedecktem Himmel oder in den Abendstunden zu empfehlen.

### Humuswirkung

Humus nimmt als Gesamtheit der organischen Substanz des Bodens eine grundlegende Funktion in Sachen Bodenfruchtbarkeit und Ertragsbildung ein. Dies gilt sowohl für den ökologischen als auch den integrierten Landbau. Zwar ist der Humusgehalt vorwiegend durch die Bodenart bestimmt, dennoch kann auch die ackerbauliche Nutzung Einfluss auf den Humusgehalt haben. Entscheidende Parameter sind Fruchtfolgegliederung, Art und Intensität der Bodenbearbeitung und Qualität der organischen Düngung.

Zur Erhaltung der organischen Substanz und zum Schutz der Bodenstruktur müssen bestimmte Anforderungen erfüllt sein, welche im Rahmen von Cross Compliance (CC) vorgegeben werden. Hierbei ist entweder der Humusgehalt der Ackerflächen zu ermitteln oder auf betrieblicher Ebene eine Humusbilanz zu erstellen. Beispielhaft ist in Tabelle 21 eine Humusbilanzierung nach CC für Silomais aufgeführt.

Bei den Berechnungen wurde ein Biogasgärrest mit 7% TS angesetzt. Wie aus Tabelle 21 hervorgeht, werden durch die Abfuhr von Silomais dem Boden 560 kg Humus-C entzogen. Im Gegenzug werden mit der Ausbringung der Gärreste 360 kg Humus-C zurückgeführt. Um nun eine ausgeglichene Humusbilanz zu erreichen, müssen Humus mehrende Fruchtarten in die Fruchtfolge aufgenommen werden. Ein Humusbilanzausgleich durch höhere Gärrestdüngung ist aufgrund der Stickstofffrachten meist limitiert. Im Rahmen einer Biogasfruchtfolge kommt als Humusmehrer insbesondere den Zwischenfrüchten eine wichtige Rolle zu.

### Nährstoffkreislauf im landwirtschaftlichen Betrieb

Ziel der Betrachtung des Nährstoffkreislaufes ist es, einen Überblick über die Summe der Nährstoffzu- und -abflüsse im Betrieb oder auf der Fläche zu gewinnen. Ein unausgeglichener Nährstoffsaldo kann einerseits zu Umweltbelastungen führen, andererseits den Abbau von Vorräten bedeuten. Mit sogenannten Nährstoffbilanzierungen ist es möglich, dies durch die Quantifizierung von Zu- und Abfuhr, bezogen auf einzelne Schläge oder auf die Gesamtflächen des Betriebes, zu beurteilen. Besonders für Biogasbetriebe die Substrate zukaufen ist es wichtig auf einen ausgeglichenen Nährstoffsaldo zu achten. Das Beispiel der Abbildung 51 verdeutlicht den Nährstoffkreislauf auf einer Fläche, die zum Anbau von Substraten für die Biogasanlage genutzt wird. Ein Hektar Silomais für die Produktion von Biogas entzieht ca. 220 kg Stickstoff/ha und Jahr. Dieser mit dem Pflanzenmaterial der Biogasanlage zugeführte Stickstoff geht im Laufe des Gärprozesses, abgesehen von Lagerverlusten in Höhe von 5%, nicht verloren. Die bei der Ausbringung entstehenden Verluste können bis zur Höhe von 14,3% berücksichtigt werden und sind durch die Anwendung einer verlustarmen Technik zu minimieren. Rechnerisch gelangen somit 179 kg Stickstoff mit dem Gärsubstrat wieder zurück auf das Feld. Auch bei Beachtung aller Aspekte der guten fachlichen Praxis sind Standortverluste in Höhe von 15 bis 40 kg Stickstoff nicht vermeidbar. Wird nur die Summe der genannten Verluste in Höhe von 71 kg (einschließlich 30 kg Standortverluste) durch Mineraldünger (oder andere Düngemittel) ersetzt, ist die Stickstoffbilanz als fachlich ausgeglichen zu betrachten und entspricht den Vorgaben der Düngeverordnung. Die Verluste können z.T. auch durch Gärreste ersetzt werden, die durch Substrate gewonnen wurden welche nicht dem Biogasbetrieb entstammen. Überschreiten die zugekauften Mengen die zum innerbetrieblichen Bilanzausgleich nötige Düngemenge trotz Abzug der unvermeidbaren Verluste, so muss Gärsubstrat abgegeben werden. Vorzugsweise sollte dieser überschüssige Gärrest an die Betriebe, die das Ausgangsmaterial geliefert haben zurückgegeben werden. Andernfalls besteht die Gefahr, die in der Düngeverordnung festgelegten Werte für eine gute fachliche Praxis zu überschreiten. In vielen Fällen kann auch die Phosphatfracht begrenzend wirken, betriebsindividuelle Berechnungen können darüber Auskunft geben.

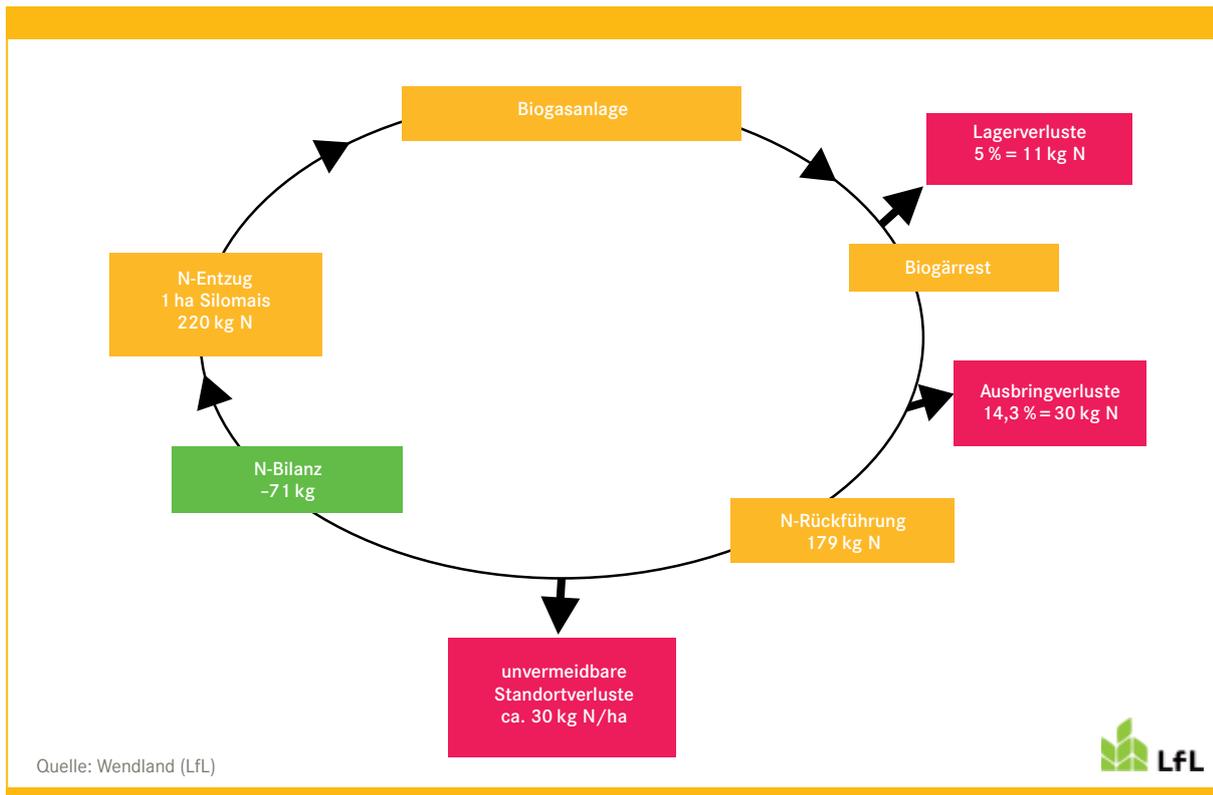


Abb. 51: Beispiel eines Nährstoffkreislaufes

Berechnungsprogramm unter [www.lfl.bayern.de/iab/duengung/umwelt/24240/index.php](http://www.lfl.bayern.de/iab/duengung/umwelt/24240/index.php).

Bei der Berechnung der Nährstoffbilanz für Stickstoff nach der Düngeverordnung werden für pflanzliche Substrate bei Eigenerzeugung und Ausbringung auf Eigenflächen gasförmige Lager- und Ausbringverluste in Höhe von 18,6% berücksichtigt. Für tierische Wirtschaftsdünger gelten die Verluste entsprechend Anlage 2 der Düngeverordnung. Kauft ein Betrieb pflanzliche Substrate oder organische Dünger zur Vergärung in der Biogasanlage zu, werden die darin enthaltenen Nährstoffe als Zugang bewertet. Für den Anteil des auf eigene Flächen aufgebrauchten Gärrestes können wieder die genannten Verluste abgezogen werden. Bei Abgabe von Gärresten an andere Betriebe werden die Nährstoffuntersuchungsergebnisse multipliziert mit der abgegebenen Menge als Abfuhr aus dem betrieblichen Kreislauf verbucht.

Die Ausbringverluste (keine Lagerverluste) entstehen dann im aufnehmenden Betrieb.

### Auszug wesentlicher Vorschriften der Düngeverordnung

Folgende auszugsweise wiedergegebenen Regelungen der Düngeverordnung sind für Biogasbetriebe besonders wichtig:

- Zeitliche und mengenmäßige Ausbringung so, dass die Nährstoffe von den Pflanzen weitestgehend ausgenutzt und Nährstoffverluste vermieden werden.
- Vor der Ausbringung ist der Düngbedarf der Kulturen festzustellen (Anrechnung von  $N_{\min}$  und N-Nachlieferung). Für Phosphat sind dafür spätestens alle 6 Jahre Bodenuntersuchungen durchzuführen.
- Die Ausbringung darf nicht erfolgen, wenn der Boden überschwemmt, wassergesättigt, gefroren oder durchgängig mit mehr als fünf Zentimeter mit Schnee bedeckt ist.
- Der direkte Eintrag in oberirdische Gewässer ist zu vermeiden. Es sind Mindestabstände zur Böschungsoberkante je nach Art der Ausbringtechnik und Neigung des Geländes vorgeschrieben.
- Die Ausbringung darf nur erfolgen, wenn der Gehalt an Gesamtstickstoff, Ammoniumstickstoff und Phosphat festgestellt wurde. Gärreste sind mindestens einmal jährlich auf der Grundlage wissenschaftlich anerkannter Messmethoden zu untersuchen. Bei Abgabe von Gärresten können auch mehrere Untersuchungen notwendig sein.

- Bei der Ausbringung auf unbestelltes Ackerland sind die Gärreste unverzüglich einzuarbeiten.
- Auf Ackerland darf vom 01. November bis 31. Januar, auf Grünland vom 15. November bis 31. Januar kein Gärsubstrat ausgebracht werden.
- Nach Ernte der letzten Hauptfrucht dürfen Gärsubstrate nur zu im gleichen Jahr angebauten Folgekulturen einschließlich Zwischenfrüchten bis in Höhe des aktuellen Düngebedarfes der Kultur oder als Ausgleichsdüngung zu auf dem Feld verbliebenem Getreidestroh bis zur maximalen Höhe von 40 kg Ammonium- oder 80 kg Gesamtstickstoff je Hektar ausgebracht werden. Als letzte Hauptfrucht gilt (bei zwei Hauptfrüchten im Jahr) eine Frucht, deren Ansaat vor dem 10. August erfolgt und die im Ansaatjahr noch beerntet wird.
- Stickstoff aus tierischen Wirtschaftsdüngern darf im Durchschnitt der landwirtschaftlich genutzten Fläche des Betriebes bis maximal 170 kg je Hektar und Jahr ausgebracht werden (abzüglich tierartsspezifischer Stall- und Lagerungsverluste). Ist tierischer Wirtschaftsdünger im Gärrest enthalten, wird nur dieser Anteil auf die Stickstoffobergrenze angerechnet.
- Jährlich müssen betriebliche Nährstoffvergleiche für Stickstoff und Phosphat erstellt werden. Darin müssen die dem Betrieb zur Biogasnutzung zugeführten und ggf. abgeführten Substrate ebenso berücksichtigt werden wie die ausgebrachten Gärreste.

- Enthält das Gärsubstrat Knochenmehl, Fleischknochenmehl oder Fleischmehl, ist der Einsatz auf landwirtschaftlich genutztem Grünland und als Kopfdüngung untersagt.
- Eine aktuelle Ausgabe der Düngeverordnung ist im Internet der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft zu finden ([www.lfl.bayern.de/iab/duengung/](http://www.lfl.bayern.de/iab/duengung/) → Düngeverordnung).

#### Weitere Rechtsbereiche

- Verordnung über das Inverkehrbringen von Düngemitteln, Bodenhilfsstoffen, Kultursubstraten und Pflanzenschutzmitteln, Düngemittelverordnung vom 16.12.2008
- Verordnung über das Inverkehrbringen von Düngemitteln, Bodenhilfsstoffen, Kultursubstraten und Pflanzenschutzmitteln vom 01.09.2011
- Düngemittelverordnung vom 16.12.2008
- Verordnung über die Verwertung von Bioabfällen auf landwirtschaftlich, forstwirtschaftlich und gärtnerisch genutzten Böden vom 21.09.1998

Autor: Wendland, M. (Institut für Agrarökologie, Ökologischen Landbau und Bodenschutz, LfL)

Nachdruck mit freundlicher Genehmigung des Biogas Forums Bayern

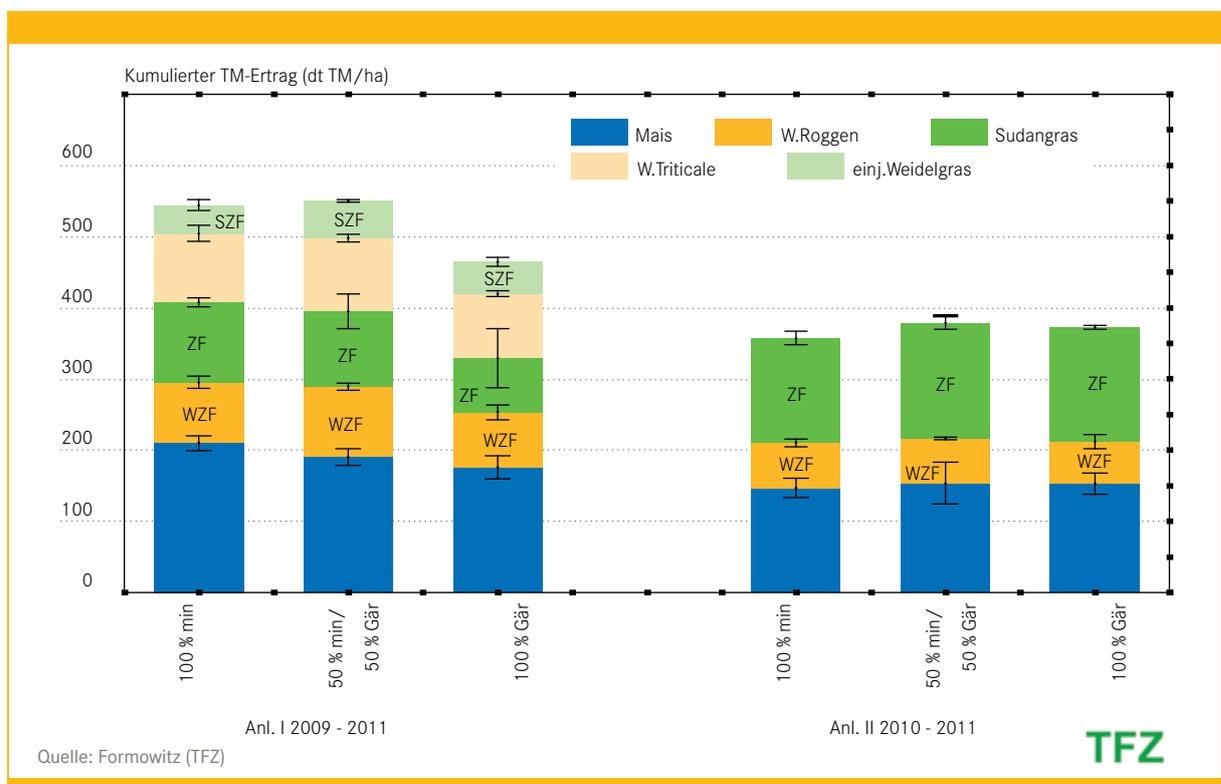


Abb. 52: Bisherig erfasste, summierte Trockenmasse-Erträge innerhalb einer EVA-Fruchtfolge am Standort Ascha, Bayern

### 3.6.2 Gärrestverwertung verschiedener Kulturen innerhalb einer Fruchtfolge

#### Ertragsergebnisse und $N_{\min}$ -Werte

Innerhalb des schon beschriebenen EVA-Fruchtfolgeversuchs werden in Anlehnung an die Fruchtfolge 3 organische N-Düngevarianten (100 % Gärrest; 50/50 % mineralisch/Gärrest) mit einer rein mineralischen N-Düngung zu Mais, Winterroggen, Sorghum (*S. bicolor* x *S. sudanense* „Lussi“), Wintertriticale, Weidelgras und Winterweizen verglichen. Alle Kulturen erreichten mit vereinzelt Schwankungen zwischen den Düngevarianten insgesamt vergleichbare Erträge und belegen die gute Verwertbarkeit von Gärresten als wertvolle organische Dünger durch verschiedenste Kulturen (Abb. 52).

Auch wenn die Variantenunterschiede in Ascha eher gering ausfallen, scheint sich im bundesweiten Vergleich der 6 beteiligten EVA-Standorte (BY, BW, MV, NS, SN, TH) eine leichte Vorzüglichkeit der gemischten Variante abzubilden. Dies kann durch die kombinierte Wirkung des schnellverfügbaren Stickstoffanteils (mineralische N-Gabe sowie schnell verfügbares N aus Gärresten) mit über die gesamte Vegetationsperiode über freierwerdendem und langsam verfügbarem N aus Gärresten erklärt werden. Zudem bietet diese Variante die Möglichkeit z. B. im Getreide mittels organischer Düngung im zeitigen Frühjahr die Grundversorgung sicherzustellen, während die mineralische Düngung als späte Qualitätsgabe genutzt werden kann.

Kleinere Ertragsunterschiede bei Mais im ersten Versuchsjahr sind vor allem auf die starken Unterschiede der TS- und Nährstoffgehalte in den Biogasgärresten zurückzuführen (Tab. 22). Diese können durch variierende Substrateigenschaften, veränderte Fütterung der Anlagen und Änderungen des Gärmilieus sowie unvorhergesehene Wassereinträge bei nicht abgedeckten Nachgärern entstehen (Vergleich Kap. 3.6.1). Somit besteht ohne eine engmaschige Analyse mitunter die Schwierigkeit, mit den ausgebrachten Gärrestmengen die anvisierten Nährstoffmengen (besonders N) zu düngen.

Werden hohe Ertragserwartungen mit dementsprechend hohen N-Gaben nicht erreicht, kann es zur Erhöhung von  $N_{\min}$ -Werten nach Ernte kommen, wie z. B. bei Mais in Ascha 2010 (Abb. 53). Dies lag im Wesentlichen an der trockenen Witterung von Mitte Juni bis Mitte Juli, die das Pflanzenwachstum allgemein einschränkte. Darüber hinaus bewirkt eine solche Trockenphase verminderte Aktivitäten der Mikroorganismen, sodass vermutlich weniger Nährstoffe aus der organischen Fracht mobilisiert wurden. Später im Sommer einsetzende Niederschläge führten dann zur Freisetzung des nicht verwerteten Stickstoffs, welches zu erhöhtem Risiko der Nitratauswaschung im Winter führen kann, wenn keine Folgefrucht angebaut wird, die diesen vor Winter in ihrer Biomasse festlegen kann. Eine ertragsangepasste Düngung kann dem vorbeugen, wie hier vergleichsweise für Ettligen dargestellt (Abb. 53).

Eine Aufteilung der Gärrestmengen auf mehrere Gaben erlaubt die Anpassung an verschiedene Jahresverhältnisse und Ertragserwartungen. Wie für Ackergräser, in diesem Fall Weidelgras, wurde nach jedem Schnitt (2009 und 2010 je 4 Schnitte, 2011 5 Schnitte) eine an die Jahreszeit angepasste N-Düngung vorgenommen. Dieses führte in einem Versuch mit gestaffelten N-Gaben nicht nur zu sehr niedrigen  $N_{\min}$ -Werten, sondern auch zu geringeren Ertragsschwankungen im Vergleich zu Mais (Abb. 54). Bei anderen Kulturen müssen unter Umständen eventuelle ökonomische Nachteile unter Berücksichtigung des Arbeits-Mehraufwands durch die zusätzliche Düngegabe gegen mögliche ertragssteigernde und ökologische Vorteile abgewogen werden.

#### Ammoniakverluste nach Gärrestapplikation zu Mais und Sorghum

Wie im Kapitel 3.6.1 bereits erwähnt, sind mit den zum Teil hohen pH-Werten in Gärresten Risiken des Ammoniakverlustes verbunden, welches durch hohe Sonneneinstrahlung, Windgeschwindigkeit und Temperaturen ansteigt. Diese wichtige Größe wurde neben klimarelevanten Gasen wie  $CO_2$ , Methan und Lachgas durch das von der FNR geförderte Verbundprojekt „Potenziale zur Minderung der

TABELLE 22: ANALYSE DER IN ASCHA VERWENDETEN GÄRSUBSTRATE

	TS (%)	N ges. in $kg/m^3$	$NH_4-N$ ( $kg/m^3$ )	$P_2O_5$ ( $kg/m^3$ )	$K_2O$ ( $kg/m^3$ )
Min.	1,5	1,8	1,0	0,5	1,6
Max.	7,7	7,0	3,9	3,4	8,0
Ø	5,1	3,9	2,1	1,9	3,5

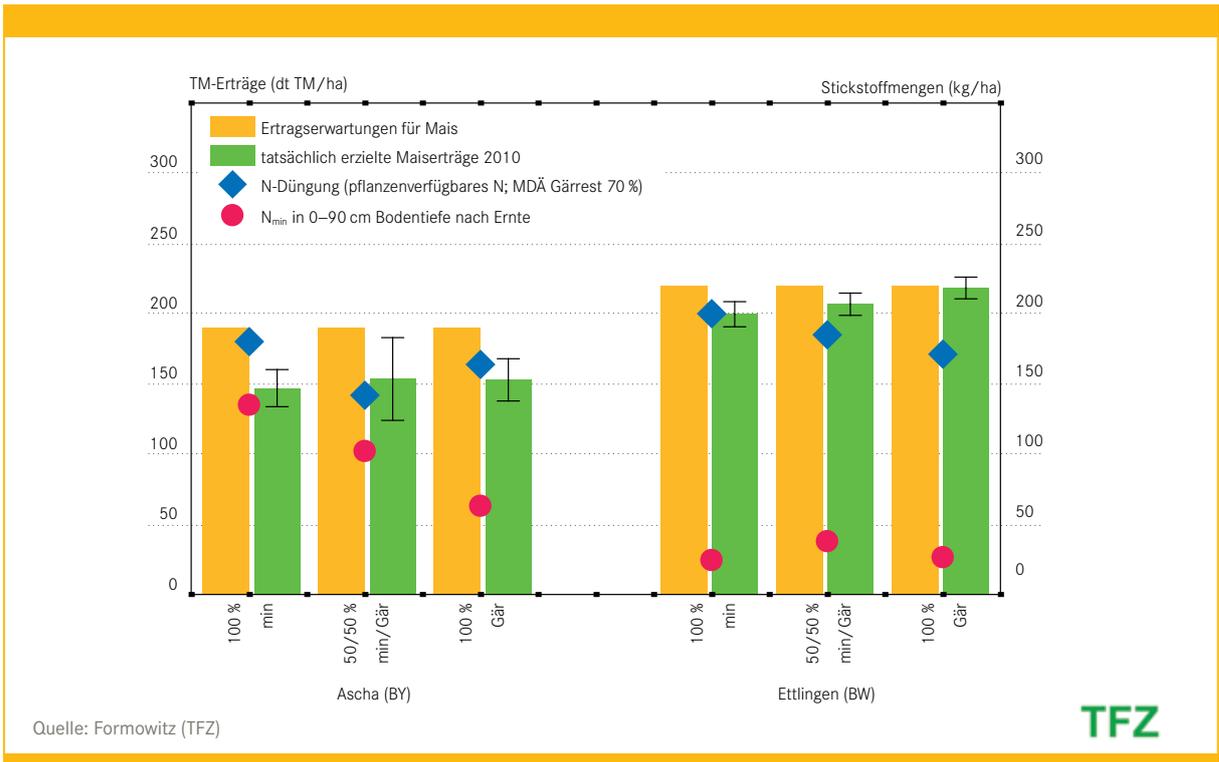


Abb. 53: Ertragswartungen und tatsächlich erzielte Trockenmasse-Erträge von Mais sowie gedüngte N-Mengen und N<sub>min</sub>-Werte nach Ernte am Standort Ascha, Bayern

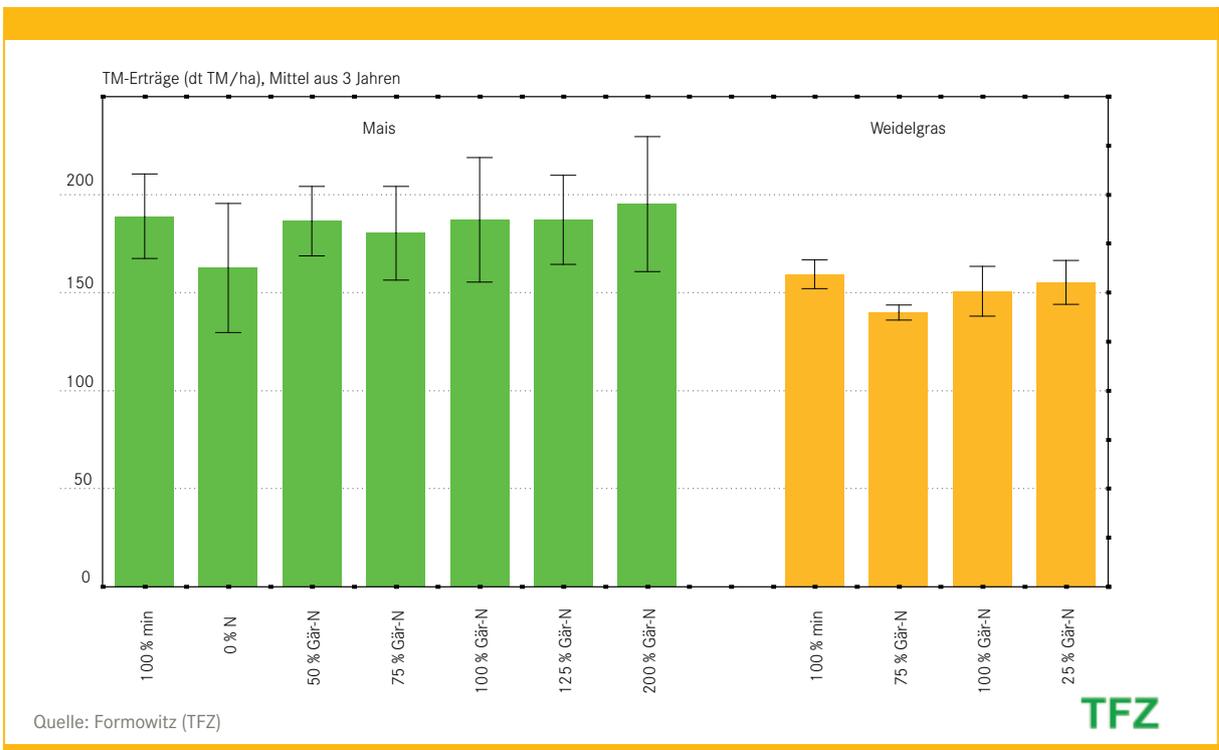


Abb. 54: Über 3 Versuchsjahre gemittelte Trockenmasse-Erträge von Mais und Weidelgras am Standort Ascha, Bayern

Freisetzung von klimarelevanten Spurengasen beim Anbau von Energiepflanzen zur Gewinnung von Biogas“ erhoben. Erste Berechnungen von A. Seidel an der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel (CAU) für Mais in Ascha zeigen in den praxisrelevanten Gärrestvarianten N-Verluste von 3 bis 6 kg N/ha. Die mineralische Variante zeigte keine nennenswerte Ausgasung (0,4 kg N/ha), während die reine Versuchsvariante mit einer Düngung von 200 % Gärrest-N 8 kg N/ha Verlust aufwies (Abb. 55). Messungen nach der Düngung von Sorghum lagen sogar noch darunter. Somit sind die NH<sub>3</sub>-Verluste trotz starkem Windeinflusses insgesamt auf einem kaum Ertrag beeinflussenden Niveau.

### Fazit für die Praxis

Um die benötigten Nährstoff- und Gärrestmengen zu berechnen, muss eine Nährstoffanalyse vor der Düngung erfolgen oder auf aktuelle Angaben des Anlagenbetreibers zurückgegriffen werden. Um Nährstoffverluste zu vermeiden, muss eine schnelle Einarbeitung der Gärreste erfolgen. Die Aufteilung der Gärrestmengen auf mehrere Gaben erlaubt die Anpassung an verschiedene Jahresverhältnisse und Ertragserwartungen. Zur Aufnahme des Stickstoffs und Senkung hoher N<sub>min</sub>-Gehalte im Herbst kann eine entsprechende Nachfrucht über Winter angebaut werden.

Autorin: Formowitz, B. (Technologie- und Förderzentrum)

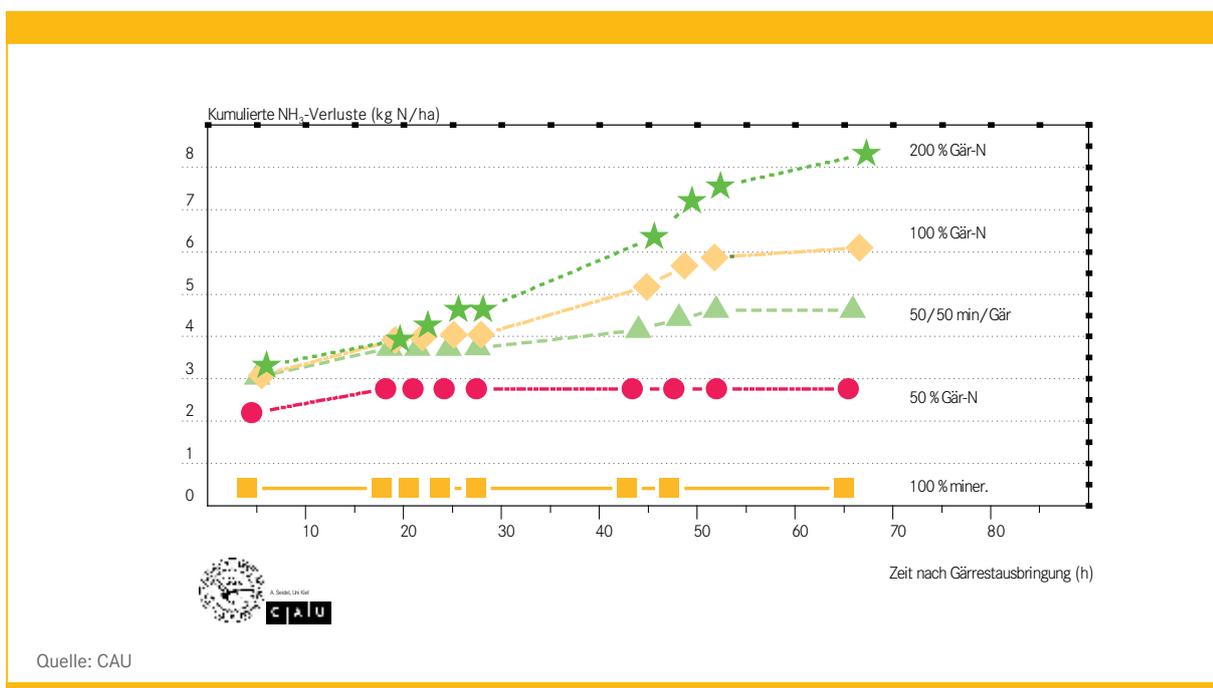


Abb. 55: Kumulierte gasförmige NH<sub>3</sub>-Verluste (Dräger-Messung) nach Gärrestaubsbringung je N-Düngervariante zu Mais am Standort Ascha, Bayern

### 3.7 Humusbilanzen

#### Humusgehalt und Bodenfruchtbarkeit

Humus ist ein wesentlicher Faktor für die Bodenfruchtbarkeit und trägt zur Erfüllung wichtiger Bodenfunktionen bei: Humus dient als Nahrung für das Bodenleben, welches die Basis für Nährstoffmineralisation, -immobilisierung und Abbau von Schadstoffen ist.

Humus verbessert die Speicherung und Umsetzung der Nährstoffe. Er erhöht Wasserhaltevermögen und den Gasaustausch. Durch seinen positiven Einfluss auf die Bodenstruktur werden Wassererosion und Bodenschadverdichtung vermindert.

Der Humus im Boden kann als CO<sub>2</sub>-Senke und CO<sub>2</sub>-Quelle dienen (Kommission Bodenschutz, Umweltbundesamt, 2008).

Langfristig stellt sich der Humusgehalt aus dem Fließgleichgewicht der Humusbildung durch Düngung und Pflanzenrückstände sowie der Mineralisation der organischen Bodensubstanz ein. Dabei werden Mineralisierung und Humusaufbau durch Bodentemperatur, Bodenwassergehalt, Bodenart, Bodenbearbeitung und angebaute Fruchtarten beeinflusst.

Um Ertragsfähigkeit und Funktionen des Bodens langfristig zu gewährleisten, ist eine gute Versorgung des Bodens mit Humus notwendig. Mithilfe der Humusbilanz kann die notwendige Menge an organischer Primärschubstanz, die dem Boden zugeführt werden muss, ermittelt werden. Diese Steuerung kann erfolgen durch die Wahl der Fruchtarten, den Anbau von Zwischenfrüchten oder durch Wirtschaftsdünger, Gärreste und bei Druschfrüchten dem Verbleib von Stroh auf dem Acker.

Die Humusbilanz soll über die Fruchtfolge einen ausgeglichenen Saldo aufweisen. Eine isolierte Betrachtung von einzelnen Fruchtfolgegliedern kann allerdings aufzeigen, welchen Anteil die jeweilige Kulturart an einer ausgeglichenen Bilanz hat. Im Folgenden werden Humusbilanzen für ausgewählte Energiepflanzen bei unterschiedlichem Ertragsniveau untersucht. Ziel ist ein Humussaldo zwischen -75 bis 100 kg Humus-C. Für einen neuen VDLUFA-Standpunkt soll der optimale Bereich (Gruppe C) des Humussaldos auf den Bereich von -75 bis 300 kg/ha ausgedehnt werden. Die Koeffizienten der Fruchtarten sind in Abbildung 56 aufgeführt, weitere sind in VDLUFA (2004) enthalten.

#### Methoden

Die Humusbilanzen wurden beispielhaft für flachgründige, kühle und feuchte Standorte mit geringer bis mittlerer Bodengüte der Vorgebirgs- und Mittelgebirgsregionen am Versuchsstandort Ascha nach VDLUFA (2004) mit den so

genannten „unteren Werten“ berechnet. Dabei wurden folgende Annahmen getroffen:

Zwischen Ertrag auf dem Feld und Substrat zum Einbringen in die Biogasanlage wurde ein Verlust von 15 % des TM-Feldertrages (Silierverlust, Transportverluste) und in der Folge praxisübliche TS-Werte angenommen.

Die Humusbilanzen wurden auf Basis der Versuchserträge des EVA-Projekts (2005 bis 2010) berechnet. Ausgewiesen wurden jeweils der minimale, der mittlere und der maximale in den Versuchen erzielte Ertrag (s. Abb. 56). Rechnerisch wird die Humuswirkung des wieder ausgebrachten Gärrestes dem Humusbedarf dieser Fruchtart gegenüber gestellt.

Die Biogasausbeute von Silomais wurde aus dem „Wirtschaftlichkeitsrechner Biogas“ des KTBL übernommen; die übrigen Fruchtarten wurden relativ dazu bewertet. Die Relationen wurden vom Institut für Agrartechnik Potsdam-Bornim (ATB, schriftl. Mitteilung 2011) ermittelt. Der Methangehalt aller Fruchtarten wurde ebenfalls dem „Wirtschaftlichkeitsrechner Biogas“ des KTBL entnommen.

Für Sorghum steht derzeit noch kein Koeffizient zur Bewertung des fruchtartspezifischen Humusbedarfs zur Verfügung. Auf Basis von Expertenschätzungen ist davon auszugehen, dass dieser zwischen dem für Getreide, -280 kg Humus-C und dem für Silomais (-560 kg Humus-C) liegt. Hier wird von -280 kg Humus-C ausgegangen.

Grundsätzlich ist darauf hinzuweisen, dass die Höhe der Koeffizienten zur Bewertung der Humuswirkung von Gärresten noch in der wissenschaftlichen Diskussion ist. Zur absoluten Höhe der Humusbilanzen können sich die Aussagen also in Zukunft verändern. Ein relativer Vergleich zwischen den Fruchtarten ist jedoch möglich.

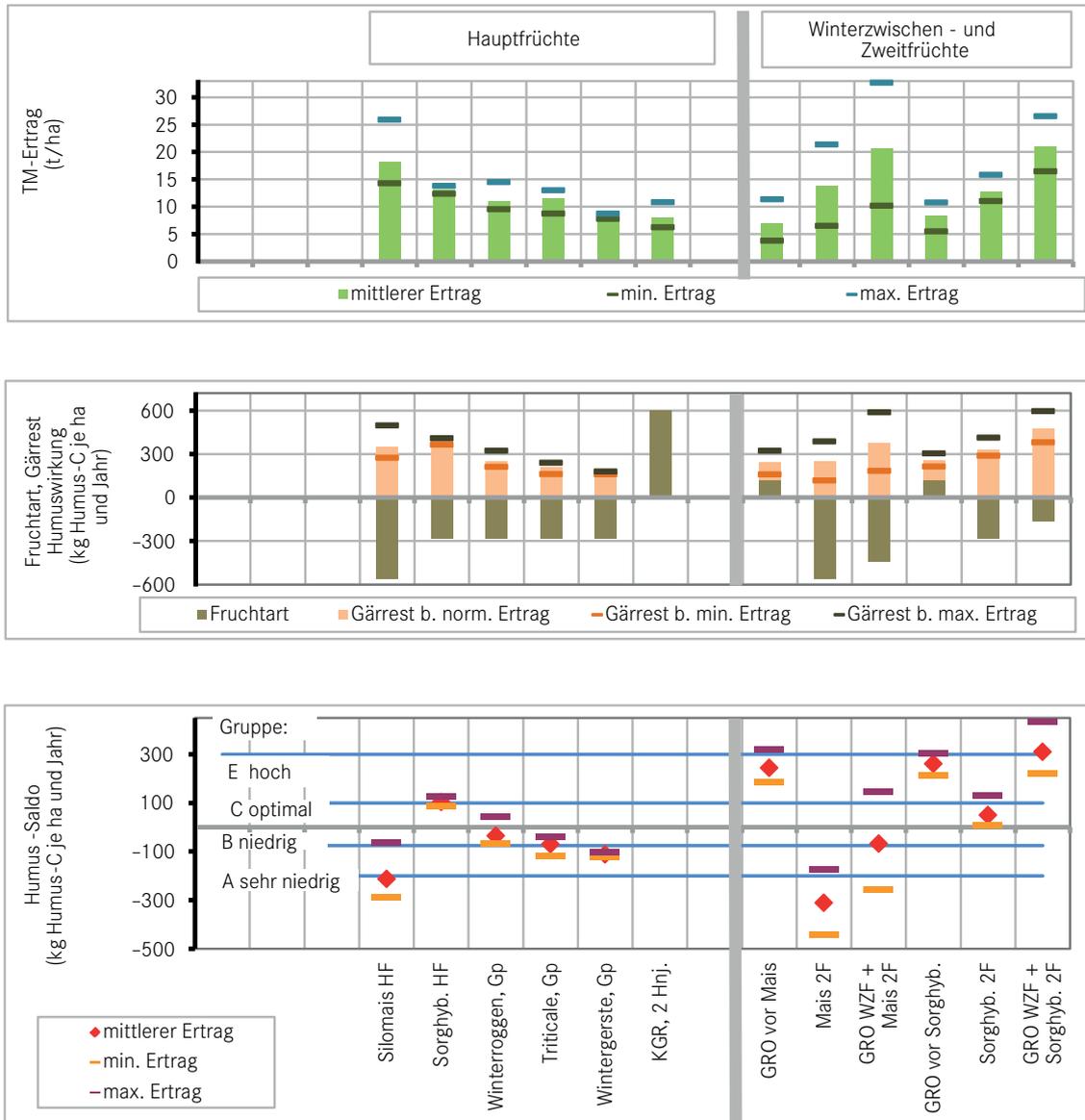
#### Ergebnisse

Abbildung 56 weist die Erträge (oben), die dazu gehörige Humuswirkung von Fruchtarten und Gärresten (Mitte) sowie den Humussaldo (unten) aus. Die maximale humuszehrende Wirkung hat Silomais mit -560 kg/ha Humus-C, gefolgt von Getreide mit Ganzpflanzennutzung, Getreide mit Ganzpflanzennutzung und Sorghum (*S. bicolor* x *S. sudanense* und *S. bicolor*) mit -280 kg/ha Humus-C. Humusmehrend wirken Grünschnittroggen als Winterzwischenfrucht und Klee gras. Der mittlere TM-Ertrag von Silomais mit 18,1 t/ha liegt um 0,5 t über dem von Sorghum (*S. bicolor* x *S. sudanense*) mit 13,0 t/ha. Die Humuswirkung des Gärrestes von *S. bicolor* x *S. sudanense* ist je Hektar höher als die von Mais, da die Biogasausbeute niedriger ist.

Generell ist die Höhe der Humuswirkung des Gärrestes je Hektar von TM-Ertrag, TS- und Rohaschegehalt des Erntegutes und der Biogasausbeute abhängig.

Der Humussaldo zeigt ein sehr unterschiedliches Bild. Wenn die Gärreste im System verbleiben, erreicht Sorghum (*S. bicolor* und *S. bicolor* x *S. sudanense*) einen Humusbilanzsaldo, der im optimalen Bereich liegt. Der Humussaldo von Getreide mit Ganzpflanzennutzung (geerntet in der

Milch- bis Teigreife) ist bei Triticale niedrig, aber tolerierbar. Bei Wintergerste, aufgrund des geringeren Ertrages, liegt der Humussaldo nur noch in Gruppe A. Mehrschnittiges Ackerfutter, wie z. B. Klee gras wirkt stark Humus mehrend (+600 kg/ha). Zusammen mit dem aus der Vergärung an-



Quelle: Willms (ZALF)



Abb. 56: Humusbilanz unter Berücksichtigung mittlerer, minimaler und maximaler Erträge flachgründigen Standorte geringer bis mittlerer Boden-güte am Versuchsstandort Ascha, berechnet nach VDLUFA 2004, „untere Werte“.

(HF = Hauptfrucht; 2F = Zweitfrucht; GRO = Grundschnittroggen; WZF = Winterzwischenfrucht, Mitte Mai geerntet; KGR = Klee gras; Sorghyb = Sorghum; GP = Ganzpflanze; Hnj. = Hauptnutzungsjahre; Humuswirkung von Sorghumhybride und Futterhirse auf Basis der Experteneinschätzung wie Getreide bewertet)

fallenden organischen Dünger (+300 bis +500 kg/ha, nicht in der Abbildung dargestellt) kann ein Anbau, beispielsweise als so genannte „Springfrucht“ dazu beitragen, den Humussaldo einer Fruchtfolge deutlich zu steigern. Dabei ist darauf zu verweisen, dass eine Gärrestdüngung von Klee gras entsprechend dem Anteil der N-fixierenden Leguminosen reduziert werden sollte. Bei Acker gras, ohne Leguminosen-Anteil kann dagegen der Gärrest vollständig ausgebracht werden.

Auffallend ist die negative Bewertung von Silomais. Diese kommt durch den hohen Humusbedarf und die hohe Biogasausbeute der Fruchtart zustande. Durch den starken Abbau der organischen Trockensubstanz verbleibt wenig Gärrest je Hektar zum Ausgleich der Humusbilanz. Abhängig vom Ertrag beträgt die mit den Gärresten des Maises in Hauptfruchtstellung erzielte Humuswirkung 50 bis 90, im Mittel 60 % der fruchtartspezifischen Humuszehrung. In

der Fruchtfolgegestaltung ist daher darauf zu achten, dass bei höheren Maisanteilen ein gemischter Anbau mit Marktfrüchten (Strohdüngung) oder aber der Anbau von Humus liefernden Fruchtarten (z. B. Zwischenfrüchte oder mehrschnittiges Ackerfutter) erfolgt. Silomais in Zweitfruchtstellung mit zuvor angebaute Winterroggen als Winterzwischenfrucht ist aus Sicht der Humusbilanz deutlich besser zu bewerten als Silomais ohne Winterzwischenfrucht.

Insgesamt zeigt sich aus Sicht der Humusbilanz die positive Wirkung der Gärrestrückführung in Anbausystemen mit Energiepflanzen. Während „Biogassysteme“ mit Gärrestrückführung in diesem Zusammenhang Spielräume für einen Ausgleich der humuszehrenden Wirkung von Fruchtarten bieten, sind auf Ganzpflanzennutzung ausgelegte Produktions- und Verwertungssysteme, bei denen keine organische Substanz zurückgeführt wird (z. B. BtL) bzw. als Reststoff auf dem Feld verbleibt, kritisch zu betrachten. Einzig mehrjähriges Ackerfutter und Zwischenfrüchte können hier dem Kriterium der ausgeglichenen Bilanzen genügen.

Es ist darauf zu achten, dass Humusbilanzsalden 300 kg/ha Humus-C im Mittel der Anbaufolge nicht übersteigen. In diesen Fällen ist die organische Düngung zu reduzieren (ggf. Gärreste abgeben), um die Mineralisierungsraten und damit hohe Stickstofffreisetzung und mögliche Stickstoffauswaschung zu mindern.

Humusbilanzen und Nährstoffbilanzen können zu Zielkonflikten führen. Wenn die Humusbilanz eine organische Düngung empfiehlt, die nicht mehr der guten fachlichen Praxis für die Stickstoff- und Phosphorversorgung des Pflanzenbestandes entspricht, so sind die Restriktionen, die für Phosphor bzw. Stickstoff gelten, zuerst zu berücksichtigen. Ein Ausgleich der Humusbilanz muss dann auf anderem Wege erfolgen wie z. B. durch Aufnahme anderer Fruchtarten in die Anbaufolge oder Strohdüngung.

#### Literatur

**Kommission Bodenschutz, Umweltbundesamt (2008):** Empfehlungen der „Kommission Bodenschutz beim Umweltbundesamt“: Bodenschutz beim Anbau nachwachsender Rohstoffe, Redaktion P. Dominik, 84 S., [www.umweltbundesamt.de/uba-info-medien/dateien/3472.html](http://www.umweltbundesamt.de/uba-info-medien/dateien/3472.html).

**KTBL:** Wirtschaftlichkeitsrechner Biogas, [daten.ktbl.de/biogas/startseite.do](http://daten.ktbl.de/biogas/startseite.do).

**VDLUFA STANDPUNKT HUMUSBILANZIERUNG (2004):** Methode zur Beurteilung und Bemessung der Humusversorgung von Ackerland: Körschens, M. (Hrsg.); Rogasik, J. (Mitarb.); Schulz, E. (Mitarb.); 12 S., Bonn; [www.vdlufa.de/joomla/Dokumente/Standpunkte/08-humusbilanzierung.pdf](http://www.vdlufa.de/joomla/Dokumente/Standpunkte/08-humusbilanzierung.pdf).

*Autor: Willms, M.  
(Leibnitz-Zentrum für Agrarlandschaftsforschung e. V.)*



### 3.8 Grundwasserschonender Biomasseanbau nach den Anforderungen der EG-Wasserrahmenrichtlinie (EG-WRRL)

#### Vorgaben der EG-Wasserrahmenrichtlinie (EG-WRRL)

Stickstoffauswaschung und erhöhte Nitratkonzentration im Sickerwasser unter landwirtschaftlich genutzten Flächen war bisher ein Thema, das sich weitgehend auf Wasserschutzgebiete beschränkte. Seit in Kraft treten der EG-Wasserrahmenrichtlinie 2000/60/EG (EG-WRRL) besteht ein gemeinsamer Ordnungsrahmen für die europäische Wasserpolitik. Ziel der Richtlinie ist die Erreichung bzw. der Erhalt eines guten Zustandes des Grundwassers und der Oberflächengewässer (Flüsse, Bäche, Seen) einschließlich Küsten- und Übergangsgewässer bis Ende 2015. Dies bedeutet:

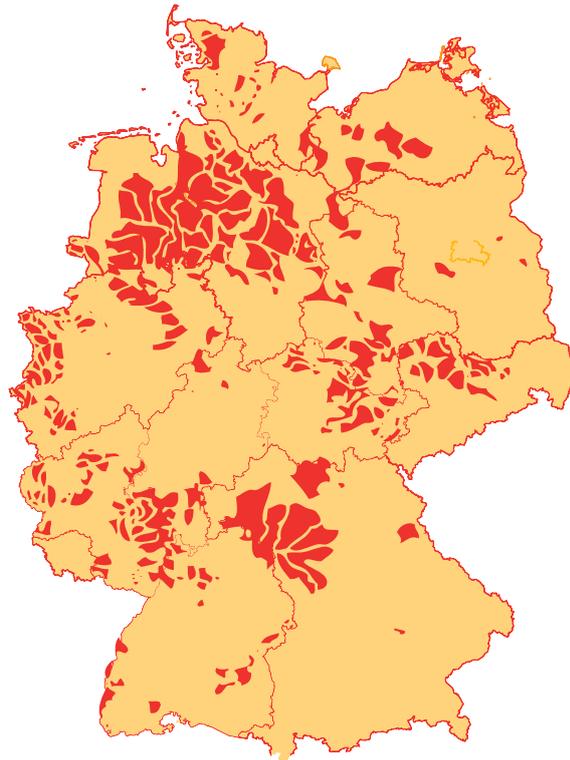
- Für das Grundwasser die Erreichung eines guten mengenmäßigen und chemischen Zustandes, für Nitrat die Einhaltung des Grenzwertes 50 mg Nitrat/Liter.
- Für die oberirdischen Gewässer die Erreichung eines guten ökologischen und chemischen Zustandes. Hier kommt der Verminderung von Phosphateinträgen durch Bodenabtrag (Erosion) sowie der Vermeidung von Pflanzenschutzmitteleinträgen in die Gewässer besondere Bedeutung zu.

Alle Oberflächengewässer und das Grundwasser sollen geschützt und bei Bedarf saniert werden. Eine Verschlechterung des Zustandes für alle Gewässer ist zu verhindern.

Insgesamt wurden 38 % der deutschen Grundwasserkörper als in „schlechtem Zustand“ befindlich eingestuft. Dieser wird im Wesentlichen verursacht durch chemische Belastungen aus diffusen (flächenhaften) Nährstoffeinträgen, insbesondere Nitrat aus der landwirtschaftlichen Nutzung (Wasserblick, 2010). Maßnahmenprogramme zur Erreichung der Grund- und Oberflächengewässerziele befinden sich derzeit in der Umsetzung. Eine Verbesserung des Zustandes ist bis zum Jahr 2015 bzw. nach Verlängerung bis 2027 anzustreben.

Eine grundwasserschutzorientierte Flächennutzung ist somit zu einer Herausforderung geworden, der sich nicht nur landwirtschaftliche Betriebe in Wasserschutzgebieten, sondern alle landwirtschaftlichen Betriebe stellen müssen.

Die folgende Karte zeigt eine Übersicht der Einstufung des chemischen Zustandes (Nitrat) der Grundwasserkörper in Deutschland.



- Guter chemischer Zustand (Nitrat)
- Schlechter chemischer Zustand (Nitrat)

Quelle: Dr. von Buttlar (IGLU)

Abb. 57: Chemischer Zustand der Grundwasserkörper in Deutschland – Nitrat

#### Risiken für den Wasserschutz vermeiden

Der Energiepflanzenanbau sollte wie auch der konventionelle Marktfrucht- und Futterbau so erfolgen, dass eine Nitratauswaschung in das Grundwasser vermieden wird. Risiken im Energiepflanzenanbau können z. B. dann entstehen, wenn extensivere Kulturen durch intensiv geführte Maisbestände verdrängt werden. Mais ist als N-effiziente Kultur mit hohem Ertragspotenzial, guter Vergärbarkeit, hoher Wassernutzungseffizienz und hoher Wirtschaftlichkeit bekannt. Allerdings zeigen sich gerade nach Mais häufig erhöhte Herbst- $N_{\min}$ -Werte, bzw. Nitratgehalte im Sickerwasser. Diese sind u. a. auf die stark humuszehrende Kulturpflanze und auf eine wirtschaftsdüngerbetonte Düngung zurückzuführen. Ein verstärkter Gärresteinsatz trägt nicht nur zum Humusaufbau und einer verbesserten Bodenstruktur bei, sondern geht mit einer steigenden und schwer kalkulierbaren N-Freisetzung und somit steigendem N-Auswaschungsrisiko einher.

## MASSNAHMEN ZUM WASSERSCHUTZOPTIMIERTEN ENERGIEPFLANZENANBAU ERGREIFEN

### Betriebliche Voraussetzungen prüfen

Folgende betrieblichen Voraussetzungen für Anbau, Gärrestlagerung und Ausbringung sind Voraussetzungen für eine grundwasserschonend ausgerichtete Energiepflanzenenergieerzeugung:

- Ausreichende Flächenverfügbarkeit für die Beibehaltung von stabilen, regional angepassten Fruchtfolgen mit einem angepassten, entzugsorientierten Düngeneiveau. Auch Grünlandumbrüche zur Schaffung von Anbaufläche sollten vermieden werden, da sie mit hohen N-Mineralisationsschüben einhergehen.
- Bereitstellung von ausreichend Lagerraum um pflanzenbedarfsgerecht, vorzugsweise im Frühjahr düngen zu können. Dies ist bei Einhaltung der nach DüV gesetzlich vorgeschriebenen 6 Monate Lagerraum nicht immer möglich. In Abhängigkeit von den Anbauverhältnissen werden aus Wasserschutzsicht bis zu 9 Monate Lagererraum empfohlen (DWA 2010).
- Umsetzung der gesetzlichen Vorgaben zum Einsatz emissionsarmer, bodennaher Ausbringungstechniken mit direkter Einarbeitung. Eine Vermeidung der Emission des im Vergleich zu Gülle höheren Ammonium-N-Anteils von Gärresten ermöglicht auch eine bessere Anrechnung des organischen N in der Düngplanung.

### Anbaumaßnahmen ergreifen

Durch gezielte Anbaukonzepte und Fruchtfolgegestaltungen bestehen auch im Energiepflanzenanbau weitreichende Möglichkeiten zur Minderung des Nitrat-Auswaschungsrisikos. Beim Anbau von Biogassubstraten steht dabei die Optimierung von Mais dominierten Fruchtfolgen und Gärreinstatz im Vordergrund. Folgende Maßnahmen haben sich in der Vergangenheit in Wasserschutzgebieten bewährt und kommen somit grundsätzlich auch für eine grundwasserschonende Optimierung von Energiepflanzenfruchtfolgen in Frage:

- Fruchtartenwechsel durch Integration von Kulturen mit geringem N-Verlagerungsrisiko wie Roggen und Zuckerrüben. Für neue Energiepflanzen wie Sorghum und Sonnenblumen wird gegenwärtig eine mögliche Wasserschutzleistung noch untersucht.
- Anbau von Gräseruntersaaten, insbesondere bei spät geerntetem Mais. Umbruch möglichst erst im folgenden Frühjahr.
- Anbau von Winterzwischenfrüchten, insbesondere nach früh räumenden Kulturen wie Getreide-GPS oder nach früh geerntetem Mais (vor 15.9.).
- Reduzierte Bodenbearbeitung, dadurch Minderung von N-Mineralisationsschüben insbesondere im Herbst sowie Vermeidung von oberflächlichen Boden-Stoffausträgen.
- Grundwasserschonende Effekte lassen sich in Zukunft auch beim Anbau von Dauerkulturen wie der Durchwachsenen Silphie, die sich durch einen geringen N-Bedarf und ein hohes Ertragspotenzial auszeichnet, erwarten.

## MÖGLICHE ANBAUMASSNAHMEN ZUM WASSERSCHUTZOPTIMIERTEN ENERGIEPFLANZENANBAU



Untersaaten in Mais binden Stickstoff, mindern Erosion und Bodenverdichtung



Zwischenfrüchte ermöglichen ganzjährige Bodenbedeckung und N-Fixierung über Winter



Roggen eignet sich als Gesundungsfrucht mit geringem N-Bedarf zur Fruchtfolgeauflockerung



Mulchsaattechnik mindern Mineralisationsschübe und N-Austräge

Quelle: Dr. von Buttlar (IGLU Göttingen)



Einsatz der  $N_{min}$ -Methode zur Bestimmung des verfügbaren Bodenstickstoffes



Vegetationsbegleitende Untersuchung des Versorgungszustandes, z. B. durch Nitratecheck



Emissionsarme Gärrestausbringung nach Untersuchung des N-Gehaltes



Bestimmung des Rohproteins als Basis der Düngung

Quelle: Dr. von Buttlar (IGLU Göttingen)

### Düngung optimieren

Ziel einer optimierten Düngesteuerung ist es, die Stickstoffdüngung im gesamten Vegetationsverlauf möglichst optimal am Bedarf der Kulturen auszurichten und N-Überschüsse nach der Ernte und im Herbst zu vermeiden. Hier kann auf verschiedene Instrumente zurückgegriffen werden, zum Beispiel:

- Bereits bei der Düngplanung sollte auf Basis des Bedarfes der Kulturen, der Ertragserwartungen und des Gärrestaufkommens eine realistische Berechnung des erforderlichen Düngezukaufs erfolgen.
- Einhaltung der 170 kg N/ha-Grenze für die Wirtschaftsdüngerenausbringung. Hier sollten über die derzeitigen Forderungen der DüV hinaus neben tierischen auch pflanzliche organische Gärreste mit in die Berechnung einbezogen werden.
- Die richtige Bemessung der Ausbringungsmengen von Gärresten setzt die Kenntnis der Inhaltsstoffe voraus. Regelmäßige Gärrestanalysen vor der Ausbringung geben hier Aufschluss.
- Zu Vegetationsbeginn sollte der zur Verfügung stehende bodenbürtige Stickstoff ( $N_{min}$ ) durch eine Bodenbeprobung analysiert und bei der Berechnung des Düngedarfs in Ansatz gebracht werden. Bei Mais bietet sich auch das sog. „Späte  $N_{min}$ “ an. Der Beprobungstermin bis zum Reihenschluss des Mais berücksichtigt hier schon die Bodenmineralisation zwischen Aussaat und zweiter Düngegabe.

- Bei Mais wird durch eine Teilung der Düngegabe die Möglichkeit einer Nachdüngung in Abhängigkeit von der Bodenversorgung ( $N_{min}$  vor zweiter N-Gabe) bzw. der Pflanzenversorgung (z. B. Nitratecheck) geschaffen. Hierdurch wird eine verminderte N-Düngung und ein Abbau von N-Überschüssen angestrebt.
- Weitere Maßnahmen wie z. B. die Messung des kritischen Rohproteingehaltes in der Maissilage oder auch die teilflächenspezifische Bewirtschaftung lassen eine Steigerung der Effizienz im Umgang mit Stickstoff erwarten, befinden sich aber noch in der Erprobungsphase.

### Bewertung des Grundwasserschutzfolges

Zur Bewertung des Grundwasserschutzfolges von Anbaumaßnahmen stehen mehrere Möglichkeiten zur Verfügung. Geeignet ist z. B. die Untersuchung des Rest-N-Gehaltes im Boden vor Winter (Herbst  $N_{min}$ -Wert) sowie die Berechnung des N-Flächenbilanzsaldos. Bei der Bewertung der Ergebnisse wird berücksichtigt, dass neben der eigentlichen Anbaumaßnahme auch der jeweilige Standort (Bodenart, Humusgehalt, langjährige organische Düngung) und das Klima im Anbaujahr einen Einfluss auf das Ergebnis haben.

### Literatur

Berichtsportal WasserBlick/BfG, Stand 22.3.2010.

Autorin: von Buttlar, C.

(Ingenieurgesellschaft für Landwirtschaft und Umwelt)

## 4 SILIERUNG UND GAS AUSBEUTEN

Für die Biogasproduktion geeignete Fruchtarten zeichnen sich sowohl durch eine gute Silierbarkeit als auch durch möglichst hohe, auf den Inhaltsstoffen basierende spezifische Methanbildungspotenziale aus.

### Siliereignung

Die Eignung eines Pflanzenmaterials für die Silierung wird als „Vergärbarkeit“ bezeichnet. Eine gute Vergärbarkeit liegt bei ausreichend hohem Trockenmasse- und Zuckergehalt im Pflanzenmaterial bei gleichzeitig geringer Pufferkapazität (Widerstand gegen die Säuerung) vor.

Mais, Getreide und Grasmischungen werden zu den mittelschwer bis leicht silierbaren Pflanzen gezählt. Pflanzen, die dagegen zum Zeitpunkt der Einsilierung einen sehr geringen Trockenmassegehalt haben, sind als schwer silierbar einzuordnen. Dazu zählt Sorghum, wobei zuckerreiche Sorghumarten eine bessere Vergärbarkeit aufwiesen als Varianten mit geringen Zuckergehalten. Weiterhin wurden nicht oder nur wenig angewelkter Grünschnittroggen, Luzernegrasmischungen sowie Sonnenblumen aufgrund hoher Pufferkapazitäten und geringer Trockenmassegehalte zur Ernte als schwer silierbar bewertet. Zur Verbesserung des Gärverlaufes können Siliermittel verwendet werden (Siliermittel der Wirkrichtung 1).

Zusammenfassend können zur Silierung folgende Empfehlungen gegeben werden:

- Vermeidung des Eintrags von Verschmutzungen
- zügige Einlagerung des ausreichend kurz gehäckselten Gutes
- ausreichend hohe Verdichtung des Materials:
- Gras: 20 % TM: 160 kg TM/m<sup>3</sup>, 40 % TM (angewelkt): 225 kg TM/m<sup>3</sup>
- Mais: 28 % TM: 225 kg TM/m<sup>3</sup>, 33 % TM: 265 kg TM/m<sup>3</sup>
- 2–3 Traktorminuten/t zum Festfahren
- wirkungsvolle Verhinderung des Luftzutritts durch sorgfältiges Abdecken
- Zusätze sind auch bei Silagen für die Biogasproduktion zur Sicherung bzw. Verbesserung der Silagequalität einzusetzen
- Einsatz von Siliermitteln zur Verbesserung des Gärverlaufes bei schwer silierbaren Erntegütern
- Einsatz von Siliermitteln zur Verbesserung der aeroben Stabilität vor allem bei trockenmasse-, restzucker- und energiereichen Silagen
- glatte Anschnittflächen anstreben (Blockschneider, Fräsen)
- große Anschnittflächen vermeiden
- Anschnittflächen abdecken
- Vorschub: mindestens 2,5 m/Woche im Sommer und 1,5 m/Woche im Winter
- Mindestlagerdauer: 4 bis 6 Wochen
- Gut konservierte Silagen können unter strikt anaeroben Bedingungen auch deutlich länger ohne Verringerung der Methanausbeuten gelagert werden (mindestens ein Jahr)

TABELLE 23: SILIEREIGNUNG VERSCHIEDENER FRUCHTARTEN AUS DEN FRUCHTFOLGEN DES VERBUNDPROJEKTES „EVA“ (MITTELWERTE DER PROBEN AUS DEN FRUCHTFOLGEVERSUCHEN)

Pflanzenart	BBCH	TM-Gehalt (%)	mittelschwer bis leicht silierbar; TM > 35 %	mittelschwer bis leicht silierbar; TM < 35 %	schwer silierbar
Wintertriticale	71–83	40,2	x		
Hafer	77–83	40,7	x		
Sommergerste	83–85	38,9	x		
Sommerroggen	83–85	42,7	x		
Grasmischung		28,6		x	
Mais	83–87	28,4		x	
Topinamburkraut	39–61	29,6		x	
Sorghum	77–85	24,8			x
Grünschnittroggen	51–59	25,4			x
Luzerne/Gras	41–60	20,1			x
Sonnenblume	83	19,0			x

## Methanausbeuten

Die chemische Zusammensetzung eines Pflanzenmaterials zur Ernte beeinflusst wesentlich das Methanbildungspotenzial in der Biogasanlage. Insbesondere der Ligninanteil bzw. der Anteil an Lignin und Cellulose bestimmen die Höhe der Methanausbeute. Hohe Methanausbeuten werden von Fruchtarten mit geringen Ligningehalten, wie Mais, Ackergrasmischungen und verschiedenen Getreide-Ganzpflanzensilagen (GPS) erzielt, während Fruchtarten mit hohen Ligninanteilen, wie Miscanthus und Topinamburkraut um bis zu 45 % geringere Methanausbeuten aufweisen. Die in Abbildung 58 gezeigten, in Batch-Versuchen ermittelten Methanausbeuten entsprechen in ihrer absoluten Höhe nicht den Werten durchschnittlicher Anlagen, für einen relativen Vergleich der Höhe der Ausbeuten sind sie aber zweckmäßig.

Der Effekt der Fruchtart auf die Substratzusammensetzung und Methanausbeute wird von einer Reihe weiterer Einflussfaktoren überlagert. Dazu zählen neben der Fruchtart auch Standort und Witterungsbedingungen, Anbaubedingungen, Sorte, Erntetermin und Konservierungserfolg.

Die Ernte sollte zum optimalen Zeitpunkt bei Trockenmassegehalten zwischen 28 % und 35 %, bei Gras und Getreide-GPS zwischen 30 % und 40 % erfolgen. Bei geringeren Trockenmassegehalten ist, wenn möglich, ein Anwelken zu empfehlen. Extreme Welkgrade sind jedoch zu vermeiden. Je kleiner die Häcksellänge, desto höher die Methanausbeute, aber auch der Energieaufwand bei der Ernte! Bei Mais und Getreide-GPS sind 6–8 mm und gleichmäßige Zerkleinerung anzustreben, ggf. der Einsatz von Corn-Crackern, bei Gras Längen von <40 mm.

Autoren: Herrmann, C. (Leibnitz-Institut für Agrartechnik Bornim); Heiermann, M. (Leibnitz-Institut für Agrartechnik Bornim); Idler, C. (Leibnitz-Institut für Agrartechnik Bornim)

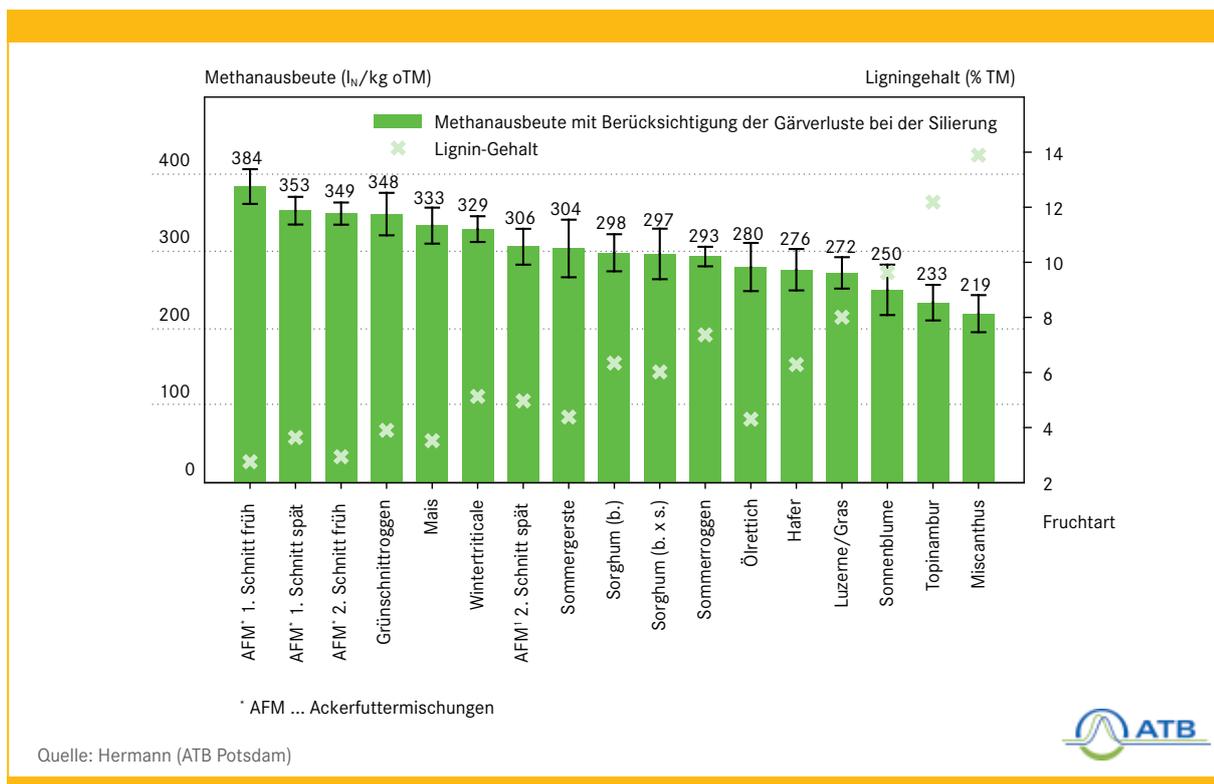


Abb. 58: Methanausbeuten und Ligningehalte verschiedener Fruchtarten aus den Fruchtfolgen des EVA-Verbundprojektes (Mittelwerte und Standardabweichungen)

## 5 ÖKONOMIE DES ENERGIEPFLANZENANBAUS

Neben den Trockenmasse-Erträgen hängt der wirtschaftliche Erfolg der Energiepflanzenproduktion für die Biogaserzeugung in erster Linie von den Produktionskosten sowie den wertbestimmenden Substrateigenschaften, insbesondere der Methanausbeute, ab. Aufgrund des hohen Anteils der Transportkosten für Substrate und Gärreste werden auch die Produktionskosten in starkem Maße von den Produkteigenschaften, insbesondere dem Trockenmassegehalt, bestimmt. Eine alleinige Ausrichtung am Ertrag ist daher aus ökonomischer Sicht unzureichend: Für eine optimale Verwertung des knappen Faktors Fläche gilt es, sowohl Leistungen als auch Kosten im Blick zu haben.

Das entsprechende Vergleichskriterium in Planungsrechnungen ist der Deckungsbeitrag pro ha, der als Differenz der entscheidungsabhängigen Leistungen und Kosten ermittelt wird. Die im EVA-Projekt einheitlich verwendete Definition des Deckungsbeitrags ist vergleichbar mit der nach DLG-Betriebszweigabrechnung für Nachkalkulationen üblichen Definition der Direkt- und Arbeiterledigungskosten freien Leistungen (DAFL). Die mit Produktpreisen multiplizierten Naturalerträge sind als variable Leistungen beim Vergleich von Anbausystemen zu berücksichtigen. Demgegenüber sind entkoppelte Flächenprämien fixe Leistungen, die sich

nicht in Abhängigkeit vom Anbausystem unterscheiden. Sie werden im hier gezeigten Deckungsbeitrag nicht erfasst. Da insbesondere für die selteneren Biogassubstrate keine vergleichbaren Marktpreise existieren, wird zur Berechnung der Leistungen der Methanhektarertrag mit einem einheitlichen Preis pro m<sup>3</sup> Methan multipliziert. Dieser wurde aus der Methanausbeute von Silomais und einem Preis in Höhe von 33 €/t FM (bei einem TM-Gehalt von 35 %) für Silomais abgeleitet und beträgt 0,31 €/m<sup>3</sup> CH<sub>4</sub>.

Die variablen Kosten umfassen sämtliche Werkstoff- und Arbeiterledigungskosten. Werkstoffkosten sind bspw. die Kosten für Saatgut, Düngemittel und Pflanzenschutzmittel. Bei der Ermittlung der Kosten für mineralische Düngemittel wird angenommen, dass die Nährstoffe P und K vollständig aus den Gärresten angerechnet werden. Für die Berechnung der Kosten für die mineralische Stickstoffdüngung wird stark vereinfachend unterstellt, dass unabhängig von den Standorteigenschaften und Fruchtarten 50 % der mit dem Erntegut abgefahrenen Stickstoffmenge mineralisch zugeführt werden muss (Empfehlungen zur optimalen Bemessung der Düngung mit Gärresten siehe Kap. 3.6). Die Arbeiterledigungskosten umfassen sämtliche Maschinenkosten (Reparaturen, Abschreibungen und Kapitalkosten)

**TABELLE 25: ZUSAMMENFASSENDE VERGLEICH DER KOSTEN UND LEISTUNGEN DES ANBAUS VON BIOGAS-SUBSTRATEN IN HAUPTFRUCHTSTELLUNG FÜR DIE REGION DER VERWITTERUNGSBÖDEN DER VOR- UND MITTELGEBIRGSLAGEN**

Fruchtart		Mais			S. bicolor x S. sudanese			S. bicolor			W.-Roggen			
Jahresbedingungen		Y <sub>min</sub>	Y <sub>norm</sub>	Y <sub>max</sub>	Y <sub>min</sub>	Y <sub>norm</sub>	Y <sub>max</sub>	Y <sub>min</sub>	Y <sub>norm</sub>	Y <sub>max</sub>	Y <sub>min</sub>	Y <sub>norm</sub>	Y <sub>max</sub>	
Erträge	dt TM/ha	140,0	178,3	215,0	81,7	125,0	155,0	83,9	139,6	163,7	84,5	111,9	144,2	
	m <sup>3</sup> CH <sub>4</sub>	3.956	5.038	6.075	1.925	2.945	3.651	1.977	3.288	3.856	2.173	2.877	3.707	
Leistung	€/ha	1.226	1.562	1.883	597	913	1.132	613	1.019	1.195	674	892	1.149	
<b>Produktionskosten</b>														
Saatgut	€/ha	176	176	176	46	46	46	83	83	83	47	47	47	
Etablierungskosten	€/ha	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
PSM	€/ha	68	68	68	26	26	26	26	26	26	21	21	21	
Düngung	€/ha	338	338	338	319	319	319	319	319	319	323	323	323	
Arbeiterledigung	€/ha	580	646	710	512	615	686	567	732	803	499	557	624	
dav. Ernte	€/ha	136	173	209	103	158	195	130	216	254	95	126	163	
dav. Gärrestausbr.	€/ha	106	136	163	91	139	172	118	197	231	81	107	138	
Produktionskosten gesamt	€/ha	939	1.037	1.130	660	802	901	756	974	1.069	620	695	783	
	€/m <sup>3</sup> CH <sub>4</sub>	0,24	0,21	0,19	0,34	0,27	0,25	0,38	0,30	0,28	0,29	0,24	0,21	
Deckungsbeiträge		287	525	753	-63	111	231	-143	45	127	53	197	367	

und Arbeitskosten. Bei mehrjährigen Anbausystemen werden sowohl die Kosten für Saatgut als auch die Kosten für die Grundbodenbearbeitung, Saatbettbereitung und die Aussaat auf die Hauptnutzungsjahre umgelegt und in unten gezeigter Tabelle als Etablierungskosten ausgewiesen. Die Flächenkosten (Pachtzins, Pachtansatz, Grundsteuern) werden im Deckungsbeitrag nicht erfasst, weil sie unabhängig vom Anbausystem anfallen und daher keine Auswirkungen auf die Ermittlung der bestmöglichen Flächennutzung haben.

Beim ökonomischen Vergleich von Anbausystemen müssen die Gegebenheiten eines landwirtschaftlichen Unternehmens berücksichtigt werden. Insbesondere die mittlere Feldstückgröße und die Hof-Feld-Entfernung sowie die verfügbaren Arbeitskräfte und die Maschinenausstattung eines Betriebes sind wichtige Faktoren, die die Wettbewerbsfähigkeit unterschiedlicher Anbausysteme von Energiepflanzen beeinflussen. Die dargestellten Ergebnisse basieren auf den folgenden Annahmen:

Zur Berechnung der Arbeits- und Maschinenkosten wurde die Online-Datenbank „Feldarbeitsrechner“ des KTBL verwendet (vgl. [www.ktbl.de](http://www.ktbl.de) → kalkulationsdaten), wobei eine mittlere Feldstückgröße von 10 ha und eine mittlere Hof-Feld-Entfernung von 5 km unterstellt wurden. Für die Berechnung der Maschinenkosten und der benötigten

Arbeitszeit wurde als Leitmechanisierung ein Traktor mit 120 kW angenommen. Die Faktorpreise wurden über den Index der Einkaufspreise landwirtschaftlicher Betriebsmittel des Statistischen Bundesamtes hergeleitet. Für die Auswertung wurde das dreijährige Mittel der Jahre 2007 bis 2009 verwendet. Die wichtigsten Faktor- und Produktpreise, die den weiteren Auswertungen zu Grunde liegen, sind in Tabelle 24 dargestellt.

**TABELLE 24: ANNAHMEN BEI DER BERECHNUNG DER KOSTEN UND LEISTUNGEN**

Bezeichnung	Einheit	Preis
Lohn	€/Akh	15
Diesel	€/l	1,03
Zinssatz	%	5
Winterweizen	€/t	159,7
Methan	€/m <sup>3</sup>	0,31
N	€/t	1.299
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	€/t	1.359
K <sub>2</sub> O	€/t	574

#### Deckungsbeiträge der Energiepflanzenerzeugung

Regionaltypische Erträge (Y) unterschiedlicher Anbausysteme von Energiepflanzen wurden für die Region der Verwitterungsböden der Vor- und Mittelgebirgslagen anhand einer Expertenbefragung bestimmt und validiert. Die Werte, die jeweils für ungünstige (Y<sub>min</sub>), normale (Y<sub>norm</sub>) und günstige Jahresbedingungen (Y<sub>max</sub>) ermittelt wurden zeigen die Spannweite der Erträge, die beim Anbau der jeweiligen Kulturen zu erwarten ist. Da die Produktionskosten nur in geringem Maße den Erträgen angepasst werden können, schwanken die Deckungsbeiträge deutlich stärker als die Trockenmasse-Erträge (Vgl. Tab. 25).

Die höchsten Erträge der in Hauptfruchtstellung angebauten Anbausysteme werden in sämtlichen Witterungsszenarien mit dem Anbau von Silomais erzielt, was die besondere Bedeutung des Maisanbaus in dieser Region unterstreicht. Die zweithöchsten TM-Erträge werden unter ungünstigen Witterungsbedingungen mit dem Anbau von Klee gras erzielt und unter normalen und günstigen Witterungsbedingungen mit dem Anbau von *S. bicolor*. Aufgrund der unterschiedlichen Methanausbeuten ist die Differenz der Methanhektarerträge zwischen Mais und der jeweils zweitbesten Alternative noch größer als die Differenz der TM-Erträge. Dies wirkt sich auch auf die variablen Produktionskosten pro m<sup>3</sup> Methan aus. Betragen diese für den Mais in Abhängigkeit von der Witterung zwischen 19 und 24 Ct/m<sup>3</sup> CH<sub>4</sub>, werden die zweitniedrigsten Kosten nicht mit dem Anbau von *S. bicolor* (38–28 Ct/m<sup>3</sup> CH<sub>4</sub>) sondern mit dem Anbau von Klee gras erreicht (20–25 Ct/m<sup>3</sup> CH<sub>4</sub>). Unter günstigen Witterungsbedingungen ist Wintertriticale

	W.-Triticale			Klee gras		
	Y <sub>min</sub>	Y <sub>norm</sub>	Y <sub>max</sub>	Y <sub>min</sub>	Y <sub>norm</sub>	Y <sub>max</sub>
	83,9	111,1	145,8	96,5	123,4	149,5
	2.442	3.233	4.243	2.790	3.568	4.321
	757	1.002	1.315	865	1.106	1.339
	65	65	65	0	0	0
	0	0	0	90	90	90
	29	29	29	0	0	0
	324	324	324	323	323	323
	497	553	624	561	627	691
	95	126	165	159	204	247
	78	103	136	78	100	121
	664	744	846	692	770	845
	0,27	0,23	0,20	0,25	0,22	0,20
	92	258	469	173	337	495



in Bezug auf die Produktionskosten mit  $20 \text{ Ct/m}^3 \text{ CH}_4$  dem Klee gras ebenbürtig. Die Kombination von hohen Methanhektarerträgen und geringen Produktionskosten spiegelt sich in den Deckungsbeiträgen wieder. Mit dem Anbau von Mais wird unter sämtlichen Witterungsbedingungen der höchste Deckungsbeitrag erzielt. Die zweithöchsten Deckungsbeiträge werden für den Anbau von Klee gras ausgewiesen.

Die Zwei-Kultur-Nutzungen von Mais nach Roggen oder *S. bicolor* x *S. sudanense* nach Roggen erzielen zwar hohe Trockenmasse- und Methanhektarerträge, die Mehrerträge gegenüber dem Hauptfruchtanbau reichen jedoch nicht aus, um die zusätzlichen Produktionskosten zu kompensieren (vgl. Tab. 26). Selbst Mais nach Winterroggen als vorzüglichste Zwei-Kultur-Nutzungsoption ist nicht in der Lage Mais oder Klee gras im Hauptfruchtanbau zu übertreffen. Die Deckungsbeiträge der Zwei-Kultur-Nutzungen als Summe von Winterzwischenfrucht und Zweitfrucht sind deutlich geringer als die der Hauptfruchtssysteme und können selbst im Fall von günstigen Witterungsbedingungen für beide Kulturen keine bessere Verwertung der Nutzfläche zeigen. Aufgrund der hohen, ertragsunabhängigen Kosten der doppelten Bearbeitung (2 x Bodenbearbeitung, 2 x Aussaat, etc.) wirken sich bei den Doppelnutzungen ungünstigere Witterungsbedingungen zudem deutlich stärker auf die Deckungsbeiträge aus als bei den Hauptfruchtnutzungen.

Die Witterungsbedingungen eines Jahres sind nie für alle Kulturen in gleichem Maß gut oder schlecht. Bspw. können die Witterungsbedingungen aufgrund einer Frühjahrstrockenheit ungünstig für den Anbau von Getreide- Ganzpflanzensilage sein, ohne zu Ertragseinbußen beim Maisanbau zu führen. Geht man davon aus, dass die Ertragsbildung

unterschiedlicher Kulturen unabhängig voneinander ist, kann durch den Anbau von verschiedenen Substraten ein Beitrag zum Risikoausgleich erfolgen. Sowohl zu diesem Zweck, als auch zum Brechen von Arbeitsspitzen, der besseren Auslastung von Maschinen und Lagerkapazitäten usw. ist es notwendig zu wissen, welche Kulturen geeignete Ergänzungen oder Alternativen zum Silomais darstellen. In der hier gezeigten Region trifft dies in erster Linie für Getreide-Ganzpflanzensilage zu. Verstärkt wird die Notwendigkeit zum Anbau alternativer Substrate durch die Novellierung des EEG, die in § 27 (4) einen maximalen Anteil von Mais und Getreidekörnern als Substrate der Biogaserzeugung von 60 % für neu errichtete Biogasanlagen vorsieht. In der Region der Verwitterungsböden der Vor- und Mittelgebirgslagen stellt die Begrenzung des Maisanteils auf Grund der höheren Wirtschaftlichkeit von Klee gras und Wintertriticale sowie der hohen Gülleverfügbarkeit keine wesentliche Einschränkung dar. Es ist zu erwarten, dass bei Neuanlagen vermehrt Klee gras und Triticale-GPS als Ergänzung zur Maissilage eingesetzt wird.

#### **Zum Pachtpreisniveau in der Region**

Die Pachtpreise in der Region erreichen für Ackerland bis zu 1.000 €/ha (durchschnittlich ca. 500 €/ha). Durch den Anbau von Energiepflanzen ist ein weiterer Anstieg des Pachtpreisniveaus wahrscheinlich. Bei steigendem Pachtpreisniveau wird häufig die Frage gestellt, ob Anbausysteme, mit denen ein höherer Methanhektarertrag realisiert wird, vorzüglicher sind als jene, die nur einen geringen Methanhektarertrag erzielen aber aufgrund geringer Produktionskosten einen höheren Deckungsbeitrag pro ha liefern. Mit anderen Worten, es wird häufig gefragt, ob der Deckungsbeitrag pro ha, in dem die Flächenkosten nicht berücksichtigt werden, die richtige Vergleichsgröße darstellt.

Der in der Berechnung des Deckungsbeitrags von Silomais verwendete Preis in Höhe von 33 €/t FM frei Hof in der Ernte entspricht einem marktüblichen Preis. Für den Vergleich ist nicht relevant, ob der Erzeuger der Energiepflanzen gleichzeitig der Biogasanlagenbetreiber ist, oder ob er diese verkauft. Das Ziel der Energiepflanzenerzeugung ist die beste Verwertung der Nutzfläche, das entsprechende Vergleichskriterium ist der Deckungsbeitrag. Das gleiche gilt für den Biogasanlagenbetreiber. In der Berechnung wird angenommen, dass dieser den Silomais mit einem marktüblichen Preis bewertet. Dafür ist es unerheblich, ob er diesen von einem anderen Landwirt kauft, oder ob die Bewertung nur der internen Verrechnung dient. Solange er die Möglichkeit hat, Substrate von anderen Landwirten zu kaufen wird er auch auf seinen Flächen keine Anbausysteme durchführen, die eine geringe Flächenverwertung erzielen. Zu einem anderen Ergebnis führt der Vergleich nur, wenn der Anlagenbetreiber für zusätzliche Substrate einen höheren Preis zahlen muss, was bspw. der Fall sein könnte, wenn die Substrate auf weiter von der Biogasanlage entfernten Flächen angebaut werden müssen.

Da die zu erwartenden Deckungsbeiträge sämtlicher Anbausysteme niedriger sind als die oben gezeigten Flächenkos-

ten abzüglich der Flächenprämie, ist auch das Pachten von weiteren Flächen die schlechtere Option als der Zukauf von Substraten. Ob sich das Pachten von zusätzlichen Flächen für einen Betrieb lohnt, kann aber letztlich nur im Einzelfall berechnet werden, da die betrieblichen Gegebenheiten bei der Berechnung des Deckungsbeitrags berücksichtigt werden müssen. Allgemein ausgedrückt ist das Pachten zu oben gezeigten Preisen nur sinnvoll, wenn ein Betrieb mit dem Anbau von Energiepflanzen einen Deckungsbeitrag erzielen kann, der höher ist als die Flächenkosten abzüglich der Flächenprämien. Unter den in oben gezeigter Berechnung unterstellten Annahmen ist das Pachten von Flächen zu einem Pachtpreis von 1.000 €/ha daher erst ab einem Preis für Silomais frei Hof in der Ernte von ca. 40 €/t FM (entspricht ca. 45 €/t Silage nach Siliiverlusten) sinnvoll. Zu begründen sind die hohen Pachtpreise daher bei den derzeitigen Preisen nur, wenn die Betriebe Kapazitäten für die Bewirtschaftung vorhalten, also auf diese Weise die Auslastung ihrer Maschinen und Geräte erhöhen können oder wenn keine Möglichkeit besteht, Substrate von anderen Landwirten in räumlicher Nähe zu kaufen.

Autor: Kornatz, P. (Institut für Betriebslehre der Agrar- und Ernährungswirtschaft, JLU Gießen)

**TABELLE 26: ZUSAMMENFASSENDER VERGLEICH DER KOSTEN UND LEISTUNGEN DES ANBAUS VON ZWEIKULTURNUTZUNGEN FÜR DIE REGION DER VERWITTERUNGSBÖDEN DER VOR- UND MITTELGEBIRGSLAGEN**

Zwei-Kultur-Nutzung		Winterroggen-Mais						Winterroggen-S. bicolor x S. sudanense						
		Winterroggen (WZF)			Mais (Zweitfrucht)			Winterroggen (WZF)			S. bicolor x S. sudanense			
Jahresbedingungen		Y <sub>min</sub>	Y <sub>norm</sub>	Y <sub>max</sub>	Y <sub>min</sub>	Y <sub>norm</sub>	Y <sub>max</sub>	Y <sub>min</sub>	Y <sub>norm</sub>	Y <sub>max</sub>	Y <sub>min</sub>	Y <sub>norm</sub>	Y <sub>max</sub>	
Erträge	dt TM/ha	41,3	57,5	69,7	103,4	134,3	162,4	51,5	75,9	94,5	80,8	120,2	146,3	
	m <sup>3</sup> CH <sub>4</sub>	1.182	1.648	1.995	2.922	3.796	4.589	1.474	2.173	2.706	1.924	2.864	3.485	
Leistungen		€/ha	367	511	619	906	1.177	1.423	457	674	839	597	888	1.080
<b>Produktionskosten</b>														
Saatgut	€/ha	47	47	47	176	176	176	47	47	47	46	46	46	
Etablierungskosten	€/ha	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
PSM	€/ha	21	21	21	68	68	68	21	21	21	26	26	26	
Düngung	€/ha	52	72	87	87	113	136	64	95	118	73	108	132	
Arbeits erledigung	€/ha	428	469	500	465	518	567	453	515	563	458	552	614	
davon Ernte	€/ha	56	78	95	100	130	158	70	103	128	102	151	184	
davon Gärrestausbr.	€/ha	49	68	82	79	102	123	61	90	111	90	133	162	
Produktionskosten gesamt	€/ha	547	609	655	796	876	948	585	678	749	603	732	817	
	€/m <sup>3</sup> CH <sub>4</sub>	0,46	0,37	0,33	0,27	0,23	0,21	0,40	0,31	0,28	0,31	0,26	0,23	
Deckungsbeiträge			-180	-98	-36	110	301	475	-129	-4	90	-6	156	263

## 6 ANHANG

### Beratungsangebote und Adressen

**TFZ – Technologie- und Förderzentrum im  
Kompetenzzentrum für Nachwachsende Rohstoffe**  
Sachgebiet Rohstoffpflanzen und Stoffflüsse  
Schulgasse 18  
94315 Straubing  
Tel.: 09421/300-210 Fax: -211  
poststelle@tfz.bayern.de

**Bayerisches Staatsministerium für Ernährung,  
Landwirtschaft und Forsten**  
Ludwigstraße 2  
80539 München  
Tel.: 089/2182-0 Fax: -2677  
poststelle@stmelf.bayern.de

**C.A.R.M.E.N. e. V. im Kompetenzzentrum für  
Nachwachsende Rohstoffe**  
Schulgasse 18  
94315 Straubing  
Tel.: 09421/960-300 Fax: -333  
contact@carmen-ev.de

**Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL)  
Institut für Agrarökologie, Ökologischen Landbau  
und Bodenschutz**  
Lange Point 12  
85354 Freising  
Tel.: 08161/71-3640 Fax: -5848  
Agrarökologie@lfl.bayern.de

**Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung**  
Am Gereuth 8  
85354 Freising  
Tel.: 08161/71-3637 Fax: -4102  
Pflanzenbau@lfl.bayern.de

**Bayerische Landesanstalt für Weinbau und  
Gartenbau**  
An der Steige 15  
97209 Veitshöchheim  
Tel.: 0931/9801-0  
poststelle@lwg.bayern.de

**Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V., (FNR)**  
OT Gülzow, Hofplatz 1  
18276 Gülzow-Prüzen  
Tel.: 03843/6930-0  
Bioenergieberatung  
Tel.: 03843/6930-199 Fax: -102  
info@fnr.de

**Biogas Forum Bayern**  
Vöttinger Straße 36  
85354 Freising  
Tel.: 08161/713-460  
info.alb@lfl.bayern.de

**Arbeitsgemeinschaft Landtechnik und landwirt-  
schaftliches Bauwesen in Bayern e. V.**  
Vöttinger Straße 36  
85354 Freising  
Tel.: 08161/713-460  
info.alb@lfl.bayern.de

### Weiterführende Internetadressen

[www.tfz.bayern.de](http://www.tfz.bayern.de)  
[www.carmen-ev.de](http://www.carmen-ev.de)  
[www.stmelf.bayern.de](http://www.stmelf.bayern.de)  
[www.biogas-forum-bayern.de](http://www.biogas-forum-bayern.de)  
[www.eva-verbund.de](http://www.eva-verbund.de)  
[www.fnr.de](http://www.fnr.de) oder [www.nachwachsende-rohstoffe.de](http://www.nachwachsende-rohstoffe.de)  
[www.bioenergie-portal.info](http://www.bioenergie-portal.info)  
[www.unendlich-viel-energie.de](http://www.unendlich-viel-energie.de)  
[www.lfl.bayern.de](http://www.lfl.bayern.de)  
[www.alb-bayern.de](http://www.alb-bayern.de)

## Abbildungsverzeichnis

Abb. 1:	Boden-Klima-Räume 2007 für Deutschland (ROSSBERG ET AL., 2007)	7
Abb. 2:	Entwicklung der Maisanbauflächen in Abhängigkeit der Verwertungsrichtung von 1989–2009 in Bayern	8
Abb. 3:	Verlauf der Methanproduktion von Silomais in 30 Tagen im Fermenter (Batch-Versuch) Kolben, Rest- und Ganzpflanze (Mittelwert über 2 Sorten und 3 Erntetermine)	10
Abb. 4:	Unterschiede in der Kolbengröße und -ausreife zur Ernte in Abhängigkeit von der Reifezahl der Sorte	10
Abb. 5:	Beispiel einer Düngeempfehlung mit Gärresten zu Silomais (Einmalgabe)	11
Abb. 6:	Beispiel einer Düngeempfehlung mit Gärresten zu Silomais (geteilte Gabe)	12
Abb. 7:	Beispiel einer Düngeempfehlung zu Wintertriticale Ganzpflanzensilage	15
Abb. 8:	Schematischer Verlauf der Trockenmassebildung und des Trockensubstanzgehaltes von Getreide (Trockenmasse-Ertrag zur Druschreife = 100 %)	16
Abb. 9:	Vergleich der Erträge von Winterroggen- und Wickroggen-GPS in Aholting (Donauaue bei Straubing) und Ascha (Vorderer Bayerischer Wald)	22
Abb. 10:	Ergebnisse des Sortenversuches am Standort Straubing als einfache mehrjährige Mittelwerte (2007–2011)	25
Abb. 11:	Mischanbau der Futtersorghum Sorte Goliath mit der Körnersorghum Sorte Arbatax (links) im Vergleich zur Reinsaat der Sorte Goliath (rechts)	28
Abb. 12:	gut entblattete Biogas-Rübe	29
Abb. 13:	Ertragspotenzial mit Kopf, nach WOLLENWEBER ET AL. (2010)	30
Abb. 14:	Geerntete Rüben mit Microtopping-System	30
Abb. 15:	Blattbergung	31
Abb. 16:	Blattbergung	31
Abb. 17:	Verladung mit der „Maus“	31
Abb. 18:	RRL	31
Abb. 19:	KWS Rübenwäsche	32
Abb. 20:	Rübenwasch- und -schneidschaufel von Holaras (ohne Steintrennung)	32
Abb. 21:	Willibald-Schredder mit hoher Durchsatzleistung und „Steintoleranz“	33
Abb. 22:	Zerreißer mit hohem Durchsatz und direkt angeschlossener Pumpe, allerdings steinempfindlich	33
Abb. 23:	Holaras Häckselschaufel	33
Abb. 24:	vdw-Häckselschaufel	33
Abb. 25:	Übersicht über mögliche Wege der Rübensilierung	35
Abb. 26:	Einfluss der Pflanz- bzw. Saatzeit auf den TM-Ertrag von Durchwachsener Silphie im ersten Erntejahr, Versuchsstandort Dornburg 2010	37
Abb. 27:	Einfluss der Düngung auf den Ertrag von Durchwachsener Silphie, Versuchsstandort Dornburg 2009 bis 2011	38
Abb. 28:	TM-Erträge unterschiedlicher Herkünfte der Durchwachsenen Silphie in Abhängigkeit vom Standort, Versuchsstandorte Dornburg, Gülzow, Bingen und Heßberg, Mittel der Jahre 2008 bis 2010	39
Abb. 29:	TM-Erträge von Durchwachsener Silphie bei langjähriger Nutzungsdauer im Vergleich zu Silomais ‚Athletico‘, Versuchsstandort Dornburg 2005 bis 2011	39
Abb. 30:	Beispiel einer Düngeempfehlung zu Winterroggen Ganzpflanzensilage mit 2-schnittiger Weidelgras Untersaat	45
Abb. 31:	Trockenmasse-Ertrag von Deckfrucht (DF) Winterroggen und Untersaat Weidelgras (WD) zu 2 GPS-Erntezeitpunkten (Mitte Mai bzw. Anf. Juni) im Vergleich zum alleinigen GPS-Anbau und Hauptfruchtmais in Abhängigkeit vom Standort (Mittel 2007–2010)	47
Abb. 32:	Verteilung der Nutzungshäufigkeit des Grünlands in Bayern	54
Abb. 33:	Schätzungsweise werden bis zum Jahr 2020 rund 165.000–209.000 ha Grünland nicht mehr für die Versorgung der Raufutterfresser benötigt und stehen somit für eine alternative Verwertung zur Verfügung	55
Abb. 34:	Ertrag und Qualität des Substrates bestimmen dessen Biogaseignung	57
Abb. 35:	Von Malven und Sonnenblumen dominierter Bestand im ersten Standjahr	64
Abb. 36:	Bei der Praxistestmischung bilden im zweiten Standjahr heimische Wildstauden wie Rainfarn, Flockenblume und Wegwarte einen blütenreichen Pflanzenbestand	64
Abb. 37:	Aufsummierte Biomasseerträge der beiden ertragsstärksten Mischungen der Standorte Oldenburg, Würzburg und Miltenberg	65
Abb. 38:	Methanausbeute wichtiger ertragsbildender Arten der Praxismischung sowie von Silomais	65

Abb. 39:	Trockenmasse-Erträge von <i>Miscanthus x giganteus</i> der Aufwuchsjahre 1993 bis 2010 in Freising und Güntersleben je N-Düngestufe	67
Abb. 40:	Stoffliche, energetische und weitere Verwertungs- sowie Anwendungsmöglichkeiten für <i>Miscanthus x giganteus</i>	68
Abb. 41:	Trockenmasse-Erträge von <i>Miscanthus x giganteus</i> unter verschiedenen Schnittregimen (Var. 1 = Sommerschnitt 2006 + reguläre Ernte 2008; Var. 2 = Sommerschnitt 2006 und 2007; Var. 3 = reguläre Ernte 2007 und 2008)	68
Abb. 42:	Versuchsfläche am Standort Ascha	73
Abb. 43:	Aufsummierte Trockenmasse-Erträge der getesteten Fruchtfolgen am Standort Ascha der ersten (2005–2007) und zweiten (2006–2008) Versuchsanlage	75
Abb. 44:	Aufsummierte Trockenmasse-Erträge der getesteten Fruchtfolgen am Standort Ascha der dritten (Start 2009) und vierten (Start 2010) Versuchsanlage	75
Abb. 45:	Vergleich der Kornerträge aus den Anlagen I und II; dargestellt sind arithmetische Mittelwerte mit $n = 4$ und die jeweiligen Standardfehler	77
Abb. 46:	Vergleich zwischen den Trockenmasse-Erträgen der Winterkulturen aus den Erntejahren 2006 und 2007 am Versuchsstandort Aholting in Bayern, dargestellt sind die arithmetischen Mittelwerte mit $n = 4$ sowie die Standardfehler	88
Abb. 47:	Mais-Sorghum-Mischanbau	81
Abb. 48:	Trockenmasse-Erträge am Standort Aholting im Erntejahr 2010	81
Abb. 49:	Trockenmasse-Erträge der geprüften Fruchtfolgen im Vergleich der Intensitätsstufen in Anlage II und IV; unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Intensitätsstufen einer Fruchtfolge	89
Abb. 50:	N-Ertragskurven verschiedener organischer Dünger mit mineralischer Ergänzung	91
Abb. 51:	Beispiel eines Nährstoffkreislaufes	93
Abb. 52:	Bisherig erfasste, summierte Trockenmasse-Erträge innerhalb einer EVA-Fruchtfolge am Standort Ascha, Bayern	94
Abb. 53:	Ertragserwartungen und tatsächlich erzielte Trockenmasse-Erträge von Mais sowie gedüngte N-Mengen und $N_{min}$ -Werte nach Ernte am Standort Ascha, Bayern	96
Abb. 54:	Über 3 Versuchsjahre gemittelte Trockenmasse-Erträge von Mais und Weidelgras am Standort Ascha, Bayern	96
Abb. 55:	Kumulierte gasförmige $NH_3$ -Verluste (Dräger-Messung) nach Gärrestausbringung je N-Düngevariante zu Mais am Standort Ascha, Bayern	97
Abb. 56:	Humusbilanz unter Berücksichtigung mittlerer, minimaler und maximaler Erträge flachgründigen Standorte geringer bis mittlerer Bodengüte am Versuchsstandort Ascha, berechnet nach VDLUFA 2004	99
Abb. 57:	Chemischer Zustand der Grundwasserkörper in Deutschland – Nitrat	101
Abb. 58:	Methanausbeuten und Ligningehalte verschiedener Fruchtarten aus den Fruchtfolgen des Verbundprojektes (Mittelwert und Standardabweichung)	105

## Tabellenverzeichnis

Tab. 1:	Saattermine und mittlerer Eintritt der Siloreife von Wintergetreide in Bayern	14
Tab. 2:	Erträge, spezifische Methanausbeuten und experimentell bestimmte Methanerträge von Wintergetreide-GPS	17
Tab. 3:	Theoretische Methanerträge der wirtschaftlich bedeutenden Sorghumarten und Nutzungstypen	27
Tab. 4:	Ernteparameter im Mischanbau (Versuchsjahr 2010)	28
Tab. 5:	Gasertrag Zuckerrüben	34
Tab. 6:	Abfuhr von $P_2O_5$ , $K_2O$ und $MgO$ durch die Ernte	51
Tab. 7:	Stickstoffdüngung, Einsatz wirtschaftseigener Dünger	52
Tab. 8:	Geschätzte Nutzungsintensitäten und Netto-Erträge der Grünlandfläche in Bayern (2008) und ihre Eignung/Verfügbarkeit zur Biogaserzeugung	56
Tab. 9:	Ertrag, N-Aufnahme und Futterwert bei unterschiedlicher Bewirtschaftungsintensität einer weidelgrasreichen Wiese im Allgäuer Alpenvorland	56
Tab. 10:	Erträge u. Düngebedarf von Wiesen	57
Tab. 11:	Trockenmasse-Erträge und Trockensubstanzgehalte von acht Buchweizensorten zu zwei Saatterminen im Anbaujahr 2011	61
Tab. 12:	Inhaltsstoffe von Amarant (% in Trockensubstanz) nach der erweiterten Weender-Analyse	63
Tab. 13:	Übersicht zu Varianten, Sorten, Saatstärken und Düngung der getesteten Winterungen an den Standorten Ascha und Aholting	79
Tab. 14:	Saattermin, frühester Eintritt der Siloreife und mittlerer Trockenmasse-Ertrag bei beginnender Siloreife von Wintergetreide-GPS unter bayerischen Anbaubedingungen	84
Tab. 15:	Mittlere Trockenmasse-Erträge und Trockensubstanzgehalte ausgewählter Zweitfrüchte unter bayerischen Anbaubedingungen	85
Tab. 16:	Mittlere Trockenmasse-Erträge und Trockensubstanzgehalte von Amarant, Reismelde und Buchweizen am Versuchsstandort Straubing bzw. Mengkofen (Buchweizen)	85
Tab. 17:	Gegenüberstellung der mittleren Trockenmasse-Erträge in dt/ha von Mais und dem ZKNS (dreijährig)	86
Tab. 18:	Intensitätsstufen der getesteten Varianten	87
Tab. 19:	Analyse von Gärsubstraten (Praxisbetriebe)	90
Tab. 20:	Durchschnittliche Analyseergebnisse von separierten Gärresten	91
Tab. 21:	Humuswirkung nach Cross Compliance (CC) für Silomais	92
Tab. 22:	Analyse der in Ascha verwendeten Gärsubstrate	95
Tab. 23:	Siliereignung verschiedener Fruchtarten aus den Fruchtfolgen des Verbundprojektes „EVA“ (Mittelwerte der Proben aus den Fruchtfolgeversuchen)	104
Tab. 24:	Annahmen bei der Berechnung der Kosten und Leistungen	107
Tab. 25:	Zusammenfassender Vergleich der Kosten und Leistungen des Anbaus von Biogassubstraten in Hauptfruchtstellung für die Region der Verwitterungsböden der Vor- und Mittelgebirgslagen	106
Tab. 26:	Zusammenfassender Vergleich der Kosten und Leistungen des Anbaus von Zwei-Kultur-Nutzungen für die Region der Verwitterungsböden der Vor- und Mittelgebirgslagen	109



Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. (FNR)

OT Gülzow, Hofplatz 1

18276 Gülzow-Prüzen

Tel.: 03843/6930-0

Fax: 03843/6930-102

info@fnr.de

[www.nachwachsende-rohstoffe.de](http://www.nachwachsende-rohstoffe.de)

[www.fnr.de](http://www.fnr.de)

[www.energiepflanzen.info](http://www.energiepflanzen.info)

Gedruckt auf 100 % Recyclingpapier  
mit Farben auf Pflanzenölbasis

Bestell-Nr. 558

FNR 2012

