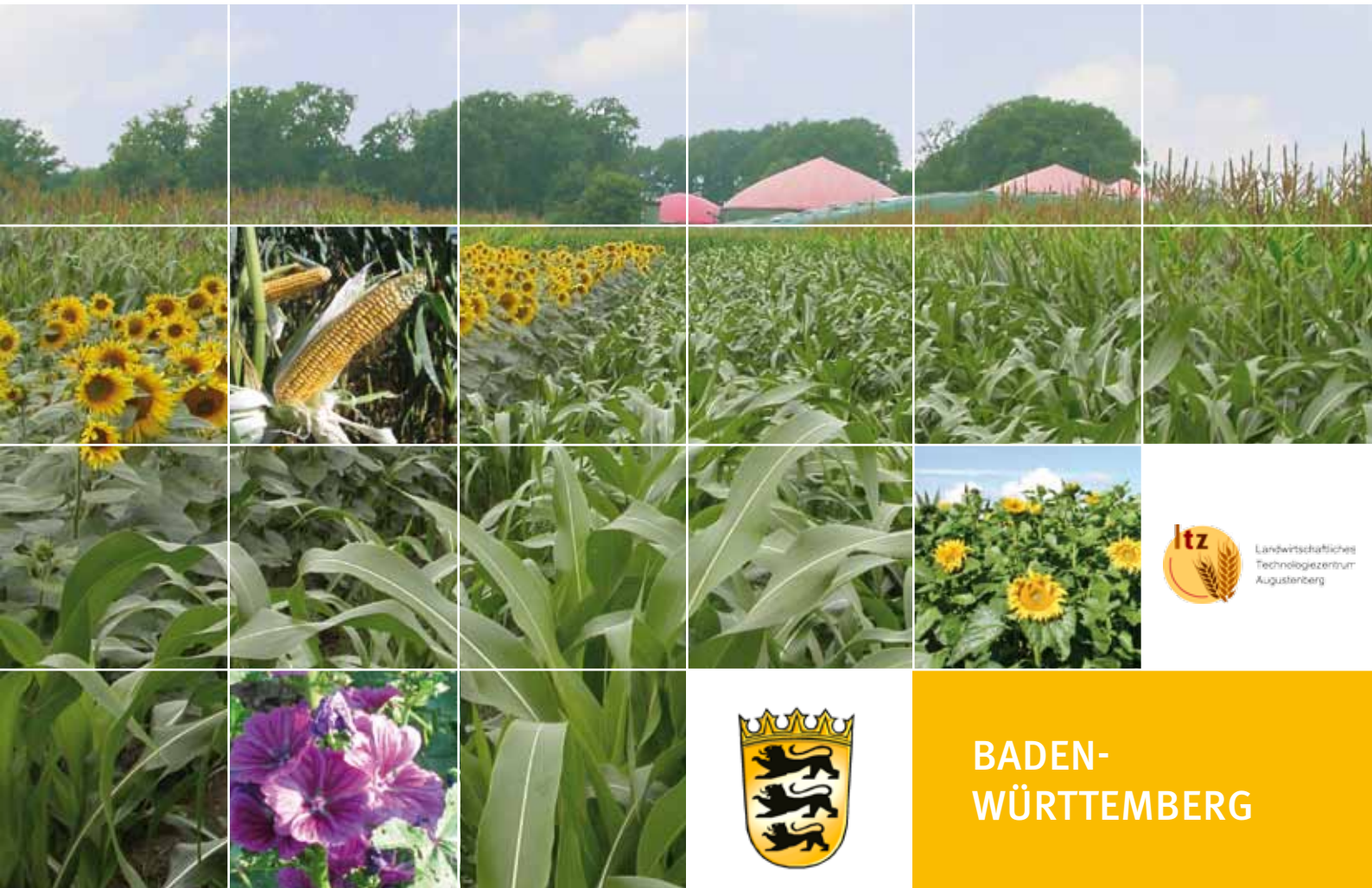


ENERGIEPFLANZEN FÜR BIOGASANLAGEN



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

Gefördert durch das Bundesministerium für Ernährung,
Landwirtschaft und Verbraucherschutz aufgrund eines
Beschlusses des Deutschen Bundestages

Text

Butz, A.; Heiermann, M.; Herrmann, C.; Idler, C.; Kornatz, P.; Kruse, S.; Mastel, K.; Nerlich, K.;
Ott, J.; Wurth, W.; Stolzenburg, K.; Vollrath, B.; Zürcher, A.

Redaktion

FNR, Abt. ÖA

Bilder

Sofern nicht am Bild vermerkt: LTZ
Titel: FNR; LWK-Niedersachsen, I. Klostermann (LFA)

Gestaltung/Realisierung

www.tangram.de, Rostock

Druck

www.druckerei-weidner.de, Rostock

Gedruckt auf 100 % Recyclingpapier
mit Farben auf Pflanzenölbasis

Bestell-Nr. xxx
FNR 2013

ENERGIEPFLANZEN FÜR BIOGASANLAGEN Baden-Württemberg



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

Der Anbau von Biogaspflanzen und die Erzeugung von Biogas hat sich in unterschiedlicher regionaler Ausprägung zu einem wichtigen zusätzlichen Standbein für viele landwirtschaftliche Betriebe Baden-Württembergs entwickelt.

Ende 2011 waren im Land 796 Anlagen mit einer installierten elektrischen Leistung von 256 MW in Betrieb. Zur Substraterzeugung wurden 2011 Biogaspflanzen auf insgesamt 122.000 ha, davon 78.000 ha auf Ackerflächen (9,4 % der Ackerfläche) und 34.000 ha auf Grünland (6,3 % der Grünlandfläche), angebaut.

Die Landwirtschaft legt besonderen Wert auf Verfahren, die unter den verschiedenen Standortbedingungen Baden-Württembergs hohe Biomasse- und Gaserträge bringen und sich wirtschaftlich darstellen. Wegen knapper Flächen sind flächeneffiziente (hohe Biomasseerträge je Flächeneinheit) und angesichts des Klimawandels wassereffiziente Verfahren von zunehmender Bedeutung.

Aus Sicht des Umweltschutzes sind mögliche negative Auswirkungen auf Wasser, Boden und Klima zu minimieren und die Biodiversität auf landwirtschaftlichen Nutzflächen zu erhalten bzw. zu verbessern. Last, but not least sind zur Förderung des Landschaftsbildes und damit auch des Tourismus niedrig wachsende Kulturen und Blümmischungen als Farbtupfer in der Landschaft erwünscht.

Silomais ist wegen hoher Flächenerträge, hoher Gasausbeuten und der technologischen Vorteile das in der Regel wirtschaftlichste und daher bevorzugte Substrat. Zur Auflockerung der maislastigen Fruchtfolgen, werden zunehmend Ganzpflanzengetreide, Ackerfutterpflanzen, Zuckerhirse und Sudangras angebaut. Zusätzlich kommen Dauerkulturen wie die Durchwachsene Silphie, die Virginiamalve, Wildartenmischungen und Topinambur infrage.

Um den Belangen des Wasserschutzes Rechnung zu tragen, ist insbesondere die Ausbringung von Gärresten aus Biogasanlagen hinsichtlich Menge, Zeitpunkt und Ausbringungstechnik zu optimieren.

Vor diesem Hintergrund wurde bereits 2005 mit dem von der Fachagentur für Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR) geförderten Verbundprojekt „Entwicklung und Vergleich von standortangepassten Anbausystemen für die landwirtschaftliche Produktion von Energiepflanzen unter den verschiedenen Standortbedingungen Deutschlands“ (EVA) und ergänzenden landesspezifischen Versuchen begonnen, nachhaltige Anbauverfahren zur Substraterzeugung zu entwickeln bzw. zu optimieren.



In dieser Broschüre werden die Ergebnisse der o. g. Versuche mit Ableitung von Empfehlungen für die landwirtschaftliche Praxis, für Beratung, Aus- und Weiterbildung vorgestellt. Es werden die Möglichkeiten, aber auch die Grenzen einer nachhaltigen Substraterzeugung aufgezeigt.

Dr. Norbert Haber,
Direktor Landwirtschaftliches Technologiezentrum
Augustenberg

Klaus Mastel,
Leiter der Abteilung Pflanzenbau und
produktionsbezogener Umweltschutz
Landwirtschaftlichen Technologiezentrum Augustenberg



INHALT

1	Einleitung	6
	Gebietskulisse	8
2	Energiepflanzen für die Biogasproduktion	11
2.1	Energiemais	13
2.2	Getreide zur Ganzpflanzennutzung	18
2.3	Zuckerhirse und Sudangras	21
2.4	Gras und Klee gras	25
2.5	Sonnenblume	30
2.6	Zuckerrübe	32
2.7	Durchwachsene Silphie	34
2.8	Topinambur	37
2.9	Wildpflanzenmischungen	40
3	Einbindung in Anbausysteme	43
3.1	Fruchtfolgen	43
3.2	Düngung mit Gärresten	49
3.3	Wasserschutzaspekte	54
3.4	Humusbilanz	57
3.5	Bewässerung	60
4	Silierung und Gasausbeuten	65
5	Ökonomie des Energiepflanzenanbaus	67
6	Anhang	72
	Beratungsangebote und Adressen	72
	Weiterführende Internetadressen	72
	Weiterführende Literatur	73
	Abbildungsverzeichnis	75
	Tabellenverzeichnis	76

1 EINLEITUNG

In Deutschland und in Baden-Württemberg hat im Rahmen der Bioenergieerzeugung der Anbau von Biogaspflanzen neben der Erzeugung von Ölsaaten für Biotreibstoffe die größte Bedeutung. Die Biogasproduktion zeichnet sich nicht nur in Baden-Württemberg durch eine dynamische Entwicklung insbesondere in den Jahren 2009–2011 aus (Abb. 1.1).

Ende 2011 waren 796 Anlagen mit einer installierten elektrischen Leistung von 256 MW in Baden-Württemberg in Betrieb. Allein 2011 wurden 87 Anlagen neu gebaut, wodurch zusammen mit dem Ausbau vorhandener Anlagen zusätzlich 53 MW elektrische Leistung installiert wurden. Das entspricht einer Zunahme im Jahr 2011 um 25% gegenüber dem Vorjahr. Die durchschnittliche Größe der Anlagen stieg von 98 kW im Jahr 2004 auf 322 kW Ende 2011 an.

Die geografische Verteilung der Biogasanlagen weist Schwerpunkte in Regionen mit hoher Dichte an Futterbau- und/oder Veredlungsbetrieben auf. In diesen Regionen werden Wirtschaftsdünger intensiv genutzt. Dies sind die Regionen Oberschwaben mit klassischer Rinderhaltung, die veredlungssensitive Region Hohenlohe und die Baar (Abb. 1.2).

Neben Gülle, Mist und Reststoffen werden pflanzliche Substrate, die durch den Anbau verschiedener Kulturpflanzen erzeugt werden, eingesetzt. Zur Verwendung in der Biogasanlage wurden 2011 „Biogaspflanzen“ auf insgesamt 122.000 ha (8% der landwirtschaftlich genutzten Fläche), davon 78.000 ha auf Acker- (9,4% der AF) und 34.000 ha als Grünland (6,3% der GF), angebaut. Silomais weist mit 57.000 ha den größten Anbauumfang auf, gefolgt von

Grünland, Getreideganzpflanzen (10.500 ha) und sonstigen Kulturen (10.500 ha) wie Klee gras, Sorghumarten oder Zuckerrüben.

Der Anbau der leistungsstärksten Futterpflanze (Silo-) Mais erreichte 1985 den vorläufig höchsten Anbauumfang in Höhe von 105.000 ha (Abb. 1.3). Danach ging der Anbau infolge sinkender Rinderzahlen bis 2003 zurück und nimmt seither aufgrund des steigenden Bedarfs in den Biogasanlagen wieder zu. Silomais wurde 2011 auf insgesamt 109.700 ha angebaut, davon 57.000 ha zur Biogaserzeugung und 52.700 ha für die Nutztierhaltung. Dieser Anbauumfang entspricht ungefähr dem aus dem Jahr 1985.

In Gemeinden oder Ortsteilen mit einer hohen Nutztier- und Biogasanlagendichte kann diese Entwicklung dazu führen, dass der Maisanteil in der Fruchtfolge zu hoch wird. Um mögliche Nachteile für Boden-, Wasserschutz, Artenvielfalt und das Landschaftsbild zu minimieren, sind Alternativkulturen wie Getreide, Klee gras, Zuckerhirse und Zwischenfrüchte in die Fruchtfolgen einzubinden. Zusätzlich können mit der Durchwachsenen Silphie, der Sida, mit Topinambur oder Wildartenmischungen als auch Blühstreifen die Artenvielfalt bereichert und das Landschaftsbild aufgewertet werden. Darüber hinaus sind Fruchtfolgerestriktionen im neuen EEG beim Neubau von Biogasanlagen formuliert. Auch im Rahmen der Neuausrichtung der gemeinsamen Agrarpolitik nach 2013 werden ebenfalls Fruchtfolgerestriktionen und ein Mindestflächenanteil an ökologischen Vorrangflächen diskutiert.

Autor: Mastel K. (LTZ)

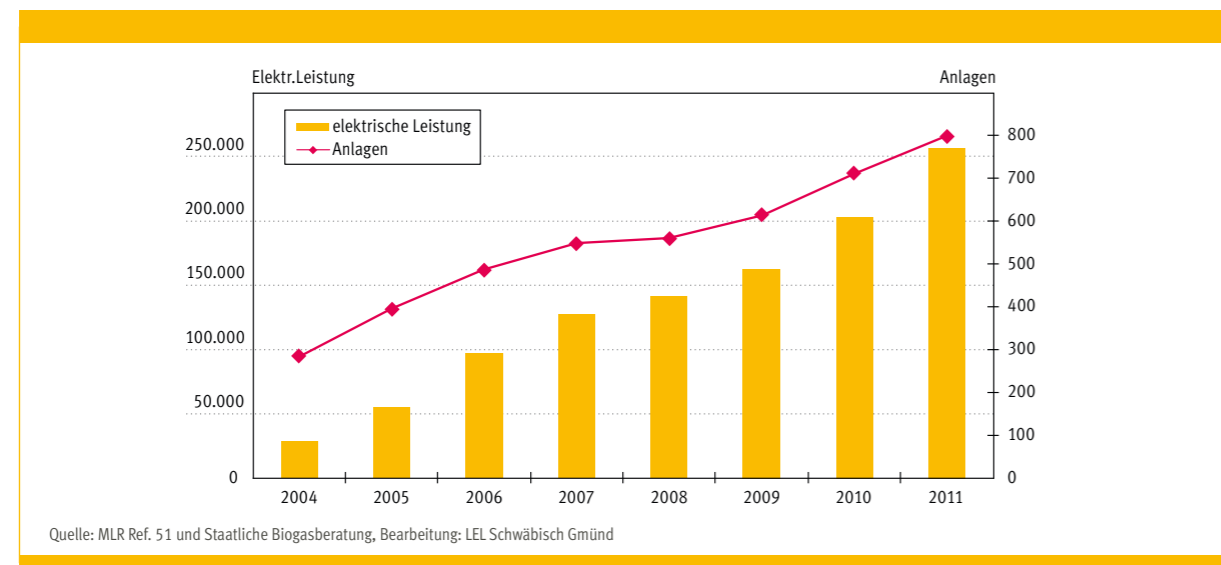
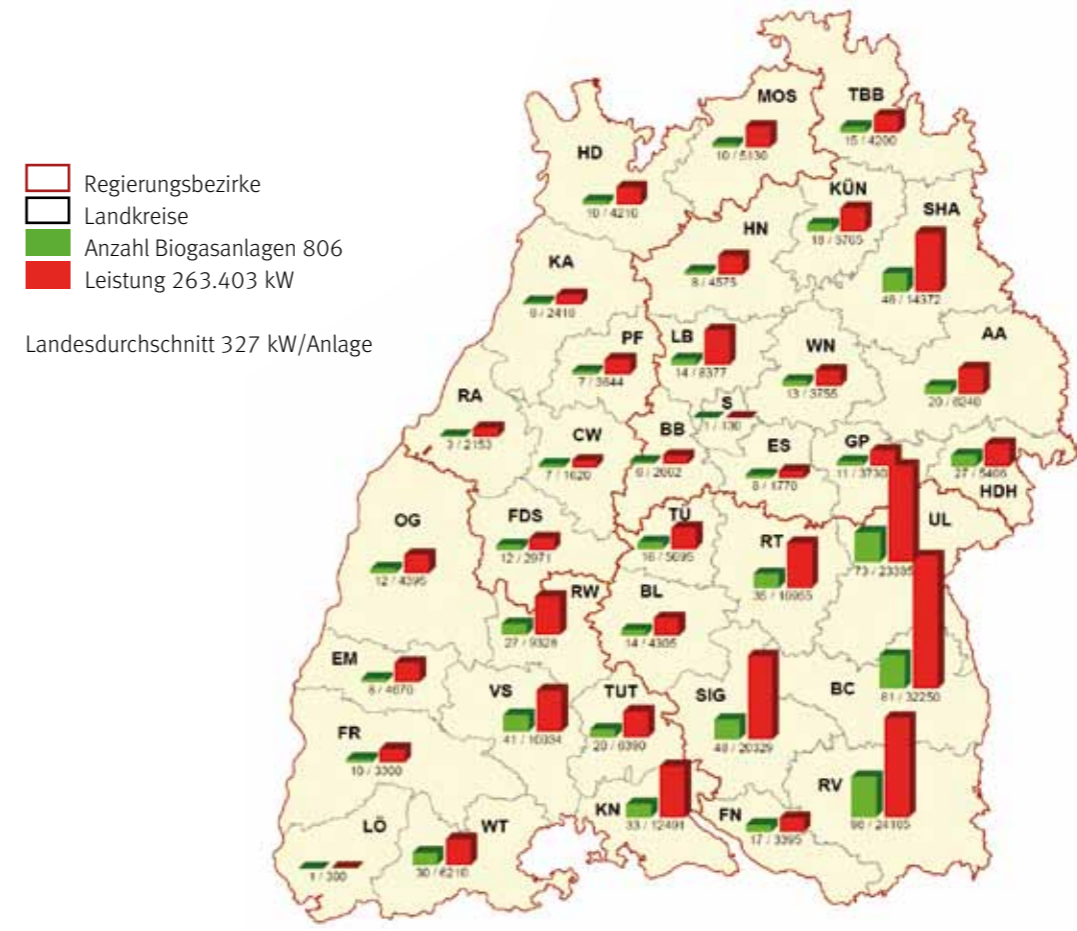


Abb. 1.1: Entwicklung der Biogasanlagen in Baden-Württemberg, Stand: 31.12.2011



Quelle: MLR Ref. 51 und Staatliche Biogasberatung, Bearbeitung: LEL Schwäbisch Gmünd

Abb. 1.2: Biogasanlagen in Baden-Württemberg, Stand 31.12.2011

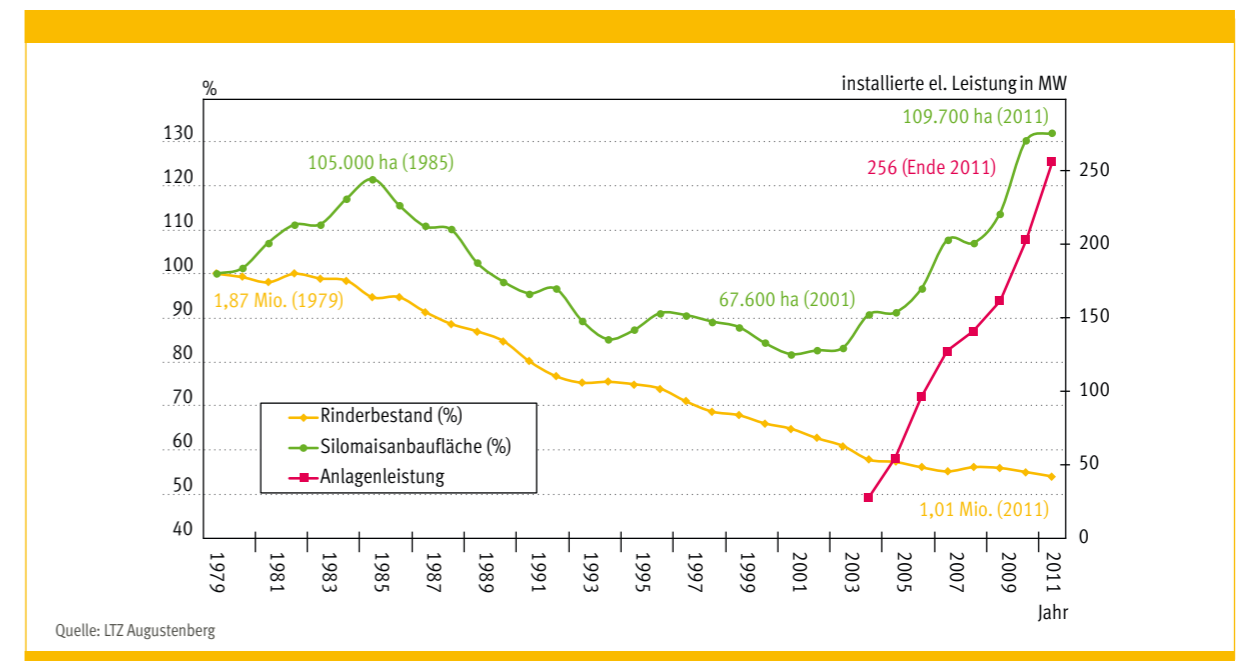


Abb. 1.3: Entwicklung der Silomaisflächen, des Rinderbestandes und der Gesamtleistung Biogasanlagen in Baden-Württemberg seit 1979

Gebietskulisse

Baden-Württemberg weist durch seine geografische Lage eine große Vielfalt von unterschiedlichen Landschaftsräumen auf. Deren vielfältige Klima- und Bodenbedingungen ermöglichen bzw. erfordern für eine optimale Bioenergienutzung unterschiedliche Fruchtfolgen und Anbausysteme.

So finden sich in Baden-Württemberg Tieflandregionen wie die Oberrheinebene, durch Flusstäler wie das Neckartal geprägte Flachlandregionen oder Hügellandschaften wie der Kraichgau oder die Gäulandschaften, dazu Berg- und Mittelgebirgslandschaften wie z.B. der Schwarzwald oder die Schwäbische Alb. Diese Landschaftsformen weisen unterschiedliche Ausgangsgesteine für die Bodenbildung auf, be-

dingt durch die geologische Vielfalt aus Grabenbruchzonen mit jüngerer Sedimentsverfüllung (Oberrheinebene), Grundgebirge (Teile des Schwarzwald und des Odenwald), südwestdeutschen Schichtstufenlandschaften und eiszeitlich geprägten Landschaften (Oberland, Lössablagerungen u.a. im Kraichgau). Hinzu kommt eine weitere Differenzierung der Standortbedingungen durch die Unterschiede im Relief (Ebene mit 85 m ü. NN bei Mannheim bis 1.493 m ü. NN auf dem Feldberg) und die damit verbundenen klimatischen Faktoren wie Temperatur und Niederschläge.

Diese Vielfalt an Landschaftsräumen lässt sich unter Berücksichtigung von Klima- und Bodeneigenschaften in Boden-Klima-Räume (BKR, Abb. 1.4) einteilen (Roßberg et al. 2007). Für die verschiedenen landwirtschaftlichen Kulturpflanzenarten besteht die Möglichkeit unter geoportal.jki.bund.de den geeigneten Boden-Klima-Raum anhand der Postleitzahl zu ermitteln. Wie für die einzelnen landwirtschaftlichen Kulturpflanzenarten (Graf et al. 2009), so lassen sich auch für Energiepflanzenarten bzw. -fruchtfolgen anhand der Klima- und Bodenparameter Anbau Räume beschreiben, in denen vergleichbare Bedingungen herrschen.

Wärmelage	sehr warm (> 9 °C)	warm-kühl (7–9 °C)				kühl (< 8 °C)		
Feuchtelage	sommer-trocken	ausgeglichen	sommer-trocken	feucht	eher trocken	feucht		
Boden-Klima-Raum (Nr.) ¹	Rheinebene und Nebentäler (121)	Hochrhein-Bodensee (120)	Oberes Gäu (123)	Nordwestbayern-Franken (113); Oberes Gäu (123)	Albflächen (114), Tertiär Hügelland (115)	Schwäbische Alb u. Baar (122)	Schwarzwald (198)	Voralpen (117)
Vergleichsgebiete ²	Rheinebene, Unterland/Bergstraße, Kraichgau	Hochrhein-Bodensee	Gäulandschaften, Westliches Albvorland	Bauland, Taubergebiet, Odenwaldrand, Hohenlohe	Bessere Alb, östliches Albvorland, Schwäbischer Wald, Oberland	Baar, Geringe Alb, Heuberg	Schwarzwald	Allgäu
Höhenlage (m)	90–300	400–650	150–400	350–500	400–750	600–800	300–1.500	600–900
Niederschlags-summe* (mm)	550–1.100	750–1.000	650–900	600–800	800–1.000	600–1.100	1.000–2.100	1.000–1.600
Temperatur*, Jahresdurchschnitt (°C)	9–10	8–9	8–9	7–8	7–8	5–7	5–7	6–7,5
Temperatur*, Winter (Ø10–03) (°C)	4–5	2–3	2–3	2–3	2–3	0–1	-1–1	1–2
Temperatur*, Sommer (Ø04–09) (°C)	14–16	13–14	13–15	13–14	12–14	10–13	8–13	11–13
KWB Sommer (mm) ³	-100–200	0–200	0–200	-200–0	0–200	100–400	200–700	100–700
Boden-feuchte ⁴	trocken-mäßig frisch	trocken-frisch	trocken-frisch	sehr trocken-mäßig frisch	mäßig trocken-feucht	trocken-frisch	frisch-nass	mäßig trocken-sehr feucht

* Mittel 1961–1990

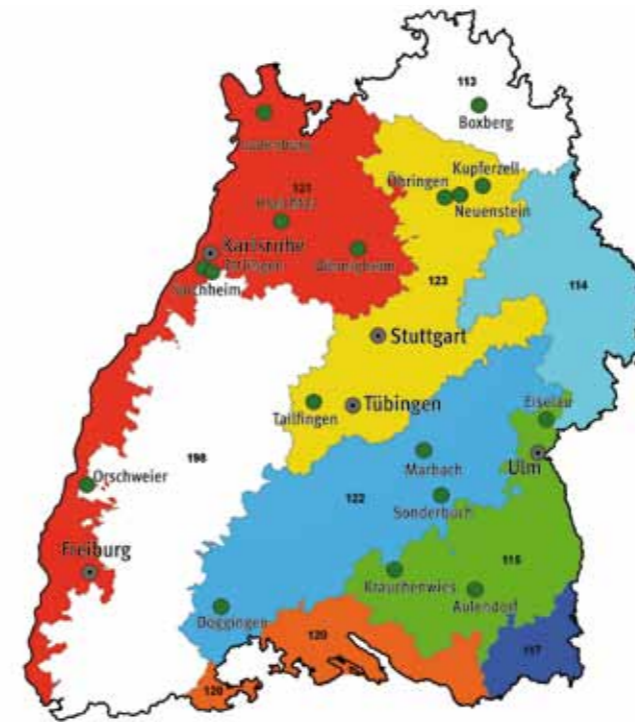
¹ ROSSBERG et al., 2007: „Boden-Klima-Räume und Anbaugelände als Basis des regionalisierten Sortenwesens in Deutschland“, Mitteilungen der Landesforschungsanstalt f. Landwirtschaft und Fischerei Mecklenburg-Vorpommern, Gülzow (37), S. 24–30

² Landwirtschaftliche Betriebsverhältnisse und Buchführungsergebnisse (2011) Heft 59, Hrsg. Landesanstalt für Entwicklung der Landwirtschaft und der Ländlichen Räume; ISSN 1863-270X

³ KWB (Klimatische Wasserbilanz): Differenz zwischen Niederschlagshöhe und Höhe der potenziellen Verdunstung; Quelle: Wasser- und Bodenatlas Baden-Württemberg (2007) Hrsg. Umweltministerium Baden-Württemberg, ISBN 9783-88251-276-2

⁴ Basierend auf bodentypologischer Kennzeichnung, nutzbarer Feldkapazität und reliefabhängiger klimatischer Wasserbilanz (Mai bis September); Quelle: Wasser- und Bodenatlas Baden-Württemberg (2007)

TABELLE 1.1: BESCHREIBUNG DER BODEN-KLIMA-RÄUME IN BADEN-WÜRTTEMBERG



- Städte
- Versuchsfelder

Boden-Klima-Räume

- 121 Rheinebene und Nebentäler
- 198 Schwarzwald
- 122 Schwäbische Alb, Baar
- 120 Hochrhein-Bodensee
- 123 Oberes Gäu, körnermaisfähige Übergangslagen
- 113 Nordwestbayern-Franken
- 115 Tertiär-Hügelland Donau-Süd
- 114 Albflächen und Ostbayerisches Hügelland
- 117 Moränen-Hügelland und Voralpen

Abb. 1.4: Boden-Klima-Räume und Versuchsfelder in Baden-Württemberg

Baden-Württemberg lässt sich – stark vereinfacht – in warme, mittlere und kühle Lagen einteilen, wobei diese in Abhängigkeit von den Niederschlägen (Menge und Verteilung) und der Speicherkapazität der Böden für pflanzenverfügbares Wasser weiter unterteilt werden müssen. In Tabelle 1.1 wurden die o.g. Boden-Klima-Räume und die Vergleichsgebiete in Baden-Württemberg in dieses Schema eingeteilt.

Die Menge an pflanzenverfügbarem Wasser wird beeinflusst durch Menge und Verteilung der Niederschläge und die verdunstete Wassermenge (Evapotranspiration). Letztere hängt u.a. ab von der Lufttemperatur, der Luftfeuchte, der Globalstrahlung und der Art des Pflanzenbestandes. Auch Reliefstruktur (Ab- und Zuflüsse von Wasser), nutzbare Feldkapazität und Tiefgründigkeit der Böden beeinflussen die Menge an pflanzenverfügbarem Wasser wesentlich.

So unterteilen sich die mittleren Lagen zum Beispiel in mittlere sommertrockene Lagen wie den fränkischen Teil Baden-Württembergs, in mittlere milde Lagen wie Hochrhein, Bodensee und Gäue und in die weniger zur Trockenheit neigenden Lagen der Albflächen und des schwäbischen Waldes. Auch die kühlen Höhenlagen unterscheiden sich hinsichtlich der Verteilung und Menge an pflanzenverfügbarem Wasser. Hier reicht die Spanne von zur Vernässung neigenden Lagen im Schwarzwald mit Niederschlägen bis zu 2.100 mm im Jahr, bis hin zu im Sommer zur Trockenheit neigenden Lagen auf der Schwäbischen Alb mit Niederschlägen unter 600 mm im Jahr.

Es ist jedoch grundsätzlich zu beachten, dass innerhalb der einzelnen Regionen große lokale Unterschiede, besonders in den Bodenverhältnissen bestehen können (z. B. in der Rheinebene von Sand zu Schwemmland), die bei einer standortspezifischen Anbauentscheidung zu berücksichtigen sind.

In dieser Broschüre werden Ergebnisse von Feldversuchen zu Biogaspflanzen von verschiedenen Standorten in Baden-Württemberg vorgestellt. Die Lage der Standorte ist aus Abbildung 1.4 und die Beschreibung der Standortverhältnisse aus Tabelle 1.2 ersichtlich.

Autoren: Butz, A.; Mastel, K.; Ott, J. (LTZ)

TABELLE 1.2: BESCHREIBUNG DER STANDORTE MIT FELDVERSUCHEN FÜR BIOGASPFLANZEN IN BADEN-WÜRTTEMBERG

Standort	Boden-Klima-Raum (Nr.)	Vergleichsgebiet	Höhe ü. NN (m)	Niederschlag (mm) Jahressumme ²	Temperatur (°C) Jahresmittel ¹	Bodenart	Ackerzahl
Bönnigheim	Rheinebene (121)	Unterland/ Bergstraße	230	670	9,8	uT	78
Ettlingen	Rheinebene (121)	Rheinebene	120	742 ²	10,1 ²	sL-uL	75
Kraichtal	Rheinebene (121)	Gäulandschaften (Kraichgau)	200	720	10,3	uL	70
Ladenburg	Rheinebene (121)	Rheinebene	100	668	10,2	tL	84
Mahlberg- Orschweier	Rheinebene (121)	Rheinebene	166	827	10,5	sL	78–85
Rheinstetten- Forchheim	Rheinebene (121)	Rheinebene	117	742 ²	10,1 ²	IS	24–32
Boxberg	Franken (113)	Bauland	360	720	8,4	sL-uL	60–70
Kupferzell	Oberes Gäu (123)	Hohenlohe	350	830	8,7	IT	45–56
Kupferzell- Füßbach	Oberes Gäu (123)	Hohenlohe	330	780	ca. 8,9	L	60
Neuenstein	Oberes Gäu (123)	Hohenlohe	350	866	9,1	L	62
Öhringen	Oberes Gäu (123)	Hohenlohe	220	866	9,1	tL	71
Tailfingen	Oberes Gäu (123)	Gäulandschaften	450	770	7,8	uL-tL	61–67
Aulendorf	Tertiäres Hügelland (115)	Oberland	545–620	902	8,4	sL	53
Eiselau	Tertiäres Hügelland (115)	Bessere Alb	609	790	7,2	uL-tL	64
Krauchenwies	Tertiäres Hügelland (115)	Oberland	620	790	7,6	sL	52–56
Döggingen	Baar (122)	Baar	820	770	6,5	sL	37
Marbach (Gomadingen)	Schwäbische Alb (122)	Geringere Alb	720	901	5,8	uL-tL	k. A.
Sonderbuch	Schwäbische Alb (122)	Geringere Alb	765	824	6,7	IT	39–45

¹ Mittel 1961–1990

² Wetterstation Karlsruhe-West

uT = schluffiger Ton
sL = sandiger Lehm
uL = schluffiger Lehm
tL = toniger Lehm

IS = lehmiger Sand
IT = lehmiger Ton
L = Lehm

2 ENERGIEPFLANZEN FÜR DIE BIOGASPRODUKTION

Bereits 2005 wurde mit dem bundesweiten Verbundprojekt EVA begonnen, nachhaltige Anbauverfahren zur Substraterzeugung für Biogasanlagen zu entwickeln bzw. zu optimieren. In Baden-Württemberg werden die Anbauversuche vom Landwirtschaftlichen Technologiezentrum (LTZ) Augustenberg in Rheinstetten-Forchheim und in Ettlingen angelegt. Zusätzlich führt das LTZ Augustenberg, das Landwirtschaftliche Zentrum für Rinderhaltung, Grünlandwirtschaft, Milchwirtschaft, Wild und Fischerei Baden-Württemberg (LAZBW) und die Landwirtschaftsverwaltung produktionstechnische Versuche an repräsentativen Standorten im Land durch.

Der Anbau wichtiger Arten und Artenmischungen, die sich für die Substraterzeugung für die Biogasanlage eignen, wird im Folgenden im Gliederungspunkt 2 unter Berücksichtigung aller Versuchsergebnisse näher beschrieben. Die Ergebnisse des EVA-Projektes werden unter Gliederungspunkt 3 detailliert dargestellt.

In Tabelle 2.1 sind die Gesamtpflanzenenerträge wichtiger Energiepflanzen in Abhängigkeit vom Boden-Klima-Raum im Land zusammengestellt. Die Erträge beziehen sich sowohl auf Ergebnisse landesspezifischer Versuche als auch auf Versuchsergebnisse des EVA-Projektes. In der Praxis dürften die Erträge in der Regel 15–20 % geringer als die in der Tabelle genannten Erträge ausfallen.



TABELLE 2.1: GESAMTPFLANZERTRÄGE (t TM/ha)

Verschiedene Energiepflanzen in Abhängigkeit des Boden-Klima-Raums in Baden-Württemberg; Ergebnisse der Landessortenversuche, der produktionstechnischen Versuche und des EVA-Projektes.

	Boden-Klima-Räume			
	Rheinebene einschl. Kraichgau (121) ¹	Franken (113), Oberes Gäu (123)	Albflächen (114), Tertiäres Hügelland (115)	Schwäbische Alb u. Baar (122)
Versuchsstandorte	Bönnigheim Ettlingen Kraichtal Ladenburg Orschweier Rh.-Forchheim	Boxberg Kupferzell Neuenstein Öhringen Tailfingen	Aulendorf Eiselau Krauchenwies	Döggingen Marbach Sonderbuch
Gesamtpflanzenerträge (t TM/ha)				
Mais	18–24	21	21	20
Wintertriticale	14–20	13	21	19
Winterweizen	11–17	12	19	16
Winterroggen	12–16	11	19	16
Wintergerste	11–15	11	18	15
Hafer	6–14	8	13	
Grünroggen (BBCH 51–77)	4–8			
Zuckerhirse	15–22	13	15	
Sudangras	15–18	14	15	
Grünroggen + Mais	18–25			
Grünroggen + Sudangras	18–23			
Grünroggen + Zuckerhirse	20–25			
Sonnenblumen	8–13			
Mais-Sonnenblumen- Gemenge	11–14			
Futterrüben	19–24			
Ackergräser	8–14	15 ²	14	
Kleegrass	12–13	19 ²	12	
Durchwachsene Silphie	13–20	7 ²	13 ²	12 ²
Topinamburkraut	12–18	10 ²	15 ²	17 ²

¹ geringere bis bessere Rheinebene

² einjähriges Ergebnis

2.1 Energiemais/*Zea mays* Familie: Poaceae (Süßgräser)

Mais gehört zur Familie der Süßgräser. Es handelt sich um eine C₄-Pflanze, die wegen ihres speziellen Stoffwechsels in der Lage ist, bei hohen Temperaturen und Lichtintensitäten hohe Zuwächse zu realisieren und auch bei Wassermangel das Kohlendioxid (CO₂) der Luft noch sehr effektiv zu assimilieren.

Mais nimmt in Baden-Württemberg nach Weizen die zweitgrößte Anbaufläche ein. 2011 wurde im Land auf 182.100 ha Mais angebaut. Davon entfielen 109.700 ha auf Silomais, wovon ca. 57.000 ha (6 % der Ackerfläche Baden-Württembergs) als Energiemais in den Biogasanlagen genutzt wurde.

Standortanspruch

Für den Anbau eignen sich am besten gut erwärmende, tiefgründige, strukturstabile sowie gut wasserführende und nährstoffreiche Böden.

Fruchtfolge

Mais ist grundsätzlich selbstverträglich. Dadurch ist ein Anbau mehrere Jahre nacheinander auf der gleichen Fläche möglich. Aufgrund des Auftretens des Westlichen Maiswurzelbohrers (*Diabrotica virgifera virgifera*) sind in den Befallsgebieten Fruchtfolgeregelungen einzuhalten.

Durch die Ganzpflanzenernte beim Energiemaisanbau verbleiben jedoch nur geringe Mengen organischer Masse aus



Wurzeln und Stoppelresten im Boden, was in der Regel zu Humusabbau führt.

In günstigen Anbauregionen kann Mais auch als Zweitfrucht nach der Ernte von Grünroggen oder Getreideganzpflanzensilage angebaut werden.

Sortenwahl

Bei der Sortenwahl von Mais als Biogassubstrat steht der Trockenmasseertrag im Vordergrund. Um das Ertragspotential der Pflanzen möglichst auszuschöpfen und die Bildung von Gärstoff zu verhindern, ist ein Trockensubstanzgehalt zur Ernte von 30–35 % in der Gesamtpflanze anzustreben.

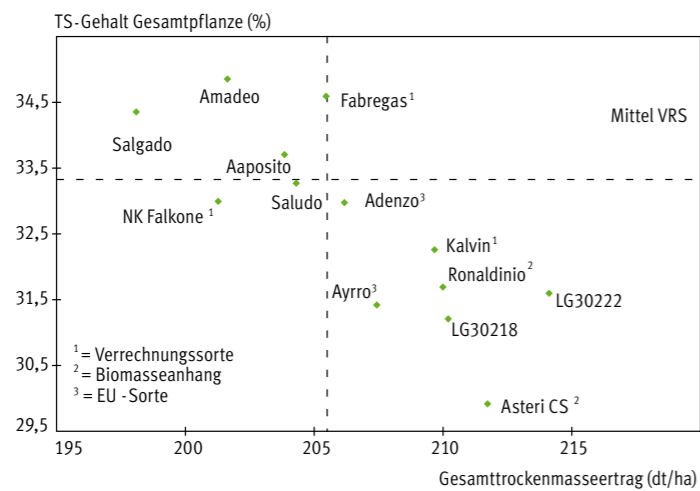
In Baden-Württemberg werden jedes Jahr an mehreren Standorten Landessortenversuche (LSV) zu Silomais durchgeführt, die neutrale Ertrags- und Qualitätsergebnisse liefern und dadurch die Sortenwahl erleichtern. Geprüft werden Sorten der frühen (bis Silo-Reife-Zahl S220),

TABELLE 2.2: ERTRÄGE (dt TM/ha) BEI SILOMAIS; ERGEBNISSE LSV 2009–2011

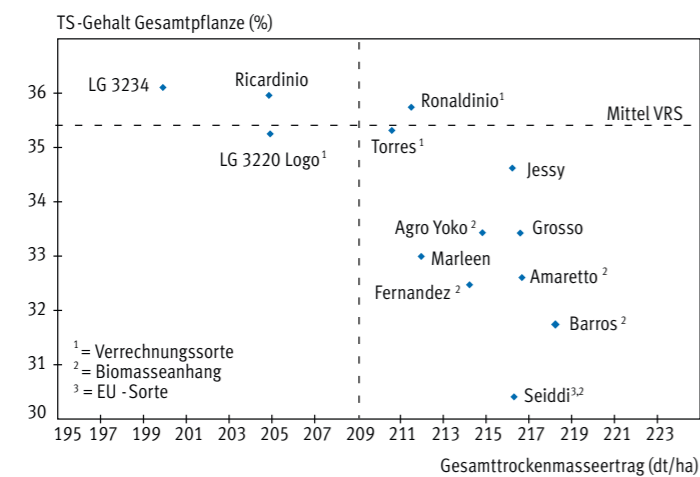
Vergleichsgebiet	Versuchsstandort	Reifegruppe			
		sehr früh (Grenzlagen)	früh	mittelfrüh	mittelspät
Geringere Alb	Sonderbuch	183			
Baar	Döggingen	200 ¹	211		
Oberland	Krauchenwies		207		
Bessere Alb	Eiselau		205 ¹		
Bauland	Boxberg		198 ¹	211 ¹	
Hohenlohe	Neuenstein		203	208	
Gäulandschaften	Tailfingen			227	
Rheinebene	Ladenburg			184	183
Rheinebene	Orschweier				229 ²
Gäulandschaften (Kraichgau)	Kraichtal				206 ¹
Unterland/ Bergstraße	Bönnigheim				176 ¹

¹ 2010 und 2011

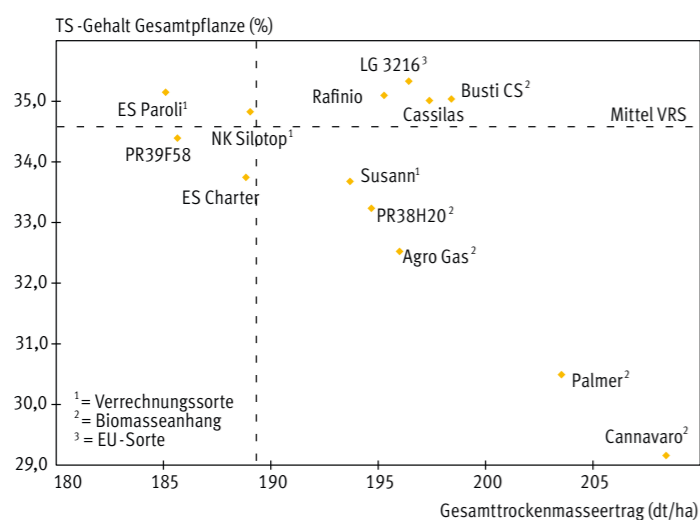
² 2009 und 2011



Frühe Sorten



Mittelfrühe Sorten



Mittelspäte Sorten
(VRS: Verrechnungssorte)

Quelle: Wurth & Kusterer, 2012

Abb. 2.1: LSV Silomais 2010–2011: Trockenmasseertrag und Trockensubstanzgehalt

mittelfrühen (S230–S250) und der mittelspäten Reifegruppe (S260–S290). Daneben werden in Grenzlagen sehr frühe Sorten untersucht.

In Tabelle 2.2 sind die Trockenmasseerträge der Silomaisorten im Mittel über die Jahre 2009 bis 2011 getrennt nach Reifegruppe für die verschiedenen Standorte aufgeführt.

Gegenüber der Milchviehfütterung können aufgrund des höheren Ertragspotenzials für die Biomasseproduktion am gleichen Standort spätere Sorten (rund 20–30 S-Einheiten) angebaut werden. An klimatisch günstigen Standorten können dies auch bis zu 50 S-Einheiten sein.

Die Sorten der frühen Reifegruppe erreichten in Abhängigkeit des Standorts Trockenmasseerträge von bis zu 211 dt/ha (Döggingen). Die Trockenmasseerträge der mittelfrühen Reifegruppe lagen im Mittel zwischen 184 dt/ha in Ladenburg und 227 dt/ha in Tailfingen. Die größten Standortsunterschiede traten bei der mittelspäten Reifegruppe auf. Am Standort Bönningheim wurden die geringsten Erträge mit 176 dt TM/ha und in Orschweier mit 229 dt TM/ha die höchsten Erträge erzielt. Die Erträge sehr früher Silomaisorten erreichten in den Grenzlagen Werte im Bereich der anderen Reifegruppen von 183 bis 200 dt TM/ha.

Die Trockenmasseerträge und die Trockensubstanzgehalte (Gesamtpflanze) der geprüften Sorten können der Abbildung 2.1 entnommen werden.

Die Ergebnisse der Landessortenversuche zu Mais zeigen deutlich den züchterischen Fortschritt der letzten Jahrzehnte bei Silomais auf. Aufgrund erhöhter Kältetoleranz und Verbesserung der Abreife kann auch in kühlen Regionen mit Mais die Wärmesumme der Vegetationsperiode für sehr hohe Erträge genutzt werden.

Wie aus Abbildung 2.2 ersichtlich ist, konnte bei den frühen und mittelfrühen Maissorten in den zurückliegenden 26 Jahren ein größerer Zuchtfortschritt erzielt werden als bei den mittelspäten Sorten. Dies kann in einem erhöhten wirtschaftlichen Interesse der Züchter begründet sein, da in den kühleren Regionen Europas mehr Futterbau betrieben wird. Es ist jedoch nicht auszuschließen, dass ein Teil der Effekte auch durch Klimaänderungen bedingt ist.

Bodenbearbeitung

Neben einer wendenden Bodenbearbeitung mit anschließender Saatbettbereitung ist auch die Mulchsaat (i. d. R. in abgefrorene oder mit einem Herbizid abgetötete Zwischenfrucht) möglich.

Aussaat

Die Aussaat erfolgt mittels Einzelkornsaat in 4–5 cm Tiefe. Die Bodentemperatur für den Keimvorgang sollte mindes-

tens 8 °C betragen. Abhängig von der Reifegruppe und der Wasserversorgung des Standortes liegt die Bestandesdichte zwischen 8 und 11 Pflanzen pro m². Üblicher Reihenabstand ist 75 cm, wobei die reihenunabhängige Erntetechnik geringere Abstände ermöglicht. Breitsaaten sind nur bei gleichmäßiger Pflanzenverteilung und gleichmäßiger Ablagetiefe konkurrenzfähig.

Kühle Temperaturen behindern während der gesamten Vegetationszeit das Maiswachstum und die Abreife, insbesondere in der Jugendentwicklung, wenn die Ertragsanlagen vorbereitet werden. Unter 13 °C findet kaum noch Stoffaufbau statt.

Düngung

Bis zum 8-Blatt-Stadium ist die Nährstoffaufnahme gering. Zur Absicherung der Jugendentwicklung kann auf schweren, schlecht erwärmenden Böden eine mineralische Unterfußdüngung mit aufgeschlossenem Phosphor und Stickstoff vorteilhaft sein. Im Schossen (ab Mitte Juni) bis Ende der Blüte (ab Mitte Juli) werden über 70% aller Nährstoffe benötigt. Für die N-Düngung muss der mineralische Stickstoff (N_{min}) und die N-Nachlieferung des Standortes (Boden, Vorfrucht, Wirtschaftsdünger; siehe 3.2) berücksichtigt werden. Wirtschaftsdünger werden gut verwertet. Geteilte Gaben und/oder eine mineralische Ergänzung erzielen die höchste Nährstoffeffizienz. Nährstoffentzüge sowie -bedarf von Energiemais sind in Tabelle 2.3 aufgeführt.

TABELLE 2.3: NÄHRSTOFFENTZÜGE UND -BEDARF VON ENERGIEMAIS

	Nährstoffentzug in kg je dt FM (30% TS)	Nährstoffbedarf bei 50 t FM/ha in kg/ha
N	0,41	225 ¹
P ₂ O ₅	0,19	95
K ₂ O	0,53	265
MgO	0,07	35

¹ incl. 20 kg N/ha für nicht erntbare Restpflanze

Pflege und Pflanzenschutz

Mais ist in der Jugendentwicklung konkurrenzempfindlich. Im konventionellen Anbau kommen Herbizide zur Anwendung. Im ökologischen Landbau wird mit Striegeln vor dem Auflaufen und nach dem 4-Blatt-Stadium sowie mit der Reihenhacke die Verunkrautung kontrolliert.

Der Maiszünsler (*Ostrinia nubilalis*) kann vor allem in klimatisch günstigen Lagen verstärkt auftreten und bekämpfungswürdig sein. Die Bekämpfung kann mit Trichogramma-Schlupfwespen oder mit einem Insektizid erfolgen. Mechanisches intensives Zerkleinern der Stoppelreste und gegebenenfalls tiefes, sauberes Unterpflügen (möglichst auf der gesamten

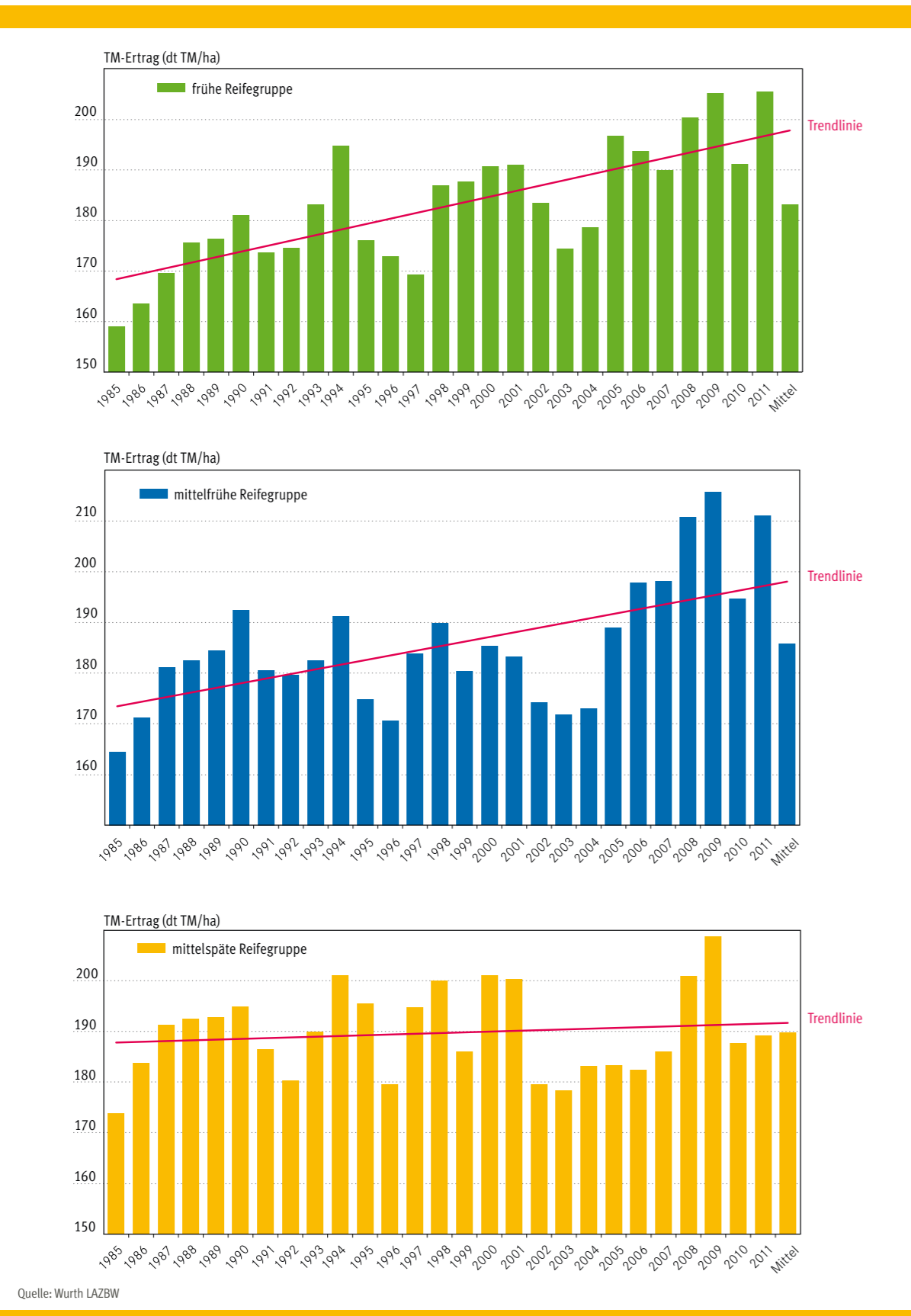


Abb. 2.2: Ertragsentwicklung bei LSV Silomais in Baden-Württemberg von 1985–2011

Gemarkung) unterstützen die Bekämpfung. Die Maßnahmen gegen den Maiszünsler und die saubere Einarbeitung der Ernterückstände können zusätzlich die Eindämmung von Fusariumbefall an der Folgekultur unterstützen.

Der Westliche Maiswurzelbohrer tritt seit 2007 in Deutschland auf. Bei Befall der Pflanzen ist es notwendig, durch Fruchtfolgebeschränkungen den Befall einzugrenzen.

Ernte und Konservierung

Die Erntereife sollte Ende September mit einem TS-Gehalt zwischen 30 und 35% in der Gesamtpflanze erreicht sein. Höhere TS-Gehalte verringern das Transportvolumen. Der Korninhalt ist zum Zeitpunkt der Ernte teig- bis mehligartig.

Eine kurze Häcksellänge ist für einen schnelleren Stoffaufschluss im Fermenter von Vorteil. Dünne Schichten beim Silofüllen ergeben eine hohe Verdichtung (> 250 kg TM/m³). Durch eine luftdichte Abdeckung (Unterzieh- und Silofolie) werden die Schimmelbildung und der Verderb verhindert. Die Mindestgärdauer liegt zwischen 3 und 4 Wochen.

Gaserträge

Nach Abzug durchschnittlicher Silierverluste und Aschegehalte von Maissilagen kann anhand der in Kapitel 4 dargestellten spezifischen Methanausbeute von Mais (333 l_w/kg oTM) der Methanertrag je Hektar errechnet werden: Auf Grundlage der Ergebnisse der Landessortenversuche können mit Mais auf Gunststandorten Methanerträge in Höhe von 6.000–7.000 m³/ha erzielt werden. An den ertragsschwächeren Standorten sind Methanerträge zwischen 5.000 und 5.500 m³/ha möglich. Die Höhe der Methanausbeute wird wenig durch die Sorte beeinflusst und ist sehr eng mit dem Biomasseertrag korreliert. Unter Praxisbedingungen sind die Biomasseerträge der Landessortenversuche und die daraus abgeleiteten Methanerträge um ca. 20% (ca. 1.000 m³/ha) geringer einzuschätzen.

Autoren: Nerlich, K. (LTZ); Wurth, W. (LAZBW); Zürcher, A. (LTZ)



Energiemais



Maisernte

2.2 Getreide zur Ganzpflanzennutzung

Zur Verwendung als Biogassubstrat werden Getreide-Ganzpflanzen als Hauptfrucht zwischen der Milchreife und der Teigreife der Körner geerntet und einsiliert. Der Trockenstoffgehalt des Ernteguts sollte zwischen 30 und 35 % liegen, um eine optimale Silagebereitung sicherzustellen. Ernten außerhalb des optimalen Bereichs können zum Verderb der Silage führen sowie zu Trockenmasse- bzw. Energieverlusten.

Generell ist die Verwendung aller Getreidearten zur Ganzpflanzensilage (GPS) -Nutzung möglich, wobei aufgrund des höheren Ertragspotenzials überwiegend Winterungen und nur wenig Sommerungen angebaut werden. Getreide-GPS stellt eine gute Ergänzung zum Maisanbau dar. Insbesondere auf Grenzlagen des Maisanbaus können vergleichbare Biomasseerträge erzielt werden. Die Möglichkeit der kurzfristigen Nutzungsänderung von Energienutzung in Kornnutzung im Laufe der Vegetation ist dabei gegeben.

Auf guten Standorten mit einer ausreichenden Wasserversorgung kann z. B. Winterroggen auch als Vorfurche bzw. Erstfrucht als Grünschnittroggen angebaut werden. Der Erntetermin zum Ährenschieben orientiert sich am optimalen Saatzeitpunkt der Zweitfrucht. Neben Mais und Sorghum sind Sommergetreidearten (Hafer, Gerste) mögliche Zweitfrüchte. Die Trockensubstanz-Gehalte des Grünschnittgetreides liegen dabei oftmals unter den geforderten 30%. Durch Anwelken auf dem Feld können höhere TS-Gehalte zur Vermeidung von Siliverlusten erreicht werden.

Fruchtfolge

Gute Vorfurche sind Blattfrüchte wie Raps, Rüben, Kartoffeln und Ackerfutter, aber auch Getreide ist im Einzelfall möglich (Winterweizen-Wintergerste, Hafer-Winterweizen). Bei engen Getreidefruchtfolgen sind allerdings Fruchtfolgekrankheiten und/oder ein erhöhter Schädlingsdruck zu beachten.

Zur humusschonenden Bewirtschaftung im Rahmen von Energiepflanzenfruchtfolgen ist ein Zwischenfruchtanbau sinnvoll.



Aussaat und Sortenwahl

Die Bestandesführung von GPS- und Grünschnittgetreide erfolgt grundsätzlich wie zur Kornnutzung. Als GPS-Getreide eignen sich vor allem massewüchsige Sorten mit einer ausgeprägten Blattgesundheit. Zudem sollten die Sorten eine gute Standfestigkeit aufweisen, um Lager und damit verbundene Ernteverluste sowie Schmutzeinträge in den Fermenter zu vermeiden (STICKSEL, 2010). Als Grünschnittgetreide sind Sorten zu empfehlen, die sich besonders für den Winterzwischenfruchtanbau eignen. Im Vergleich zur Körnernutzung zeichnen sich diese Sorten durch ein früher einsetzendes Massenwachstum, eine größere Wuchslänge, eine geringere Standfestigkeit und einen niedrigeren Korn-ertrag aus (STICKSEL et al., 2009).

Düngung

Die Düngung erfolgt auch beim Anbau von GPS-Getreide entsprechend des ertragsabhängigen Nährstoffbedarfs (Tab. 2.4). Für die N-Düngung muss der mineralische Stickstoff (N_{min}) und die N-Nachlieferung des Standortes (Boden, Vorfurche, Wirtschaftsdünger; siehe 3.2) berücksichtigt werden; die Höhe der Grundnährstoffdüngung ist neben dem Entzug von der Höhe der Bodenvorräte (Gehaltsklassen) abhängig.

Idealerweise werden Gärreste bzw. Gülle zur Düngung eingesetzt, um einen geschlossenen Nährstoffkreislauf sicherzustellen, wobei auf verlustarme Ausbringung geachtet werden muss. Beim Anbau von GPS-Getreide wird auf die letzte Stickstoff-Gabe (Qualitätsgabe) verzichtet.

TABELLE 2.4: NÄHRSTOFFENTZÜGE UND -BEDARF VON GRÜNSCHNITTGETREIDE UND GPS-GETREIDE

	Grünschnittgetreide (angewelkt)		GPS-Getreide (Milch- bis Teigreife)	
	Nährstoffentzug in kg je dt FM (35 % TS)	Nährstoffbedarf bei 18 t FM/ha in kg/ha	Nährstoffentzug in kg je dt FM (35 % TS)	Nährstoffbedarf bei 35 t FM/ha in kg/ha
N	0,39	90 ¹	0,44	174 ¹
P ₂ O ₅	0,21	38	0,20	70
K ₂ O	0,48	86	0,59	207
MgO	0,05	9	0,05	18

¹ incl. 20 kg N/ha für nicht erntbare Restpflanze

Pflege und Pflanzenschutz

Die Pflege- bzw. Pflanzenschutzmaßnahmen von GPS-Getreide erfolgen grundsätzlich wie zur Kornnutzung, wobei diese auf ein notwendiges Maß zu reduzieren sind. Ein Verzicht auf die Ährenbehandlung ist aufgrund des früheren Schnitzeitpunktes möglich. Um hohe Biomasseerträge zu erzielen, ist auch für die GPS-Nutzung der Getreidebestand bis zur Ernte gesund zu halten.

Ernte und Erträge

Idealerweise erfolgt die Ernte des stehenden Bestandes mit einem Feldhäcksler. Die optimale Siloreife wird im Stadium der Milch- bis Teigreife (Mitte/Ende Juni) bei ca. 30–33% TS-Gehalt erreicht. Als Hauptkultur können Erträge zwischen 10 und 20 t TM/ha erzielt werden.

Beim Anbau als Erst-/Vorfurche müssen Kompromisse hinsichtlich des Erntetermins geschlossen werden. Der TS-Gehalt sollte mindestens 25% (BBCH 83) betragen, da sonst die Sickersaftverluste zu groß sind. Erfolgt die Ernte des Grünschnittgetreides bereits Anfang bis Mitte Mai zum Zeitpunkt des Ährenschiebens (BBCH 51) bei TS-Gehalten von 20–25% kann durch Schwadmähen und anschließendem Anwelken auf dem Feld der TS-Gehalt erhöht werden. Das Schwadmähen und Anwelken erhöht jedoch die Gefahr der Verschmutzung des Erntegutes mit Sand und Steinen und verzögert gegebenenfalls die Einsaat der Haupt-/Zweitfrucht. Bei der Ernte des Grünschnittgetreides zum Zeitpunkt des Ährenschiebens sind Erträge von 4–8 t TM/ha erzielbar.

Die Ertragshöhe von Hafer ist stark abhängig von der Wasserverfügbarkeit: Bei guter Wasserversorgung und kühler Witterung sind Praxiserträge bis 12 t TM/ha möglich; bei sommertrockenen Standorten können sich diese auf 5–6 t TM/ha reduzieren. Unter den Getreidearten ist bezüglich Biomasseertrag der Wintertriticale aufgrund der Ertragshöhe und -stabilität der Verzug zu geben.

Versuchsergebnisse

Seit Herbst 2006 werden in Baden-Württemberg Feldversuche an fünf Standorten zur Ermittlung der Ganzpflanzenerträge von Wintertriticale, Winterweizen, Winterroggen und Wintergerste zur Nutzung als Rohstoff in der Biogasanlage durchgeführt. Es handelt sich um die Standorte Döggingen (Baar), Neuenstein (Hohenlohe), Bönnigheim (Gäulandschaften), Krauchenwies (Oberland), Rheinstetten-Forchheim (geringere Rheinebene) und Ettlingen (bessere Rheinebene). Der Standort Ettlingen wurde im Herbst 2008 als Ersatz für den Standort Rheinstetten-Forchheim in das Programm aufgenommen. Am Standort Rheinstetten-Forchheim wurde zur Ertragsabsicherung beregnet.

In Abbildung 2.3 sind die Trockenmasse-Gesamtpflanzen-erträge der geprüften Wintergetreidearten an den jeweiligen Standorten im Mittel über jeweils zwei geprüfte Sorten je Kulturart abgebildet.

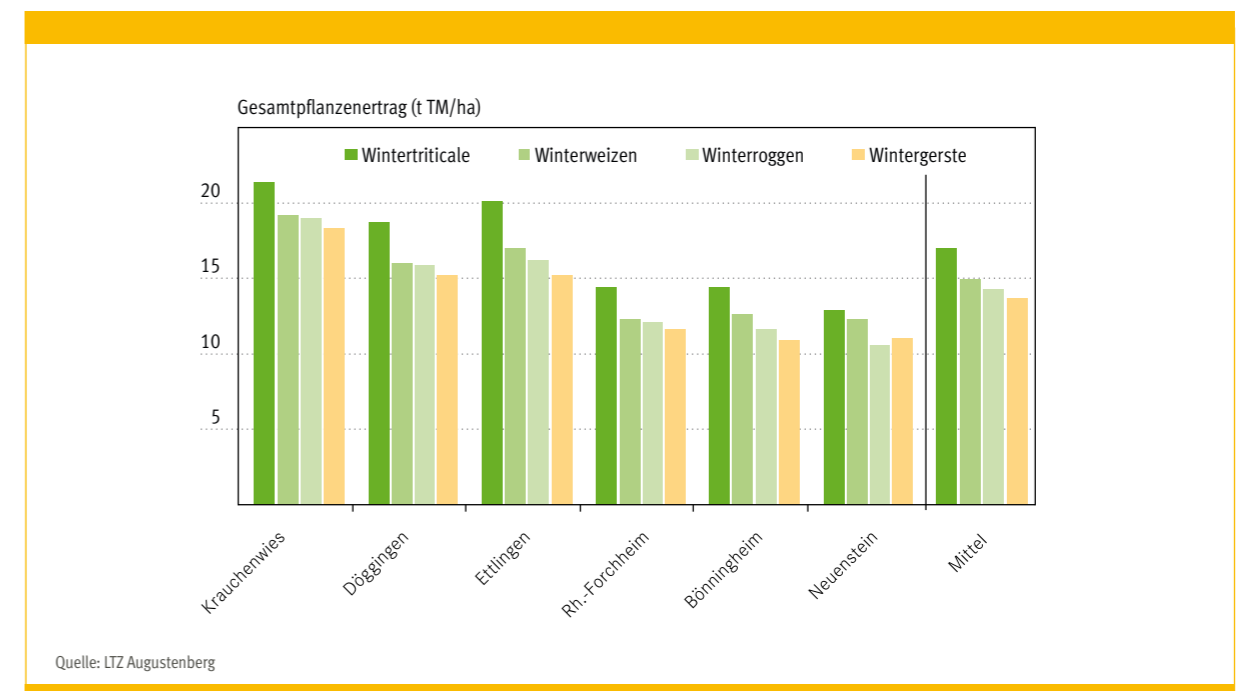


Abb. 2.3: Gesamtpflanzenerträge von Wintertriticale, Winterweizen, Winterroggen und Wintergerste an sechs Standorten in Baden-Württemberg (Durchschnitt 2007–2011; Rheinstetten-Forchheim: Durchschnitt 2007 und 2008; Ettlingen Durchschnitt 2009–2011)

Nahezu an allen Standorten zeigt sich die gleiche Reihenfolge in der Ertragsstärke der geprüften Wintergetreidearten:

Wintertriticale » Winterweizen » Winterroggen » Wintergerste

Als ertragsstärkste Wintergetreideart hat Wintertriticale über alle Standorte im Mittel der letzten fünf Jahre abgeschnitten. An den gut mit Wasser versorgten Standorten Krauchenwies, Döggingen und Ettlingen konnten im Mittel der geprüften Jahre Gesamtpflanzenenerträge bei Triticale von 18–21 t TM/ha geerntet werden. Mit einer absoluten Ertragsdifferenz von 2–3 t TM/ha folgte Winterweizen mit Gesamtpflanzenenerträgen zwischen 16 und 19 t TM/ha. Die Gesamtpflanzenenerträge bei Winterroggen lagen bei den kühl-feuchten Standorten auf einem Niveau mit Winterweizen, die Gerstenerträge waren um ca. 1 t TM/ha geringer. Am besseren Standort Ettlingen hatte Winterweizen einen marginalen Ertragsvorteil in Höhe von ca. 1 t TM/ha gegenüber Winterroggen.

An den warmen und zu Sommertrockenheit neigenden Standorten Rheinstetten-Forchheim, Bönnigheim und Neuenstein lagen die Triticaleerträge zwischen 13 und 14 t TM/ha und somit um 5–6 t TM/ha niedriger als an den kühl-feuchten bzw. frischen Standorten. Die Biomasseerträge von Winterweizen fielen, mit durchschnittlich 12,5 t TM/ha um ca. 2 t TM/ha, geringer aus als bei Wintertriticale. Winterroggen und Wintergerste erzielten bei begrenzter Wasserverfügbarkeit Gesamtpflanzenenerträge zwischen 10–12 t TM/ha.

Unter Berücksichtigung durchschnittlicher Silierverluste und Aschegehalte kann anhand der in Kapitel 4 dargestellten spezifischen Gasausbeuten der Gasertrag je Hektar errechnet werden: An kühl-feuchten und frischen Standorten sind auf Grundlage der beschriebenen Versuchsergebnisse mit den gegenwärtigen Triticalesorten zur Biomasseproduktion Methanerträge von 5.000 bis 5.500 m³/ha zu erzielen; die-

se sind mit Methanerträgen bei Mais im Oberland und auf der Baar vergleichbar bzw. sind sogar leicht überlegen. Am sehr warmen Standort Ettlingen lassen sich die Methanerträge von Mais aus Sortenversuchen (6.000–7.000 m³/ha) jedoch nicht erreichen. Mit Winterweizen, -roggen und -gerste lassen sich Methanerträge zwischen 4.000 und 5.000 m³/ha erzielen.

An warmen und zu Sommertrockenheit neigenden Standorten sind in Abhängigkeit der Bodengüte mit Wintergetreidearten Methanerträge zwischen 3.000 und 4.000 m³/ha möglich. An diesen Standorten sind C₄-Pflanzenarten den C₃-Gräsern somit eindeutig überlegen.

Zur Übertragung der in den Versuchen erzielten Gesamtpflanzenenerträge und der daraus abgeleiteten Methanerträge auf durchschnittliche Praxisbedingung müssen die Versuchs-Erträge um ca. 20 % gekürzt werden (siehe Ernte und Erträge).

Autoren: Kruse, S.; Nerlich, K.; Stolzenburg, K.; Zürcher, A. (LTZ)



Geerntete Versuchspartellen



Winterroggen und Wintergerste kurz vor der Ganzpflanzenernte



Wintergetreidearten (Roggen und Triticale) zur Ganzpflanzennutzung

2.3 Zuckerhirse/*Sorghum bicolor* und Sudangras/*Sorghum sudanense* Familie: Poaceae (Süßgräser)

Sorghumhirsen zählen wie Mais zu den C₄-Pflanzen. Alle großkörnigen Sorghumhirsen stammen vermutlich von der Wildart *Sorghum arundinaceum* ab, deren Domestikationsgebiet im nordöstlichen Teil Afrikas vermutet wird. Die daraus abgeleiteten einjährigen Kulturformen werden unter der Art *Sorghum bicolor* eingeordnet. In der Praxis werden die Sorten von *Sorghum bicolor* nach deren Hauptnutzungsrichtung und ihrem Gesamthabitus in einen Futtertyp, einen Körnertyp und einen Dualtyp eingeteilt (TFZ, 2012):

Sorghum bicolor – Futtertyp

- Zeichnet sich durch dickstängelige (bis zu 2,5 cm Durchmesser an der Stängelbasis) und wenig bestockende Pflanzen mit breitem Blatt (bis zu 7 cm) aus.
- Sehr massewüchsige Sorten. Es werden Wuchshöhen von über 4 m erreicht. Im Habitus ähnelt der Sorghum-Futtertyp dem Mais.
- Die Sorten des Futtertyps eignen sich zur Silagegewinnung
- Sortenbeispiele: Sucrosorgo 506, Goliath, Herkules, Zerberus

Sorghum bicolor – Körnertyp

- Züchterisch dahin gehend bearbeitet, dass maschineller Drusch möglich ist
- Vergleichsweise kurzstängelige (ca. 1,5 m hoch) Pflanzen; hohe Standfestigkeit und kompakte, einheitlich abreifende Rispe
- In Baden-Württemberg erste ertragreiche Anbauversuche zur reinen Körnernutzung; vielversprechend auch als Biogassubstrat
- Sortenbeispiele: Friggo, Arlys, Alföldi

Sorghum bicolor – Dualtyp

- Zwischenstellung zwischen dem Futter- und dem Körnertyp
- Große Variabilität in Habitus und Ertragsleistung
- Sortenbeispiel: Super Sile 15

Alle zur Futter- und Biomassenutzung angebaute *Sorghum bicolor*-Sorten und -Hybriden (*b * b*) des Futter- und Dualtyps werden allgemein als **Zuckerhirsen** bezeichnet.

Das „echte Sudangras“ (*Sorghum sudanense*) ist ein natürliches Kreuzungsprodukt aus *Sorghum bicolor* und der Wildart *Sorghum arundinaceum*. Durch züchterische Kreuzung von *Sorghum sudanense* und *Sorghum bicolor* stehen weitere Hybriden zur Verfügung, die im europäischen Sortenkatalog als Mischformen bezeichnet werden.



Alle zur Futter- und Biomassenutzung angebaute *Sorghum sudanense*-Sorten und die Mischformen zwischen *Sorghum sudanense* und *Sorghum bicolor* werden allgemein als **Sudangras** bezeichnet.

Sorghum sudanense – Sudangras

- Dünnstängelige (ca. 1 cm Durchmesser an der Stängelbasis), schmalblättrige (ca. 2,5 cm Blattbreite) und stark bestockende Sorghumart mit mittlerer Wuchshöhe von ca. 3 m
- Mehrschnittig nutzbar: Fähigkeit, Seitentriebe auszubilden, steht in Zusammenhang mit N-Versorgung, Wasserangebot und Belichtung des Bestockungsknotens und bleibt bis zum Vegetationsende erhalten
- Sortenbeispiele: Piper, Vercors, Akklimat

Sorghum bicolor x Sorghum sudanense

- Hybriden stellen hinsichtlich Stängeldicke, Blattbreite, Bestockungsneigung und Wiederaustriebsvermögen eine Zwischenstellung zwischen *Sorghum bicolor* (Futtertyp) und *Sorghum sudanense* dar.
- Sortenbeispiele: Susu, Bovital, Lussi

Aufgrund ihres hohen Biomassepotenzials eignen sich besonders massewüchsige Sorten des *Sorghum bicolor*-Futtertyps als Substrat für die Biogasanlage. Daneben eignen sich auch Sorten des *Sorghum bicolor* x *Sorghum sudanense* – Kompensationstyps zur Biogasproduktion. Aufgrund seines geringen Ertragspotenzials kommt das „echte Sudangras“ (*S. sudanense*) nur bedingt als Biogassubstrat infrage (LfULG, 2012).

Standortanspruch

Sorghum ist eine wärmeliebende Pflanze, die empfindlich auf Frost reagiert. Kälteschäden treten bereits ab 4 °C auf. Die Temperatursumme sollte deshalb in der Vegetationszeit (Mai bis September) ca. 2.500 °C betragen und die mittlere Tagestemperatur bei ca. 16 °C liegen. Sorghum zeichnet sich durch eine hohe Trockentoleranz aus. Bei Wassermangel können die Pflanzen in eine Art Trockenstarre übergehen und nach Regenfällen weiterwachsen. Viele Sorten weisen bei 450 mm Jahresniederschlag noch gute Erträge auf. Kalte und staunasse Böden sind für den Anbau von Sorghum ungeeignet. Ansonsten stellt die Pflanze keine besonderen Bodenansprüche. Optimal sind rasch erwärmende, tiefgründige Lehm- oder sandige Lehmböden.

Geeignete Anbauregionen in Baden-Württemberg sind die Rheinebene, die Bodenseeregion und das Kraichgau. Die Kultur lässt sich jedoch auch in anderen Gebieten etablieren, wenn die hohe Kälteempfindlichkeit der Jungpflanzen Beachtung findet und der Saattermin entsprechend angepasst wird.

Fruchtfolge

Sorghum ist selbstverträglich und lässt sich gut in die Fruchtfolge integrieren. Aufgrund des späten Saattermins und des hohen Nährstoff- und Wasseraneignungsvermögens ist ein Anbau in Zweitfruchtstellung in Gunstlagen möglich. Vorfrüchte sollten das Feld möglichst unkrautfrei räumen.

Nach derzeitigem Wissensstand ist Sorghum keine Wirtspflanze für den Westlichen Maiswurzelbohrer (*Diabrotica virgifera virgifera*) und kann deshalb als Alternative zu Mais in Befallsregionen angebaut werden.

Bodenbearbeitung

Für die Aussaat sollte eine bodenfeuchtebewahrende Saattbettbereitung erfolgen. Die Ansprüche an einen gut gelockerten, abgesetzten Boden mit feinkrümeligem Saattbett sind höher als bei Mais.

Aussaat

Es ist sowohl Einzelkornsaat oder Drillsaat möglich. Gesät wird ab dem 10. Mai bei einer Bodentemperatur von mindestens 12 °C und einer Saattiefe von 2–3 cm. Dabei ist die vom Züchter empfohlene Saatstärke einzuhalten; in Tabelle 2.5 sind Richtwerte zusammengestellt. Die Keimdauer beträgt etwa sieben Tage.

TABELLE 2.5: RICHTWERTE

Saatstärke und Reihenabstand von Zuckerhirse und Sudangras

	Saatstärke	Reihenabstand
Zuckerhirse	25 Körner/m ²	30–50 cm
Sudangras	50 Körner/m ²	30–75 cm

Arten- und Sortenwahl

Zu Sorghum werden in Baden-Württemberg seit vielen Jahren Arten- und Sortenprüfungen durchgeführt. Seit 2009 werden neben den bekannten Zuckerhirsensorten Super Sile 15, Super Sile 18 und Super Sile 20 die neuen Zuckerhirsensorten Sucrosorgho 506, Zerberus, Inka und Goliath sowie die Sudangrassorte Lussi (b*s) an den Standorten Boxberg (Bauland), Krauchenwies (Oberland), Ettlingen und Ladenburg (jeweils bessere Rheinebene) auf ihre Biomasseleistung zur Nutzung in der Biogasanlage geprüft. Die Ganzpflanzenernte zur Silagegewinnung wird zur späten Milch- bis Teigreife der Körner angestrebt (Mitte September bis Ende Oktober).

Das Sudangras Lussi erreichte über alle Standorte und Jahre im Mittel den höchsten TS-Gehalt von 27 % mit einer Variation von 26–30 % (Abb. 2.4). Dies bedeutet, dass eine sickersafffreie Silagebereitung in der Regel nur an den sehr warmen Standorten möglich ist. An den weniger begünstigten Standorten muss das Häckselgut des Sudangras Lussi gegebenenfalls gemeinsam mit Mais schichtenweise ins Silo eingebracht werden. Die Ertragsunterschiede über die Standorte und Jahre sind gering: 14,3–16,3 t TM von im Mittel 15 t TM/ha (Abb. 2.4).

Die älteren Zuckerhirsensorten Super Sile 15, Super Sile 18 und Super Sile 20 erzielten im Versuchsanbau an den kälteren Standorten Krauchenwies und Boxberg Trockenmasseerträge zwischen 10 und 12 t/ha bei TS-Gehalten zwischen 17 und 25 % in Abhängigkeit der Reifegruppe und Wasser-erfügbarkeit.

Mit den neueren Sorten (Sucrosorgho 506, Zerberus, Inka und Goliath) konnten an den kühlen Standorten die Erträge um 2–3 t TM/ha gesteigert werden. Am kühl-feuchten Standort Krauchenwies wurden im Mittel über alle Sorten und Jahre 15 t TM/ha bei mittleren TS-Gehalten von 20 % und am kühl-trockenen Standort Boxberg knapp 13 t TM/ha bei mittleren TS-Gehalten von 25 % geerntet.

Aufgrund der geringen TS-Gehalte muss gegenwärtig bei Silagebereitung noch von einem Anbau von Zuckerhirse in kühl-feuchten Klimaräumen abgeraten werden. Mais ist in den kühlen Klimaräumen den Sorghumhirsensorten aufgrund intensiver langjähriger züchterischer Bearbeitung überlegen.

An den warmen Standorten Ladenburg und Ettlingen wurden im Mittel der Jahre 2009–2011 mit den älteren Zuckerhirsensorten (Super Sile 15/18/20) 14 t TM/ha bzw. 17 t TM/ha bei TS-Gehalten zwischen 22 % und 25 % erreicht. Durch die neueren Zuckerhirsensorten konnten die Trockenmasseerträge im Mittel über alle Sorten in Ladenburg um 2 t auf 16 t und in Ettlingen um über 5 t auf 22 t je Hektar bei gleichzeitiger Zunahme der TS-Gehalte auf bis zu 28 % gesteigert werden.

Am frischen, nährstoffreichen Standort Ettlingen lassen sich mit den neueren Zuckerhirsensorten dem Mais vergleichbare Biomasseerträge erzielen. Die ertragsstärksten Sorten lagen bei über 23 t TM/ha.

Die Ertragszuwächse der Neuzüchtungen in den letzten Jahren lassen für die warmen Standorte weitere Fortschritte bezüglich der Verbesserung der TS-Gehalte erwarten. Die neuen Zuckerhirsensorten mit Wuchshöhen bis über 4 m erwiesen sich überwiegend als sehr standfest.

Unter Berücksichtigung der Aschegehalte, Siliverluste und spezifischen Gasausbeuten (s. Kap. 4) lassen sich aus den Versuchsergebnissen folgende potenziellen Methanerträge errechnen: Sudangras 3.500–4.000 m³/ha, Zuckerhirsensorten an wärmeren Standorten 5.000–6.000 m³/ha. Unter Praxisbedingungen liegen die nachhaltigen Biomasse- und Methanerträge ca. 20 % niedriger gegenüber den Versuchsergebnissen.

Wachstum und Entwicklung

Keimung und Jugendentwicklung der Pflanzen verlaufen bis zu einer Wuchshöhe von etwa 25 cm sehr zögerlich. Danach findet eine zügige Weiterentwicklung mit hohen täglichen Zuwachsraten an Biomasse statt.

Düngung

Sorghum verfügt über ein gutes Nährstoffaneignungsvermögen, benötigt für eine hohe Biomasseleistung jedoch auch ein entsprechend hohes Nährstoffangebot. Nährstoffentzüge sowie -bedarf von Zuckerhirsensorten und Sudangras sind in Tabelle 2.6 aufgeführt. Für die N-Düngung muss der mineralische Stickstoff (N_{min}) und die N-Nachlieferung des Standortes (Boden, Vorfrucht, Wirtschaftsdünger; s. 3.2) berücksichtigt werden. Organische Dünger, wie Stallmist, Gülle, Jauche und Gärreste, die möglichst vor der Saat einzuarbeiten sind, werden im Allgemeinen gut verwertet; die Höhe der Grundnährstoffdüngung ist neben dem Entzug von der Höhe der Bodenvorräte (Gehaltsklassen) abhängig.

Pflege und Pflanzenschutz

Aufgrund der zögerlichen Jugendentwicklung ist eine Unkrautbekämpfung in der Regel unverzichtbar. Mit einer mechanischen Reihenhacke kann der Sorghumbestand bereits weitestgehend unkrautfrei gehalten werden. Ist ein Herbizideinsatz unumgänglich, steht derzeit eine Auswahl zugelassener Nachauflaufmittel zur Verfügung. Weitere Genehmigungen sind im Einzelfall zu beantragen (§ 22 (2) PflSchG). Soll Sorghum als Zwischenfrucht angebaut werden, ist auf eventuell vorhandene Nachbaubeschränkungen zu achten. Maiszünslerbefall (*Ostrinia nubilalis*) ist zu beobachten, tritt jedoch weniger stark auf als bei Mais.

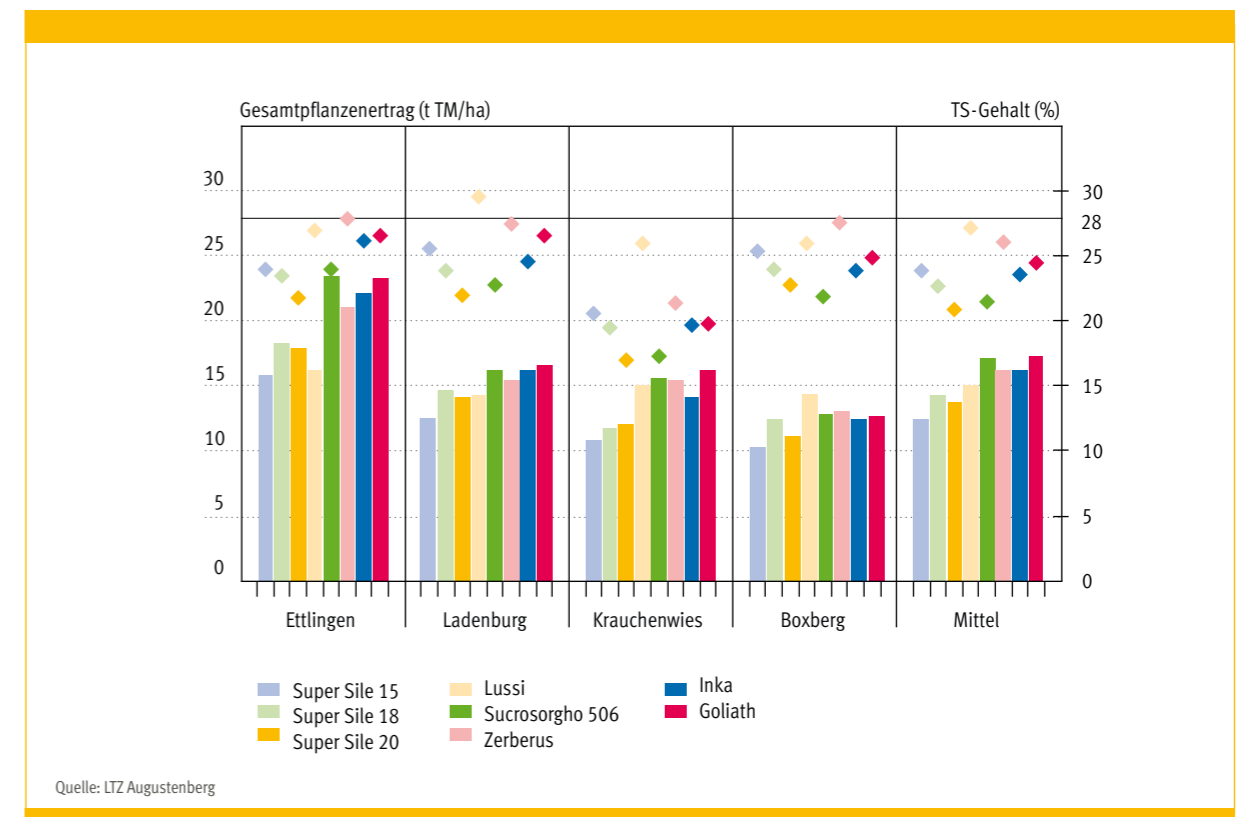


Abb. 2.4: Gesamtpflanzenerträge (t TM/ha) und TS-Gehalte (%) verschiedener Sudangras- und Zuckerhirsensorten an vier Standorten in Baden-Württemberg (Durchschnitt 2009–2011)

Ernte und Erträge

Sorghum kann mit herkömmlicher Häckseltechnik und reihenunabhängigem Schneidwerk (Kempervorsatz) geerntet werden. Um die Bildung von Silagesickersaft zu verhindern, sollte der TS-Gehalt zum Zeitpunkt der Ernte über 28% liegen. Jedoch wird dieser TS-Gehalt, in Abhängigkeit von der Sorte und den Witterungsbedingungen, nicht immer erreicht. Die optimale Häcksellänge des Grün-guts liegt zwischen 3 und 5 cm. Zuckerhirse wird üblicherweise einschneitig genutzt, bei Sudangras können gegebenenfalls zwei Schnitte erfolgen. Allerdings wird der Aufwuchs dann jeweils mit recht niedrigem TS-Gehalt geerntet.

Die Erträge sind stabil und überdurchschnittlich hoch. Das Biomasseertragspotenzial von Sorghum entspricht unter optimalen klimatischen Bedingungen dem der leistungsfähigsten Energiemaissorten, wobei Zuckerhirse mehr Ertrag bringt als Sudangras. Abhängig von Sorte, Standort und Witterung werden Erträge zwischen 8 und 20 t TM/ha erzielt; auf Gunststandorten lassen sich mit den neueren Zuckerhirsesorten mittlere Erträge um 16 t TM/ha erzielen.

Bei gleichem Gesamtpflanzen-ertrag je Flächeneinheit ist der Methanertrag bei Sorghum aufgrund des höheren Asche- und Ligningehalts generell niedriger als bei Mais. Die spezifische Methanausbeute bei Zuckerhirsen und Sudangras liegt bei ca. 300 l₀/kg oTM (s. Kap. 4).

Autoren: Nerlich, K.; Stolzenburg, K.; Zürcher, A. (LTZ)



Sudangras (*Sorghum sudanense*)



Zuckerhirse (*Sorghum bicolor*)

TABELLE 2.6: NÄHRSTOFFENTZÜGE UND -BEDARF VON ZUCKERHIRSEN UND SUDANGRAS

	Zuckerhirsen (Milch- bis Teigreife)		Sudangras (Teigreife der Körner)	
	Nährstoffentzug in kg je dt FM (22% TS)	Nährstoffbedarf bei 60 t FM/ha in kg/ha	Nährstoffentzug in kg je dt FM (25% TS)	Nährstoffbedarf bei 48 t FM/ha in kg/ha
N	0,35	230 ¹	0,27	150 ¹
P ₂ O ₅	0,17	102	0,23	110
K ₂ O	0,52	312	0,38	182
MgO	0,05	30	0,09	43

¹ incl. 20 kg N/ha für nicht erntbare Restpflanze

2.4 Gras und Klee-gras

Der Anbau von Gras und Klee-gras ist sehr vielfältig. Unter der Bezeichnung Klee-gras werden verschieden zusammengesetzte Mischungen aus Gräsern und Leguminosen verstanden, wobei die Artenzusammensetzung entsprechend den Standortverhältnissen (Boden, Klima), der Nutzungsart, -häufigkeit, -dauer und den gewünschten Qualitätseigenschaften variiert (Tab. 2.7). Unterschieden werden folgende Anbausysteme:

- Einjähriger Anbau: Gräser und Leguminosen mit einer schnellen Jugendentwicklung aber mangelnder Winterhärte.
- Überjähriger Anbau: Hierfür eignen sich Arten, die mindestens einen Winter überstehen. Auf gut mit Wasser versorgten Standorten wird Welsches Weidelgras, meist in Kombination mit Rotklee, verwendet.
- Mehrjähriger Anbau: winterharte Arten, die mindestens zwei Jahre genutzt werden. Einer langsameren Bestandesetablierung steht die längere Nutzungsdauer gegenüber.

Fruchtfolge

Eine frühräumende Vorfrucht zur Bestandesetablierung im Spätsommer ist günstig. Zudem ist der Anbau von Welschem Weidelgras als Zwischenfrucht nach frühräumender Getreide-GPS möglich.

Wegen der Gefahr von Fruchtfolgekrankheiten (z.B. Klee-krebs (*Sclerotinia trifoliorum*) oder Luzernerwelke (*Verticillium*)) sollte eine Anbaupause von mindestens vier Jahren eingehalten werden. Zu beachten ist, dass Raps dem Klee-kreiserreger als Zwischenwirt dienen kann. Klee-gras hinterlässt einen hohen Vorfruchtwert.

Saat

Der Saatzeitpunkt hat starke Auswirkungen auf das Ergebnis des Klee-grasanbaus. Die Aussaat im Herbst bietet deutlich bessere Ertragsaussichten, sie ist der Grundstein für eine optimale Ertragsbildung mit Beginn der Vegetationsperiode im folgenden Frühjahr. Erst im Frühjahr ausgesäte Gräser und Klee-grasmischungen benötigen für die Etablierung des Bestands die produktivste Wachstumsphase im Jahr. Je kürzer die Nutzungsdauer ist, umso bedeutender wird dies. Beim „Aulendorfer Klee-grasversuch“ lagen die mittleren TM-Erträge über drei Jahre und vier Klee-grasmischungen bei der Frühjahrsaussaat bei 10,9 t/ha und für die Herbstsaat bei 12,8 t/ha (WURTH, 2012).

Wegen des feinkörnigen Saatgutes von Gräsern und Leguminosen darf nicht tiefer als 1–2 cm gesät werden. Eine gute Rückverfestigung des Saatbettes ist für die Wasserführung vom Unterboden und zum oberflächlichen Eindringen von Steinen zur späteren Schonung der Mähwerkzeuge sehr wichtig. Eine Breitsaat bzw. enge Reihenabstände fördern



die schnelle Bodenbedeckung, was für die Unkrautunterdrückung in der Jugendentwicklung bedeutend ist.

Bei Untersaat in Getreide oder Mais kann die Saatstärke reduziert werden. Bei starker Entwicklung der Untersaat kann die Deckfrucht beeinträchtigt werden. Ein Herbizideinsatz ist nur eingeschränkt möglich.

Die Saatmenge ist entsprechend den Mischungsangaben einzuhalten (Tab. 2.8). Nur unter erschwerten Bedingungen (Witterung, späte Saat) kann die Saatmenge erhöht werden.

Düngung

Die Versorgung mit Grundnährstoffen erfolgt auf Grundlage der Ertragserwartung, der Nährstoffentzugswerte und der Bodengehaltsklassen. Bei einem FM-Ertrag von 50 t/ha werden 70–80 kg/ha P₂O₅ und 300–400 kg/ha K₂O entzogen (Tab. 2.9).

Die Versorgung mit Stickstoff (N) muss in Abhängigkeit vom Leguminosenanteil und der damit verbundenen N-Fixierung durch die symbiotischen Bakterien geplant werden. Je Prozent Kleeanteil kann mit 3–4 kg N-Bindung je Hektar gerechnet werden (Tab. 2.10). Klee-gras und Gras eignen sich aufgrund der Schnitthäufigkeit und der ganzjährigen Begrünung sehr gut zur Ausbringung von Wirtschaftsdüngern.

Pflege und Pflanzenschutz

Herbizidmaßnahmen sind meist nicht notwendig. Bei starkem Unkrautdruck kann in der Jugendentwicklung ein Schröpfschnitt bei ca. 15 cm Wuchshöhe erforderlich werden.

TABELLE 2.7: GRAS- UND KLEEGRAS-ARTEN UND IHRE ANSPRÜCHE

Einjähriger Anbau (nicht winterharte Arten)	Einjähriges Weidelgras: frische bis feuchte Lagen; häufige Nutzung Persischer Klee: schnellwüchsig; wärmeliebend; trockenheitsresistent Alexandrinischer Klee: schnellwüchsig; wärmeliebend
Überjähriger Anbau (begrenzt winterharte Arten)	Welsches Weidelgras: frische bis feuchte Lagen; häufige Nutzung Rotklee: ertragsstark bei ausreichendem Wasserangebot; intensiv nutzbar; kleekebsanfällig
Mehrfähriger Anbau (winterharte Arten)	Deutsches Weidelgras: narbendichtes Untergras; ausdauernd; intensive Nutzung, mind. 4 Nutzungen/Jahr; frische bis feuchte Standorte; in rauen Lagen mit langer Schneebedeckung (> 700 mm NN) auswinterungsgefährdet Horstbildende Obergräser Wiesenschwingel: wenig verdrängend; max. 3–4 Nutzungen/Jahr Wiesenlieschgras: wenig verdrängend; ohne besondere Standortansprüche, 3–5 Nutzungen/Jahr Knautgras: langsame Jugendentwicklung danach sehr konkurrenzfähig; horstbildend; trockenheitsverträglich; intensiv nutzbar, 3–5 Nutzungen/Jahr Glatthafer: trockenheitsverträglich; horstbildend; max. 3–4 Nutzungen/Jahr Leguminosen Rotklee: winterhart in den ersten Jahren; ertragsstark bei ausreichendem Wasserangebot; kleekebsanfällig; intensiv nutzbar Luzerne: ausdauernd; trockenheitstolerant; auf kalkreichen, tiefgründigen Böden sehr ertragsfähig; sehr empfindlich gegen Bodenverdichtungen; intensiv nutzbar bei kurzer Nutzungsdauer bis 5 Nutzungen/Jahr Weißklee: ausdauernd; niedriger, kriechender Wuchs; trockenheitsempfindlich; intensiv nutzbar; empfindlich gegenüber Lichtkonkurrenz der Obergräser; guter Partner von Deutschem Weidelgras (Untergras)

Wachstum und Entwicklung

Obwohl im ersten Aufwuchs Gras dominiert, weisen viele Kleegrasmischungen in den Sommermonaten hohe bis sehr hohe Kleeanteile auf. Grund dafür ist, dass Leguminosen mit hohen Temperaturen besser zurecht kommen als Gräser. Den flach wurzelnden Gräsern wird es im Sommer häufig zu trocken. Trockenheit im Oberboden hat nicht nur Wassermangel zur Folge, sondern schränkt auch die Mineralisation von Nährstoffen im Boden ein. Leguminosen

wurzeln im Gegensatz zu den Gräsern tiefer, kommen dadurch in Trockenphasen besser an Wasser und sind bei der Stickstoffversorgung autark. Erst mit Einsetzen der Herbstniederschläge finden die Gräser wieder bessere Wachstumsbedingungen vor und werden wieder konkurrenzfähiger. Frühjahrs- und sommerbetonte Stickstoffdüngung verbessert die Konkurrenzfähigkeit der Gräser, sofern Wasser zur Verfügung steht.

TABELLE 2.8: REGELNSAATMISCHUNGEN FÜR DEN ACKERFUTTERBAU BADEN-WÜRTTEMBERG

	AFÜ		AFMI		AFMF		AFMT		AFML	
	überjährig		mehrfährig							
Nutzungen: bis Siliereignung:	5–6 +		5 +		3–4 +/-		3–4 +/-		3–4 -	
Standortanspruch:	frisch		frisch, weidelgrassicher		frisch		trocken		trocken-frisch kalkreich	
Arten	kg/ha	%	kg/ha	%	kg/ha	%	kg/ha	%	kg/ha	%
Welsches Weidelgras	25	83								
Deutsches Weidelgras			17	68	2	8				
Wiesenschwingel					12	48	9	30	3	10
Wiesenlieschgras			3	12	4	16	4	13	3	10
Glatthafer							2	7		
Knautgras							2	7	3	10
Rotklee	5	17	3	12	7	28	5	17		
Weißklee			2	8						
Luzerne							8	26	21	70
Saatmenge	30	100	25	100	25	100	30	100	30	100

AF = Ackerfutter M = mehrjährig F = frischer Standort L = Luzerne
 Ü = überjährig I = intensive Nutzung T = trockener Standort

TABELLE 2.9: NÄHRSTOFFENTZÜGE UND -BEDARF VON GRAS, KLEEGRAS UND GEMENGE

	Nährstoffentzug in kg je dt FM (20% TS)				Nährstoffbedarf bei 50 t FM/ha in kg/ha			
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	MgO	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	MgO
Weidelgras	0,48	0,16	0,65	0,05	260 ¹	80	325	25
Feldgras	0,48	0,16	0,65	0,08	260 ¹	80	325	40
Rotklee	0,55	0,13	0,60	0,10	275	65	300	50
Luzerne	0,60	0,14	0,65	0,07	300	70	325	35
Kleegras unter 30% Klee	0,50	0,14	0,62	0,07	270 ¹	70	310	35
Kleegras (50:50)	0,52	0,14	0,62	0,07	280 ¹	70	310	35
Kleegras, über 70% Klee	0,54	0,14	0,62	0,07	290 ¹	70	310	35
Landsberger Gemenge	0,52	0,14	0,62	0,07	280 ¹	70	310	35

¹ incl. 20 kg N/ha für nicht erntbare Restpflanze

TABELLE 2.10: STICKSTOFFDÜNGEBEDARF BEI KLEEGRAS IN ABHÄNGIGKEIT DES LEGUMINOSENANTEILS

Über 70% Leguminosen:	Keine N-Düngung; N-Versorgung ausschließlich durch N-Fixierung
Um 50% Leguminosen:	30–40 kg N/ha Startgabe im Frühjahr zur Förderung der Gräser
Unter 30% Leguminosen:	N-Düngung nach Entzug abzüglich der N-Nachlieferung und N _{min}



Kleegrasmischung

Ernte und Erträge

Abhängig von Standort und Mischung sind 3 bis 5 Nutzungen im Hauptnutzungsjahr erforderlich. Gegenüber der Verwertung durch Wiederkäuer kann bei der Nutzung zur Biogasgewinnung die Nutzungshäufigkeit um einen Schnitt reduziert werden; bedingt durch die längere Verweildauer im Biogasreaktor gegenüber dem Rinderpansen können Hemicellulosen und Cellulosen besser aufgeschlossen werden.

Beim Gras- und Klee-grasanbau ist generell ein Anwelken zur Erhöhung der TS-Gehalte bei Silagegewinnung notwendig. Je höher der Leguminosenanteil ist, desto schwerer silierbar wird das Erntegut. Gräser haben im Gegensatz zu Leguminosen einen höheren Zuckergehalt (9 bis 15 %), der von den Milchsäurebakterien gut zur Säurebildung genutzt werden kann. Bei den Leguminosen puffert neben dem niedrigen Zuckergehalt auch der hohe Eiweißgehalt die

Milchsäurebildung ab. Bei Leguminosenanteilen über 50 % im Siliergut ist es wichtig, etwas stärker anzuwelken (35 bis 40 % TS), evtl. Silierzusätze zu verwenden bzw. den Grasanteil zu fördern, um so die Nährstoffkonzentration im Erntegut zu erhöhen (WURTH, 2012).

In Feldversuchen erwiesen sich das Knaulgras und Klee-grasmischungen dem Deutschen Weidelgras als überlegen. An warmen und sommertrockenen Standorten der Rheinebene lassen sich mit Gras und Klee-gras Erträge zwischen 7 und 12 t TM/ha und Jahr erzielen. In den kühleren Gäulandschaften und der Hohenloher Ebene sind mit mehrjährigem Gras und Klee-gras Erträge zwischen 14 und 19 t/ha und Jahr möglich. Im kühl-feuchten Oberland kann beim Anbau mehrjähriger Gras- und Klee-grasmischungen mit 10–13 t TM/ha und Jahr kalkuliert werden (siehe Versuchsergebnisse).

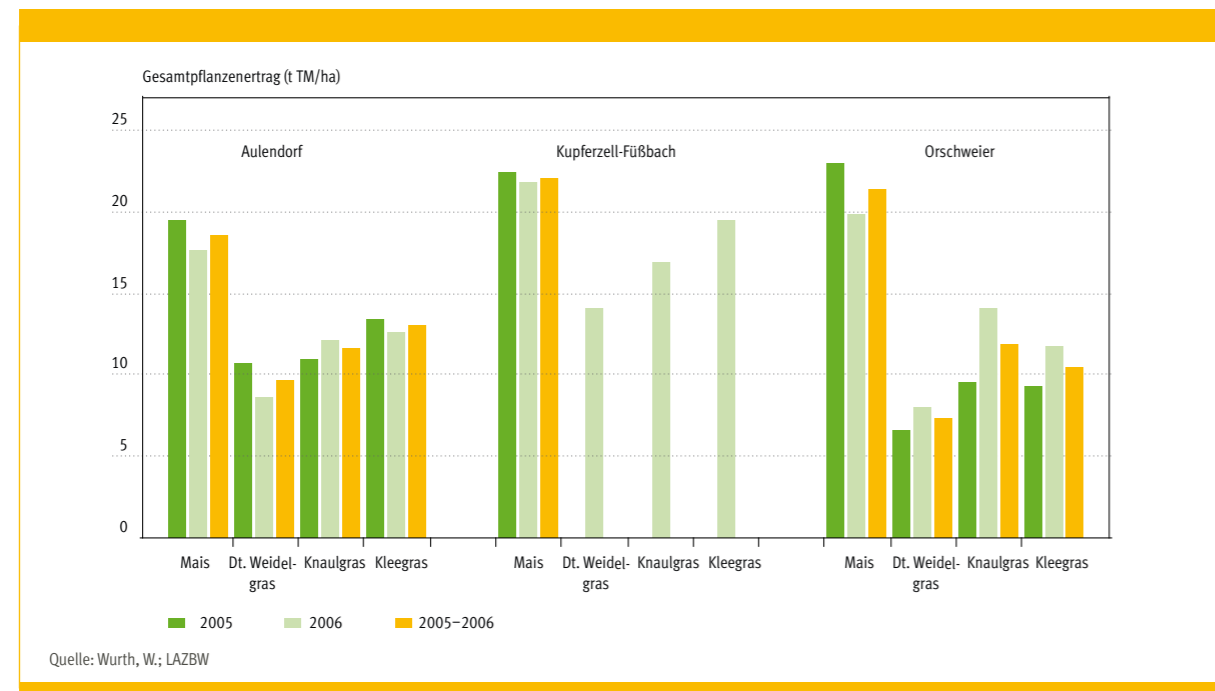


Abb. 2.5: Erträge von Silomais, Deutschem Weidelgras, Knaulgras und Klee-gras an den Standorten Aulendorf, Kupferzell-Fußbach und Orschweier (2005–2006)

Versuchsergebnisse

In den Jahren 2004 bis 2006 wurden in Baden-Württemberg verschiedene Gras- und Klee-gras-Arten als Alternative zu Mais an drei repräsentativen Standorten auf Biomasseleistung und Eignung als Substrat für die Biogasanlage geprüft. Die Prüfung erfolgte an den Standorten Aulendorf im Oberland, Kupferzell-Fußbach in Hohenlohe und Mahlberg-Orschweier in der Rheinebene mit den Kulturarten Mais, Deutschem Weidelgras (3 Sorten), Knaulgras (2 Sorten) und einer Klee-grasmischung mit Luzerne, Rotklee, Wiesenschwingel, Lieschgras, Glatthafer und Knaulgras.

Die Aussaat der Futtergräser erfolgte in Aulendorf in der ersten Augushälfte 2004 und in Mahlberg-Orschweier Anfang September 2004. In Kupferzell-Fußbach war eine Aussaat erst im April 2005 möglich, sodass nur Erträge aus 2006 zum Vergleich herangezogen werden können.

Im Mittel der Jahre 2005 und 2006 konnten an allen Standorten mit Mais die höchsten Gesamtbio-masseerträge erzielt werden: 21,4 t TM/ha am Standort Mahlberg-Orschweier, 22,1 t TM/ha am Standort Kupferzell-Fußbach und 18,6 t TM/ha am Standort Aulendorf (Abb. 2.5); die mittels Hohenheimer Biogastest (HBT) ermittelten Methanerträge liegen zwischen 6.000 bis 7.000 m³/ha (nicht dargestellt). Mais konnte an allen Standorten und Jahren mit TS-Gehalten von mindestens 30 % geerntet werden.

Am kühlen, niederschlagsreichen Standort Aulendorf konnten beim deutschen Weidelgras 9,7 t TM/ha, beim Knaulgras 11,6 t TM/ha und beim Klee-gras 13,1 t TM/ha im Mittel der Jahre 2005 und 2006 geerntet werden. Die Methanerträge liegen bei 3.000–3.500 m³/ha.

Am etwas wärmeren, sommertrockenen Standort Kupferzell-Fußbach konnten 2006 14 t TM/ha Deutsches Weidelgras, 16,9 t TM/ha Knaulgras und 19,4 t TM/ha Klee-gras geerntet werden; aufgrund der späten Bestandesbegründung in 2005 können nur Erträge aus 2006 berücksichtigt werden. Die Methanerträge aus einjähriger Prüfung schwanken zwischen 4.000 m³/ha beim Deutschen Weidelgras bis 5.500 m³/ha beim Klee-gras.

Am sehr warmen Standort Mahlberg-Orschweier wurden mit Deutschem Weidelgras im zweijährigen Mittel 7,3 t TM/ha, mit Klee-gras 10,6 t TM/ha und mit Knaulgras 11,8 t TM/ha geerntet. Bedingt durch die höheren Sommer-Temperaturen am Standort sind die Erträge der C₃-Pflanzen in Mahlberg-Orschweier geringer als an den beiden anderen Standorten. Mit Weidelgras können Methanerträge in Höhe von 2.000 m³/ha, mit Klee-gras von 3.000 m³/ha und mit Knaulgras von 3.500 m³/ha erzielt werden. Die Methanerträge des Acker-/Klee-grases waren somit nur etwa halb so hoch wie bei Mais.



Luzerne

Am schlechtesten schnitt über alle Standorte bezüglich Bio-masseertrag und Gasausbeute das Deutsche Weidelgras ab. An den kühlen Standorten schnitt die Klee-grasmischung am besten ab. Klee-gras hat durch die Kombination von Gräsern und Leguminosen eine höhere Anpassungsfähigkeit an Boden und Klima.

Ackerbauliche Vorteile

Aufgrund der ganzjährigen Pflanzendecke dienen Gras und Klee-gras dem Erosionsschutz und verdrängen durch mehrmaligen Schnitt und Beschattung unerwünschte Pflanzen. Durch intensive Oberbodendurchwurzelung der Gräser und Unterbodenaufschluss durch die Pfahlwurzeln von Leguminosen, findet Nährstoffmobilisierung und Humusaufbau statt. Darüber hinaus sind Leguminosen in der Lage mit Hilfe von symbiotisch lebenden Knöllchenbakterien Stickstoff aus der Luft zu binden.

Bedingt durch die hohe Schnitthäufigkeit bietet sich zusätzlich die Möglichkeit, Gärreste in mehreren Gaben auszubringen. Aufgrund mehrmaliger Erntetermine steigen jedoch die Maschinenkosten, was die Wirtschaftlichkeit des Gras- und Klee-grasanbaus stark beeinflusst.

Autoren: Nerlich, K. (LTZ); Wurth, W. (LAZBW); Zürcher, A. (LTZ)

2.5 Sonnenblume/*Helianthus annuus* Familie: Compositae (Korbblütler)

Die Sonnenblume zählt zur Familie der Korbblütengewächse (*Compositae*) und stammt aus den ariden Gebieten Nordamerikas. Im 16. Jahrhundert brachten spanische Seefahrer die Pflanze nach Europa.

Sonnenblumen bilden eine Pfahlwurzel mit zahlreichen Seitenwurzeln aus. Die aufrechten, markgefüllten Stängel sind kräftig ausgebildet und erreichen eine Höhe von bis zu vier Meter. Neben den am Markt vorhandenen Sonnenblumensorten zur Ölnutzung sind in den vergangenen Jahren großwüchsige, biomassereiche Sonnenblumensorten zur Nutzung als Biogassubstrat gezüchtet worden.

Standortanspruch

Sonnenblumen stellen keine hohen Ansprüche an die Bodenart. Am besten geeignet sind jedoch humose, nährstoffreiche, tiefgründige Böden mit guter Wasserversorgung, ohne Verdichtung. Die Pflanzen bevorzugen warmes sowie trockenes Klima und sind relativ frostunempfindlich im Jugendstadium bis -5°C . Aufgrund der tiefen Pfahlwurzel zeichnen sich Sonnenblumen durch ein gutes Nährstoff- und Wasseraneignungsvermögen aus.

Fruchtfolge

Geeignete Vorfrüchte für Sonnenblumen sind Getreide, Mais und Hackfrüchte. Dagegen scheiden Raps, Tabak und Topinambur als Vorfrucht aus, da die Sonnenblume eine hohe Anfälligkeit gegenüber dem Erreger der Weißstängeligkeit (*Sclerotinia sclerotiorum*) aufweist. Ebenfalls sind Vorfrüchte mit hoher Stickstoff-Nachlieferung (Leguminosen, Gemüse) zu meiden. Da die Sonnenblume nur gering selbstverträglich ist, muss eine Anbaupause von mindestens vier Jahren eingelegt werden. Sonnenblumen hinterlassen einen gut durchwurzelten Boden, allerdings muss die Auszehrung des Wasser- bzw. Kaliumvorrats beachtet werden. Sonnenblumendurchwuchs in der Folgefrucht kann durch flache, nicht wendende Bodenbearbeitung vorgebeugt werden.

Bodenbearbeitung

Die Bodenbearbeitung sollte unbedingt bodenschonend und wassersparend durchgeführt werden. Neben der klassischen Winter- bzw. Frühjahrsfurche ist auch eine pfluglose Bodenbearbeitung möglich.

Aussaat

Die Aussaat erfolgt ab Ende März bis Anfang April bei einer Bodentemperatur von $6-8^{\circ}\text{C}$. Die Saat sollte nur bei abgetrocknetem Feld durchgeführt werden, da die Sonnenblume stark auf Verdichtung reagiert (Fahrspuren). Je nach Boden erfolgt die Aussaat in einer Tiefe von ca. 3–6 cm mit einem Einzelkornsäuger. Die Bestandesdichte liegt in Abhängigkeit des Standorts (Boden, Wasserverfügbarkeit) zwischen



6 und 8 Pflanzen/m² und der Reihenabstand bei 45–75 cm. Für die Nutzung als Biogassubstrat sind großwüchsige, biomassereiche Sonnenblumensorten anzubauen.

Düngung

Für einen hohen Sonnenblumenertrag ist eine Düngung von 80 kg Stickstoff ausreichend. Zu hohe N-Gaben steigern Lager und die Krankheitsanfälligkeit. Für die N-Düngung ist zusätzlich der mineralische Stickstoff (N_{min}) und die N-Nachlieferung des Standortes (Boden, Vorfrucht, Wirtschaftsdünger; siehe 3.2) zu berücksichtigen. Der hohe Bedarf an Kalium muss beachtet und entsprechend den Ertragserwartungen und Bodenvorräten (Gehaltsklassen) aufgedüngt werden. Sonnenblumen sind chloridempfindlich, somit sollte auf chloridhaltige Kalidünger im Frühjahr verzichtet werden. Aufgrund der Höhe der Kalienzüge sollte die Kaliumausgleichsdüngung nicht vollständig in einer Gabe zu Sonnenblumen erfolgen, sondern über die Fruchtfolgeglieder aufgeteilt werden. Eine ausreichende Versorgung mit Spurennährstoffen muss sichergestellt sein.

Bei der Ganzpflanzenernte im Stadium der Zitronenreife (23% TS) ist mit den in Tabelle 2.11 dargestellten Nährstoffentzügen zu rechnen:

TABELLE 2.11: NÄHRSTOFFENTZÜGE UND -BEDARF VON SONNENBLUMEN ZUR GANZPFLANZENNUTZUNG

	Nährstoffentzug in kg je dt FM (23% TS)	Nährstoffbedarf bei 35 t FM/ha in kg/ha
N	0,47	185 ¹
P ₂ O ₅	0,12	42
K ₂ O	0,98	343
MgO	0,05	18

¹ incl. 20 kg N/ha für nicht erntbare Restpflanze

Pflege und Pflanzenschutz

Möglichst unkrautfreie Sonnenblumenbestände bis zum Reihenschluss sind nötig, um Wachstumsdepressionen zu vermeiden. Chemische Pflanzenschutzmittel werden vor allem im Voraufbau eingesetzt. Bis zum 5–6 Blatt-Stadium ist eine mechanische Bekämpfung der Begleitflora durch Hacken möglich. Dem Schnecken- und Vogelfraß an den jungen Pflanzen ist ebenso entgegenzuwirken wie dem Befall von Blattläusen.

Sonnenblumen werden von einer Vielzahl pilzlicher Erreger wie der Weißstängeligkeit (*Sclerotinia sclerotiorum*), dem Grauschimmel (*Botrytis cinerea*) und dem Falschen Mehltau (*Plasmopara helianthi*) befallen, denen bei entsprechender Fruchtfolge- und Anbaugestaltung entgegengewirkt werden kann.

Ernte und Erträge

Sonnenblumen können mit herkömmlicher Häckseltechnik und reihenunabhängigem Schneidwerk (Kempervorsatz) geerntet werden. Die Ganzpflanzenernte wird im Stadium der Zitronenreife (Rückseite des Korbes gelblich-grün) als Kompromiss zwischen zur Silierung ausreichendem Trockensubstanz-Gehalt und niedrigen Gerüstsubstanzengehalten durchgeführt. Zur Erhöhung der TS-Gehalte und Verbesserung der Siliereigenschaften hat sich in der Praxis der Mischfruchtanbau von Sonnenblumen mit Mais zur Biogasnutzung bewährt.

Auf leichten Standorten sind Praxiserträge bis 7 t TM/ha und auf guten Standorten im Mittel der Jahre bis 12 t TM/ha bei Trockensubstanz-Gehalten zwischen 20 und 25% (Gesamtpflanze) möglich.



Sonnenblumen sind Nahrungsquelle für viele Insekten

Versuchsergebnisse

Neben den im Rahmen der EVA-Fruchtfolge untersuchten Sonnenblumen-Fruchtfolgegliedern am Standort Ettlingen (bessere Rheinebene), wurden 2006 im Rahmen landesweiter Arten- und Sortenprüfungen mehrere Sonnenblumensorten am Standort Rheinstetten-Forchheim (geringere Rheinebene) zur Prüfung der Biomasseleistung und Eignung für die Biogasanlage in das Untersuchungsprogramm aufgenommen.

Am Standort Ettlingen wurde über alle Fruchtfolgen und Jahre ein durchschnittlicher Sonnenblumen-Ganzpflanzenertrag von 14 t TM/ha bei TS-Gehalten um 20% erzielt (siehe Kap. 3.1). In Rheinstetten-Forchheim konnten in einjähriger Prüfung (2006) im Mittel über alle Sorten Trockenmasseerträge von 8 t/ha bei TS-Gehalten um 20% geerntet werden. Aufgrund des geringen Ertragspotenzials und niederen TS-Gehalten zur Ernte der zu Verfügung stehenden Sonnenblumensorten, wurde in Rheinstetten-Forchheim die weitere Prüfung in den Folgejahren eingestellt.

Die aus diesen Erträgen errechneten Methanerträge liegen am Standort Ettlingen bei 3.000 m³/ha und am Standort Rheinstetten-Forchheim bei weniger als 2.000 m³/ha gegenüber mehr als 6.000 m³/ha bei Mais.

Autoren: Kruse, S.; Nerlich, K.; Stolzenburg, K.; Zürcher, A. (LTZ)



Sonnenblumen zur Biogaserzeugung

2.6 Zuckerrübe/Beta vulgaris
 Familie: Chenopodiaceae
 (Gänsefußgewächse)

Zuckerrüben werden zunehmend als Biogassubstrat eingesetzt. Gründe dafür sind hohe Biogaserträge und der hohe Zucker- sowie Trockenmassegehalt der Rüben. Durch den Zusatz von Zuckerrüben in die Biogasanlage können die Verweilzeiten von Mais im Fermenter reduziert werden, wodurch der Durchsatz erhöht und somit die Methanausbeute gesteigert wird (GLAUERT & HOFFMANN, 2012).

Bodenbearbeitung und Aussaat

Die Saatbettbereitung sollte nur bei ausreichender Abtrocknung des Schlages durchgeführt werden, um Verdichtungen zu vermeiden. Damit nur wenig Feuchtigkeit verloren geht, die für die Keimung benötigt wird, ist neben einer möglichst flachen Bearbeitung auch auf eine ausreichende Rückverfestigung des Saatbetts zu achten.

Die Aussaat des Zuckerrübensaatguts erfolgt Mitte März bis Mitte April mit der Einzelkornsämaschine. Die optimale Bestandesdichte liegt zwischen 80.000 und 95.000 Pflanzen/ha.

Sortenwahl

Für den Biogasertrag ist nicht der geerntete Frischmasseertrag entscheidend, sondern der Rüben-trockenmasseertrag. Da zwischen dem Zucker- und dem Trockenmassegehalt eine enge Korrelation besteht, eignen sich vor allem zuckerertragsstarke Sorten zur Gasbildung. Bei der Sortenwahl sollte außerdem der Krankheits- und Schädlingsdruck des Standorts beachtet werden (GLAUERT & HOFFMANN, 2012; SÜDZUCKER, 2012).



Düngung

Die Düngung von Biomasse-Rüben erfolgt entsprechend dem ertragsabhängigen Nährstoffbedarf abzüglich des Nährstoffvorrats, N_{min} und der Bodennachlieferung. Nährstoffentzüge sowie -bedarf der Zuckerrübe (Rübe und Blatt) sind in Tabelle 2.12 dargestellt. Die höchsten bereinigten Zuckererträge werden bei Zuckerrüben bei einer N-Düngung bis max. 120 kg N/ha erreicht. Da die bei der Zuckerproduktion unerwünschten Inhaltsstoffe Kalium, Natrium und Amino-Stickstoff in der Biogasproduktion keine Rolle spielen (GLAUERT & HOFFMANN, 2012), kann beim Anbau von Rüben zur Biogasproduktion die Erhöhung der N-Düngung um 10–20 kg N/ha zur Steigerung des Zuckerertrags sinnvoll sein (SÜDZUCKER, 2012). Bei zu starker N-Düngung fallen die Zuckererträge wieder ab.

TABELLE 2.12: NÄHRSTOFFENTZÜGE UND -BEDARF VON ZUCKERRÜBEN

	Nährstoffentzug (Gesamt-Pflanze) in kg je dt Rüben-FM (23% TS in Rübe)	Nährstoffbedarf bei 70 t FM/ha (Rüben) in kg/ha
N	0,46	342 ¹
P ₂ O ₅	0,18	126
K ₂ O	0,67	469
MgO	0,15	105

¹ incl. 20 kg N/ha für nicht erntbare Restpflanze

Pflanzenschutz

Der Pflanzenschutz beginnt mit der Wahl einer an den Standort angepassten Sorte und der Ausstattung des Saatguts mit insektiziden und fungiziden Wirkstoffen. In der frühen Jungendentwicklung sind die Bestände aufgrund der geringen Konkurrenzkraft der Rüben unkrautfrei zu halten. Bewährt hat sich das Nachaufverfahren mit in der Regel drei Herbizid-anwendungen jeweils im Keimblattstadium der Unkräuter. Je nach Witterungsverlauf können Blattkrankheiten wie Cercospora, Mehltau und Ramularia auftreten. Um das Blatt möglichst lange gesund zu halten, ist eine Fungizidbehandlung bei Überschreiten der jeweiligen Schwellenwerte in Abhängigkeit vom Zeitpunkt des Befallsauftretens vorzunehmen (SÜDZUCKER, 2012).

Ernte und Erträge

Bei der Ernte der Rüben als Biogassubstrat werden die Rüben nicht wie für die Zuckerproduktion geköpft, sondern das Blatt wird im Scheitelpunkt der Rübe abgeschlegelt. Dabei können praxisübliche Rübenroder mit höherer Einstellung von Körper und Blattschlegler eingesetzt werden. Das Verfahren der Entblattung ist alternativ möglich (SÜDZUCKER, 2012).

Unter Praxisbedingungen liegen die Erträge beim Anbau von Zuckerrüben zur Zuckerproduktion in Baden-Württemberg im Mittel bei 70–80 t TM/ha. Überdurchschnittliche Erträge werden in wärmeren Regionen erzielt; wie bei Mais lassen sich mit Zuckerrüben auch auf sommertrockenen Standorten (z. B. Hohenlohe) hohe Biomasseerträge erzielen. Die Methanerträge liegen bei ca. 6.000 m³/ha.

Reinigung und Konservierung

Das größte Hemmnis bei der Ausbreitung des Anbaus von Zuckerrüben als Biogassubstrat liegt weniger in der Anbau-technik begründet als viel mehr bei der Lösung offener Fragen zur Lagerung und Konservierung, um eine ganzjährige Verfügbarkeit sicher zu stellen.

Gegenwärtig sind viele Verfahren noch in der Erprobungsphase und müssen auf ihre Praxistauglichkeit getestet werden: Lagerung in Mieten mit Vlies- oder Folienabdeckung, Einsilierung ganzer oder zerkleinerter Rüben in Schlauch-



und Fahrsilos, gemeinsames Einsilieren mit Mais, starke Zerkleinerung und Lagerung als Brei in Lagunen oder Hochsilos oder bei regionaler Eignung die „Lagerung im Feld“ sowie der Anbau von Lenzrüben mit Ernte im Frühjahr.

Unabhängig vom Konservierungsverfahren müssen Zuckerrüben, bevor sie in die Biogasanlage eingebracht werden, gereinigt werden, um Schäden durch Steine an den Zerkleinerungsaggregaten, Pumpen und am Rührwerk zu vermeiden. Sandanhaftungen führen zu Ablagerungen im Fermenter und sind ebenfalls vor dem Einbringen abzuschneiden. Die Reinigung ist allerdings sehr kosten- und zeitintensiv (PETERS et al., 2012).

Autoren: Nerlich, K.; Zürcher A. (LTZ)



2.7 Durchwachsene Silphie/ *Silphium perfoliatum* Familie: Compositae (Korbblütler)

Die Durchwachsene Silphie, auch Cup plant (Becherpflanze), Ragged cup oder Indian cup genannt, ist ein ausdauernder Korbblütler und stammt aus den gemäßigten Regionen Nordamerikas. Heute ist sie vor allem in den östlichen Bundesstaaten der USA sowie Kanadas verbreitet. Im Pflanzjahr bildet die Pflanze nur eine grundständige Blattrosette aus, die nicht erntewürdig ist. Erst ab dem zweiten Jahr erfolgt ein ausgeprägtes Massen- und Längenwachstum, wobei Wuchshöhen zwischen 1,8 und 3 m erreicht werden. Charakteristisch sind drei bis fünf grüne oder anthocyanhaltige, vierkantige Stängel, an denen gegenständig Blätter sitzen, die an der Basis miteinander verwachsen sind, sodass sich dort Tau- und Regenwasser sammeln kann. Diese botanische Besonderheit gab der Pflanze den Namen „Becherpflanze“. Das gesammelte Wasser soll aufgenommen und genutzt werden können, sodass die Pflanze auch Trockenzeiten überstehen kann.

Ökologische Vorteile ergeben sich aus der langen Bodenruhe und -bedeckung für den Bodenschutz, die Fruchtbarkeit wird verbessert und der Bodenabtrag durch Wasser oder Wind verhindert. Diese zusätzliche Art bereichert die Artenvielfalt in oft ausgeräumten Agrarlandschaften, der wohl positive Beitrag zum Wasserschutz ist noch mehrjährig zu prüfen. Die leuchtend gelben Blüten spenden Nektar und Pollen und werden daher von zahlreichen Insekten besucht. Die Blütezeit dieser Pflanze, die Mitte Juni beginnt und ca. Mitte September endet, entspricht genau der Trachtlücke für Bienen, Hummeln und Schmetterlinge im Sommer. Zusätzlich bringt diese Pflanze einen Farbtupfer in intensiv genutzte Agrarlandschaften und verbessert das Landschaftsbild für das menschliche Auge.

Standortanspruch

Für den Ertragsanbau eignen sich vorrangig wärmere Standorte. Die Biomasseproduktion in kühleren Regionen ist geringer, muss aber mit den Erträgen anderer, dort etablierter Ackerbaukulturen verglichen werden. Wie der Winter

2011/2012 mit bis zu -20°C zeigte, ist diese Kulturart als winterhart zu bezeichnen. Hinsichtlich der Bodenart sind die Pflanzen relativ anspruchslos, wachsen jedoch am besten auf leicht erwärmbaren, humosen Standorten mit guter Wasserführung und einem neutralen bis schwach sauren pH-Wert. Staunasse Böden sind für den Ertragsanbau nicht geeignet.

Fruchtfolge

Der direkte Nachbau nach Raps und Sonnenblumen sollte aufgrund der Gefahr des Sklerotinia-Befalls (Weißstängeligkeit) vermieden werden. Von Vorteil sind Vorfrüchte mit Unkraut unterdrückenden Eigenschaften. Als Nachfrucht dürfte Getreide geeignet sein, da hier gegebenenfalls eine Durchwuchsbekämpfung möglich ist, jedoch fehlen hierzu noch Erfahrungen.

Aussaat und Pflanzung

Die Direktsaat der Durchwachsenen Silphie befindet sich noch in der Erprobungsphase, da die Samen, im Hinblick auf einen gleichmäßigen Feldaufgang, zum Keimen eine Keimstimulation benötigen (BIERTÜMPFEL, 2012). Aus diesem Grund erfolgt die Etablierung des Bestandes derzeit durch die Pflanzung vorgezogener Jungpflanzen. Gepflanzt wird ab Mitte Mai bis Anfang Juni mit herkömmlichen Gemüsepflanzmaschinen. Angestrebt wird eine Bestandesdichte von ca. 4 Pflanzen/ m^2 bei einem Abstand von 50 cm zwischen den Reihen und 50 cm in der Reihe. Reihenabstände von 0,75 m sind ebenfalls möglich, lassen nach ersten Untersuchungen jedoch eine geringere Bestockungs- und Ertragsleistung erwarten (s. Tab. 2.14).

Wachstum und Entwicklung

Die Durchwachsene Silphie entwickelt sich im Jugendstadium relativ langsam und bildet im Pflanzjahr lediglich eine bodenständige Blattrosette aus. Erst ab dem zweiten Anbaujahr erfolgt ein ausgeprägtes Längenwachstum. Nach dem Schnitt treiben die Stöcke erneut aus, ohne jedoch Stängel auszubilden. Die oberirdische Blattmasse, die zugleich auswaschungsgefährdeten Nitrat-N aus der Bodenlösung aufnimmt, friert im Winter ab. Die Pflanzen treiben im Frühjahr ab April wieder aus.

Düngung

Die Versuchsergebnisse in Baden-Württemberg ergaben einen N-Bedarf von 0,24 kg je dt geernteter Frischmasse bei 30% TS (Entzugswert in Tab. 2.13). Daraus lässt sich ein N-Bedarf in Höhe von 130–200 kg N/ha bei einem Hektarertrag von 15–20 t Trockenmasse ableiten. Um die zu düngende N-Menge zu errechnen, sind vom N-Bedarf der N_{min} -Wert im Frühjahr und die N-Nachlieferung des Bodens während der Vegetationszeit abzuziehen. Im Anpflanzjahr ist eine Startgabe von bis zu 50 kg N/ha ausreichend.

Die Düngung von Phosphor, Kalium und Magnesium ist in Abhängigkeit vom realisierbaren Ertrag und von der Bodengehaltsklasse vorzunehmen. Die Entzugswerte für diese Grundnährstoffe sind in Tabelle 2.13 zusammengestellt. Bei Versorgungsstufe C entspricht, bei dieser Dauerkultur, der Nährstoffbedarf dem Düngbedarf. Bei Erträgen von 45–60 t Frischmasse (30% TS) pro ha sind die aus Tabelle 2.13 errechneten Bedarfsmengen mineralisch oder organisch zu düngen, um die abgefahrenen Nährstoffe zu ersetzen. Gedüngt wird im zeitigen Frühjahr, vor Vegetationsbeginn.

TABELLE 2.13: NÄHRSTOFFENTZÜGE UND -BEDARF DER DURCHWACHSENEN SILPHIE

	Nährstoffentzug in kg je dt FM (30% TS)	Nährstoffbedarf bei 45–60 t FM/ha in kg/ha
N	0,24	128–164 ¹
P ₂ O ₅	0,16	72–96
K ₂ O	0,65	290–390
MgO	0,12	54–72

¹ incl. 20 kg N/ha für nicht erntbare Restpflanze

Pflanzenschutz

Aufgrund der langsamen Jugendentwicklung und des fehlenden Stängelwachstums sind die bis zu 40 cm hohen Jungpflanzen im ersten Jahr konkurrenzschwach gegenüber der sommerannuellen Verunkrautung und eine Bekämpfung ist zwingend erforderlich. Pflanzenschutzmittel sind für die Kultur derzeit nicht zugelassen. Es kann jedoch eine Ausnahmegenehmigung nach § 22 (2) PflSchG beantragt werden. In einer einmalig durchgeführten Prüfung wurden mehrere Herbizide geprüft und nur ein Herbizid (Spectrum® Aqua-Pack), das vor der Pflanzung eingesetzt wurde, war wirksam und kulturpflanzenverträglich. Dieses einmalige Ergebnis ist in weiteren Versuchen zu prüfen. Aufgrund der weiten Reihenabstände sind mechanische Unkrautbekämpfungsmaßnahmen, z.B. Hacken, möglich. Ab dem zweiten Standjahr sorgt das früh einsetzende Längenwachstum für einen raschen Bestandesschluss. Unkrautbekämpfungsmaßnahmen sind nicht mehr notwendig.

Bei feuchter Witterung kommt es zum Auftreten der Weißstängeligkeit (*Sclerotinia sclerotiorum*). Biertümpel und



Durchwachsene Silphie

Conrad (2012) diagnostizierten auf den Pflanzen Cladosporium-Arten. In Baden-Württemberg wurde 2012 im Frühsommer ein ernst zu nehmender Befall mit *Pseudomonas syringae* beobachtet, der sich in der Folge wieder verwuchs.

Ernte und Erträge

Die Ernte der silierfähigen Biomasse erfolgt ab dem zweiten Aufwuchsjahr zwischen Anfang und Mitte September bei einem TS-Gehalt von 25 bis 30%. Im Pflanzjahr wird nicht geerntet. Zum Einsatz kommen herkömmliche Feldhäcksler mit reihenunabhängigem Kemper-Vorsatz.

In Baden-Württemberg wurden in ersten Exaktversuchen Gesamtpflanzenenerträge zwischen 10 und 20 t TM/ha (Abb. 2.6 und Tab. 2.14) im ersten Ertragsjahr erzielt. Biertümpel und Conrad (2012) berichten, dass in Thüringer Versuchen auch nach sieben Jahren noch keine Ertragseinbußen festzustellen sind.

Die Erntereife dürfte August/Anfang September (Tab. 2.14) erreicht sein. Die Pflanzen befinden sich zu diesem Zeitpunkt im Stadium Ende Blüte/Beginn Samenreife. Bei späteren Ernten ist zwar ein höherer TS-Gehalt festzustellen, die Trockenmasseerträge, die Gasausbeute und damit auch der Gasertrag pro ha sind geringer.

Anhand der Weender Analyse wurden die Rohnährstoff-Gehalte (Rohasche, Rohfett, Rohprotein, Rohfaser und N-freie Extraktstoffe) in der Trockenmasse ermittelt. Die Berechnung der Biogas- und Methanausbeuten bzw. -erträge (Tab. 2.14) erfolgte in Anlehnung an die Arbeiten von Schattauer und Weiland (2006). Im Vergleich zu Mais waren um 10–15% geringere Gasausbeuten festzustellen. Auch lagen die Rohaschegehalte 2–4 Prozentpunkte über denen von Mais. Insgesamt konnte die Durchwachsene Silphie nicht mit den Methanerträgen ertragreicher Energiemaissorten konkurrieren.

Autoren: Mastel, K.; Stolzenburg, K. (LTZ)

TABELLE 2.14: FELDVERSUCHE¹ DURCHWACHSENE SILPHIE IN BADEN-WÜRTTEMBERG; ERTRAGSERGEBNISSE 2011

Versuchsfrage		Biomasseertrag	TS-Gehalt	Methanausbeute	Methanertrag
		(t TM/ha)	(%)	(NI/kg oTS)	(m ³ /ha)
Standortvergleich	Aulendorf	12,6	23,1	269	3.062
	Kupferzell	7,3	25,1	260	1.702
	Marbach	11,5	22,4	267	2.773
	Rheinstetten-Forchheim	19,6	29,2	265	4.783
Erntezeitpunkte ²	Mitte August	17,4	24,2	266	4.237
	Anfang September	17,5	27,0	264	4.243
	Mitte September	15,6	28,5	266	3.811
	Anfang Oktober	12,8	35,7	262	3.090
Bestandesdichte ²	50 x 50 cm (4 Pfl./m ²)	16,2	28,3	269	3.978
	75 x 50 cm (2,7 Pfl./m ²)	14,3	27,5	271	3.557
	75 x 30 cm (4,4 Pfl./m ²)	15,5	28,9	268	3.805
Energiemais ²		ca. 21	ca. 31	300	6.520
Sorghum ²		ca. 20	ca. 27	242	5.170

¹ Anlage des Versuchs Frühjahr 2010

² Versuchsergebnisse Rheinstetten-Forchheim

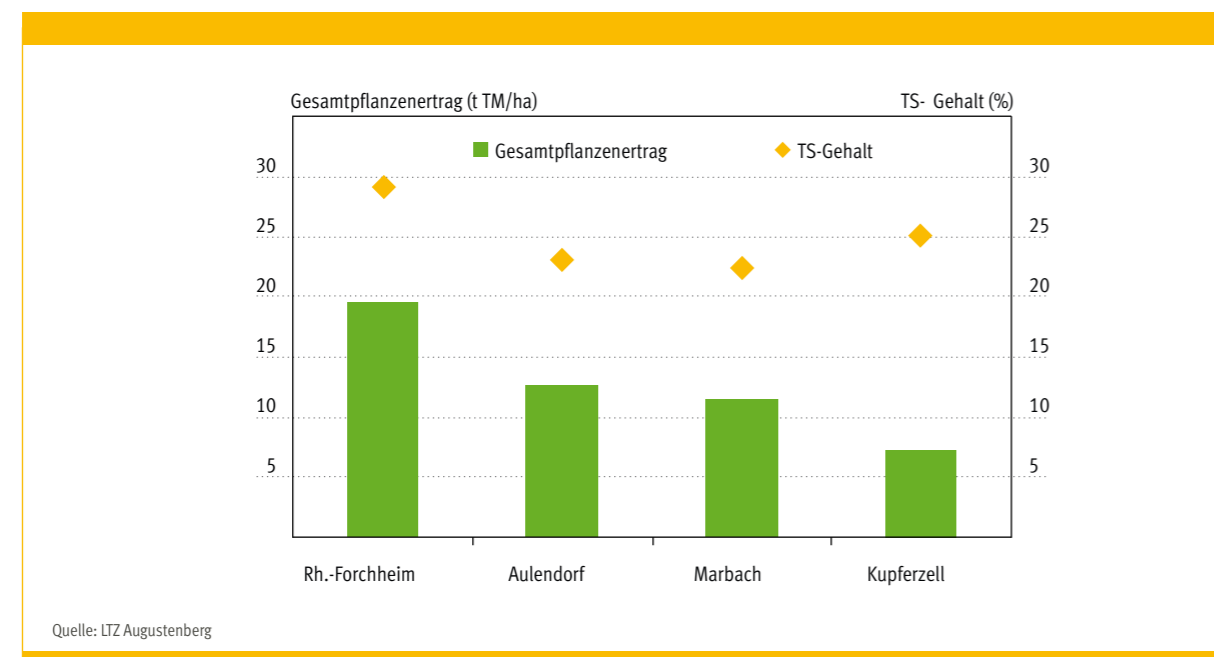


Abb. 2.6: Erträge und TS-Gehalte der Durchwachsenen Silphie an den Standorten Rheinstetten-Forchheim, Aulendorf, Marbach und Kupferzell (Ergebnisse 2011)

2.8 Topinambur/*Helianthus tuberosus* Familie: Compositae (Korbblütler)

Der botanische Name *Helianthus tuberosus* bedeutet knollige Sonnenblume. Die Pflanze stammt aus Nordamerika und bildet an unterirdischen Seitentrieben sogenannte Stolonen (Sprossknollen) aus, deren Form sortentypisch rund, spindelförmig bis stark verknorpelt ausgeprägt sein kann. Je nach Sorte bzw. Herkunft entwickeln sich einzelne oder mehrere aufrechte, bis über vier Meter lange, markgefüllte Stängel.

Topinambur ist vielseitig nutzbar. Traditionell werden die Sprossknollen im Herbst bis zum Frühjahr als Gemüse oder als Rohstoff für die Alkoholherstellung genutzt. Die Knollennutzung ist auch als Substrat für die Biogasanlage möglich.

Neuerdings gewinnt Topinambur auch Interesse zur Krautnutzung mit Schnitt im Spätsommer als Rohstoff für die Biogasgewinnung. Bei der Krautnutzung verbleiben die Sprossknollen im Boden, sodass im Folgejahr ein Wiederaustrieb erfolgen kann. Topinambur kann somit ein- oder mehrjährig genutzt werden.

Die blühenden Bestände werten das Landschaftsbild auf, tragen zur Biodiversität bei und werden von Imkern im Spätsommer als Bienenweide geschätzt.

Standortanspruch

Topinambur gedeiht sowohl auf Sand- als auch auf Tonböden. Ideal sind Böden mit guter Wasserversorgung, die sich im Frühjahr rasch erwärmen. Für die Knollenernte sollten deshalb vorrangig sandig-lehmige Standorte gewählt werden, die eine geringe Erdanhaftung zum Zeitpunkt der Rodung gewährleisten. Schwere oder steinreiche Böden sind eher ungeeignet.

Zur reinen Krautnutzung eignen sich auch bindigere und steinigere Böden, sofern das Legen der Knollen nicht beeinträchtigt wird.

Fruchtfolge

Topinambur kann mehrjährig auf einer Fläche angebaut oder in einjähriger Nutzung in eine Fruchtfolge eingebunden werden. Vorfrüchte sollten den Boden locker und ohne Verdichtungen hinterlassen. Der direkte Anbau nach Raps und Sonnenblumen ist aufgrund der Sklerotinia-Gefahr zu vermeiden. Mit Ausnahme einer Dauerkulturstellung sollte bei Topinamburnachbau ein fünf- bis sechsjähriger Fruchtwechsel eingehalten werden. Geeignete Folgekulturen sind Mais, Sommergetreide und Ackerfutter. Beim Anbau von Topinambur kann es in der Folgekultur zu Durchwuchs aus verbleibenden Sprossknollen kommen. Eine Bekämpfung in Getreide und Mais ist mit Herbiziden möglich, beim Anbau von Ackerfutter kann Topinambur durch häufige Schnitte zurückgedrängt werden.



Pflanzung

Die Bodenbearbeitung und Pflanzung erfolgt analog zum Kartoffelanbau mit praxisüblicher Kartoffellegetechnik. Optimal ist eine Pflanzdichte von 4–5 Pflanzen/m² (ca. 3 t Pflanzenknollen/ha). Bei einem Reihenabstand von 0,75 m ergibt sich eine Ablage von 0,25–0,30 m in der Reihe. Die Pflanztiefe liegt bei 6–8 cm.

Die Pflanzung sollte ausgangs des Winters bis ins zeitige Frühjahr hinein erfolgen. In wärmeren Lagen ist die Pflanzung bereits ab Mitte Februar bis Anfang März möglich.

In Abhängigkeit der Nutzungsrichtung (Kraut oder Knollen) erfolgt die Anlage in Beet- oder Dammkultur. Bei Knollennutzung können die Pflanzreihen angehäufelt werden, sodass Dämme entstehen, die für eine rasche Bodenerwärmung sorgen, die Standfestigkeit der Pflanzen fördern und die spätere Rodung der Knollen erleichtern. Für die Nutzung des grünen Krautes in Biogasanlagen eignen sich besonders Beetanlagen, die die Befahrbarkeit der Fläche mit Erntemaschinen erleichtern.

Düngung

Nährstoffentzüge sowie -bedarf von Topinambur sind in Tabelle 2.15 aufgeführt. Bezüglich der Nährstoffentzüge bei Knollennutzung liegen langjährige Entzugswerte vor; die Werte zur Grünschnittnutzung basieren auf ersten Versuchsergebnissen, stimmen aber sehr gut mit den Entzugswerten zur Knollenernte überein.

Für die N-Düngung muss der mineralische Stickstoff (N_{min}) und die N-Nachlieferung des Standortes (Boden, Vorfrucht, Wirtschaftsdünger; siehe 3.2) berücksichtigt werden. Ein beachtlicher Teil des Gesamt-N-Bedarfes wird bereits im Jugendstadium zur Bildung der oberirdischen Biomasse benötigt. Um das Knollenwachstum bei Knollennutzung nicht zu verzögern, ist die N-Düngung auf max. 120 kg N zu begrenzen. Bei Grünschnittnutzung sollte dieser Wert auch nicht zu sehr überschritten werden, da üppige Topinamburbestände gerne ins Lager gehen und die Ernte erschweren. Hierzu sind weitergehende Untersuchungen nötig. Die Höhe der

Grundnährstoffdüngung ist neben dem Entzug von der Höhe der Bodenvorräte (Gehaltsklassen) abhängig. Aufgrund der hohen Kaliumzugswerte sollte die Kaliumdüngung gegebenenfalls über die Gesamtertragsfolge aufgeteilt werden.

Pflege und Pflanzenschutz

Der Anbau von Topinambur kommt in der Regel ohne Herbizide aus. Chemische Pflanzenschutzmittel zur Beikrautregulierung sind zudem, mit Ausnahme des Wirkstoffes Glyphosat im Voraufbau, nicht zugelassen. Eine mechanische Unkrautbekämpfung ist möglich und erfolgt bis zum Bestandeschluss durch Striegeln, Hacken und gegebenenfalls Häufeln. Bei mehrjährigem Anbau zur Grünschnittnutzung ist ab dem zweiten Jahr eine Beikrautregulierung nicht mehr nötig.

Ernte, Erträge und Versuchsergebnisse

Bei Knollennutzung erfolgt die Rodung der Knollen mit herkömmlichen Kartoffelrodern zwischen Oktober und April (Topinamburknollen sind frosthart bis $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$). Die Knollerträge liegen in den traditionellen Anbaugebieten (geringere Rheinebene) bei 8–12 t TM/ha und Jahr bei mittleren TS-Gehalten von 21 %. Aufgrund der hohen Erntekosten und Verunreinigung der Topinamburknollen hat sich der Topinamburanbau zur Biogasnutzung bisher nicht durchgesetzt.

Bei der Ernte des grünen Krautes im Spätsommer ist eine gleichzeitige Knollennutzung nicht möglich, da die Speicherknollen das Wachstum nach dem Schnitt der oberirdischen Biomasse einstellen. Die Krauternte erfolgt, sortenbedingt zwischen Mitte August und Anfang September, mit etablierter Häckseltechnik. Bewährt hat sich die Kombination des Feldhäckslers mit einem reihenunabhängigen Mähvorsatz.

Auf Grundlage von ersten Versuchsergebnissen aus dem Jahr 2011 an mehreren Standorten in Baden-Württemberg (Abb. 2.7) kann bei Grünschnittnutzung von Topinambur im Spätsommer im ersten Nutzungsjahr mit einem Gesamtbiomasseertrag in Höhe von 10–12 t TM/ha in sommertrockenen Regionen (geringere Rheinebene/Hohenlohe) bei TS-Gehalten über 30 % gerechnet werden. In kühl-feuchten



Topinambur-Mais-Mischung (Rheinstetten-Forchheim, 02.08.2006)

Regionen (Aulendorf, Döggingen und Krauchenwies) lagen die Erträge zwischen 13 und 19 t TM/ha bei TS-Gehalten zwischen 26 und 30 %. Die weitere Entwicklung der Bestände und Erträge im mehrjährigen Anbau und die Ermittlung der spezifischen Gasausbeuten in Abhängigkeit des Erntetermins sind Gegenstand der weiteren Prüfung.

Die Höhe der Erträge kann auch durch Bewässerungsversuche, die im Rahmen des „EVA-Projektes“ von 2005 bis 2009 am Standort Rheinstetten-Forchheim durchgeführt wurden, bestätigt werden (Kap. 3.5). Die im einjährigen Anbau errechneten Methanerträge liegen zwischen 3.000 bis 4.800 m³/ha.

In einem im Frühjahr 2006 am Standort Rheinstetten-Forchheim angelegten Versuch wurden die Aufwuchsleistung und der energetische Wert einer Topinambur-Mais-Mischung zur Biogasnutzung geprüft. Als Versuchsfläche stand eine frisch gerodete Topinamburfläche mit drei Sorten zur Verfügung, die nach der Ernte gegrubbert und im April (ortsüblich) mit Mais bestellt wurde. Die Topinamburpflanzen entwickelten sich aus Rodeverlusten der Vorfrucht (Durchwuchs) (siehe Bild, links).

Im Gesamtpflanzenenertrag war Mais in Reinsaat allerdings deutlich im Vorteil, gefolgt von den Mischungen mit mittelspät- bis spätreifen Topinambursorten. Die errechneten Methanerträge der besseren Topinambur-Mais-Mischungen lagen bei ca. 4.000 m³/ha im Vergleich zu 6.000 m³/ha bei reinem Maisanbau.

Autoren: Nerlich, K.; Stolzenburg, K.; Zürcher, A. (LTZ)

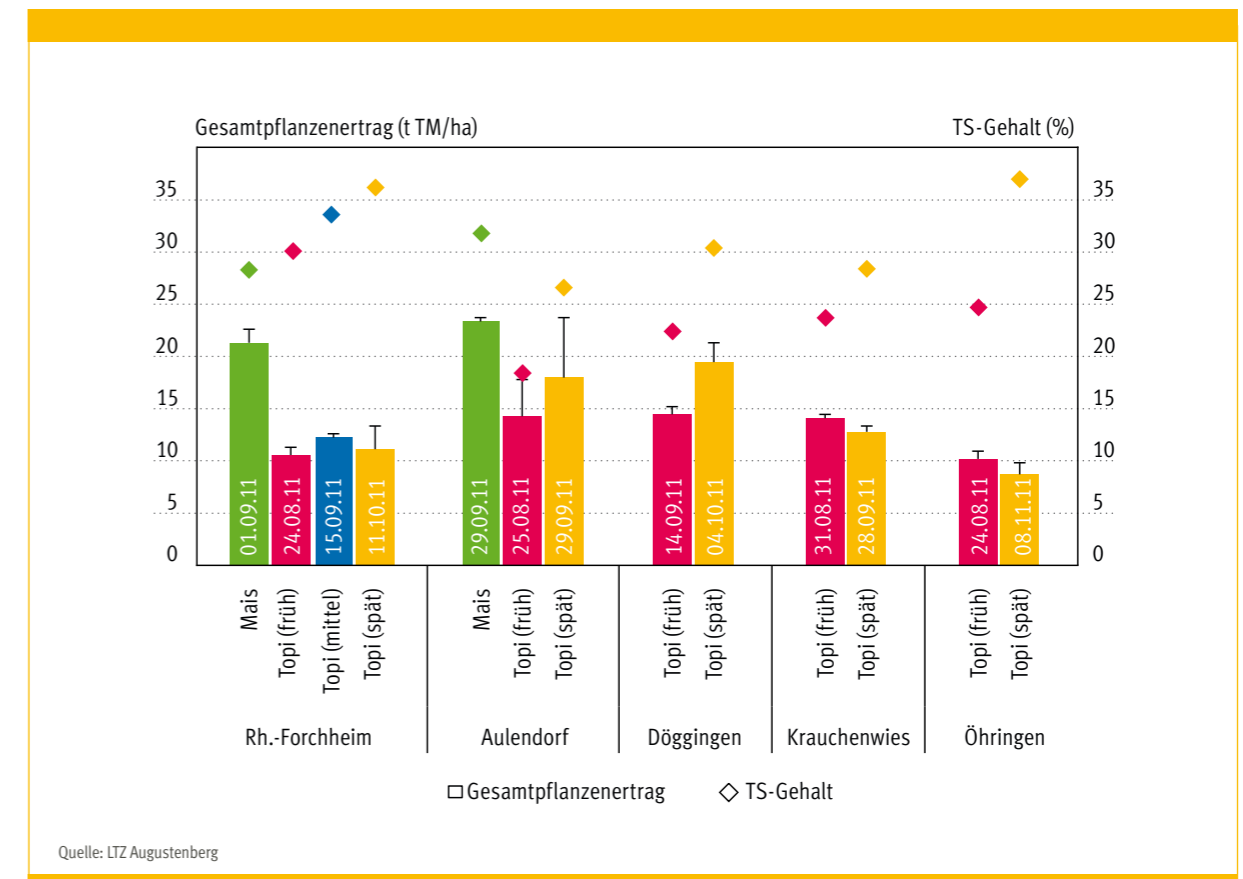


Abb. 2.7: Gesamtpflanzenenerträge (t TM/ha; Mittelwerte und Standardabweichung) und TS-Gehalte (%) in Abhängigkeit des Erntetermins von Topinamburkraut (erstes Anbaujahr) und Mais an fünf Standorten in Baden-Württemberg (2011)

TABELLE 2.15: NÄHRSTOFFENTZÜGE UND -BEDARF VON TOPINAMBUR

	Knollenernte (Knollen)		Grünschnitternte (Kraut)	
	Nährstoffentzug in kg je dt FM (21 % TS)	Nährstoffbedarf bei 48 t FM/ha (Knollen) in kg/ha	Nährstoffentzug in kg je dt FM (30 % TS)	Nährstoffbedarf bei 35 t FM/ha (Kraut) in kg/ha
N	0,35	188 ¹	0,50	195 ¹
P ₂ O ₅	0,18	87	0,19	67
K ₂ O	0,81	389	1,15	403
MgO	0,05	24	0,11	39

¹ incl. 20 kg N/ha für nicht erntbare Restpflanze



Von Malven und Sonnenblumen dominierter Bestand im ersten Standjahr.

2.9 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 Mischansaaten 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, Feldhasen und Rehe. Die Blütenpflanzen bieten Bienen und anderen Blütenbesuchern gerade in der blütenarmen Zeit von Mitte Juni bis Ende August 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 Maßnahmen (Düngung und Ernte) niedrig.

Versuche und Praxisanbau in Baden-Württemberg

In Baden-Württemberg wurden 2011 Exaktversuche mit Wildpflanzenmischungen an 5 Standorten angelegt. In der Praxis findet man am westlichen Bodensee aktuell einen Anbau auf 53 ha, der über **PLENUM** (Projekt des Landes zur Erhaltung und Entwicklung von Natur und Umwelt) koordiniert und gefördert wird (www.plenum-bw.de).

Mischungen

Diese Art des Energiepflanzenanbaues 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.

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 Standortan-

passung. 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.

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.

Im Versuchsanbau in Baden-Württemberg dominierten an warmen Standorten im Aussaatjahr (2011 extremes Frühjahr mit wenig Niederschlägen und hohen Temperaturen) sommerannuelle Ungräser (Hirsen) und Unkräuter (Melde, Franzosenkraut, Amarant) die Bestände. An den kühlen und niederschlagsreichen Standorten in Oberschwaben und auf der Baar gelang eine weitgehend unkrautfreie Bestandsetablierung. Daher sollte an warmen Standorten der Aussaattermin soweit wie möglich nach vorne verlegt werden. Die im 1. Jahr verunkrauteten Versuchspartellen präsentierten sich im Folgejahr unkrautfrei.

Pflanzenschutz und Düngung

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

Die Stickstoffdüngung kann organisch oder mineralisch erfolgen. Nach derzeitiger Empfehlung wird im ersten Standjahr auf 100 kg N und ab dem zweiten Standjahr auf 150 kg N pro Hektar 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 Trockenmasse-Gehalten von etwa 31%. Die Ernte kann mit praxisüblichen Maschinen, z. B. einem reihenunabhängigen Häcksler oder im absäzi-



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

gen 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 Kof ferment in landwirtschaftlichen Biogasanlagen verwertet werden.

Erträge

Die Versuchserträge lagen in Baden-Württemberg im Etablierungsjahr, bei einer starken Streuung, meist im Bereich zwischen 5 und 12 t TM/ha. Am westlichen Bodensee wurden von der Praxis im 1. Jahr 7–11 t TM/ha (ca. 60% des Maisertrages) mit einem TS-Gehalt von 28–35% geerntet.

Versuche außerhalb des Landes (Abb. 2.8) zeigen, dass nach dem Etablierungsjahr das Ertragsniveau zunehmen kann und ab dem 2. Standjahr regelmäßig Erträge zwischen 8 und 15 t TM/ha erzielt werden können. Die Methanausbeute liegt bei den wichtigsten ertragsbildenden Arten dieser Mischung zumeist etwas niedriger als beim Silomais (Abb. 2.9).

Autor: Vollrath, B. (LWG Bayern); Mastel, K. (LTZ); Ergebnisse Baden-Württemberg

3 EINBINDUNG IN ANBAUSYSTEME

3.1 Fruchtfolgen

Eine ausgewogene artenvielfältige Fruchtfolgegestaltung ist ein wichtiger Faktor zur nachhaltigen Erzeugung von Nahrungsmitteln und Produktionsgütern. Im Biogaspflanzenanbau gab es in den letzten Jahren einen Trend zur Vereinfachung von Fruchtfolgen bis hin zur Monokultur Silomais. Gründe hierfür sind ökonomischer und produktionstechnischer Natur. So gibt es für Mais ein seit vielen Jahren etabliertes, erprobtes und optimiertes Anbausystem, mit dem in der Regel die höchsten Methanerträge je Flächeneinheit erzielt werden können.

Dies trägt dazu bei, die gesellschaftliche Akzeptanz der Energieproduktion durch Bioenergiepflanzen zu verbessern.

Die Gestaltung angepasster Fruchtfolgen wird von einer Vielzahl von Faktoren beeinflusst. Neben den entsprechenden Standort-, Boden- und zu erwartenden Witterungsbedingungen müssen einzelbetriebliche Parameter (vorhandene Absatzmöglichkeiten, Lagerkapazitäten von Gärsubstraten und Gärresten, vorhandene Kooperationen oder Ausstattung an Maschinen bzw. Arbeitskraft) mit in die Planungen einbezogen werden.

3.1.1 Die Fruchtfolgen im Projekt EVA

Fruchtfolgen der Körnermaisregion Südwestdeutschland

Im bundesweiten Forschungsprojekt EVA zu standortangepassten Anbausystemen für Energiepflanzen werden in Ettlingen (Standortigenschaften siehe Kap. 1) seit 2005 neun unterschiedliche Energiepflanzen-Fruchtfolgen geprüft, wovon fünf deutschlandweit und vier ausschließlich in Baden-Württemberg getestet werden (Tab. 3.1). Der Standort Ettlingen repräsentiert sehr warme, für Körnermais geeignete Standorte mit besseren Böden und guter Wasserversorgung, insbesondere am Oberrhein.

Zum Anbau kamen einjährige Fruchtarten wie Mais, Zuckerhirse, Sudangras, Winterraps, Zuckerrüben und Ganzpflanzengetreide, kombiniert mit Zwischenfrüchten wie Ölrettich,

Andererseits bieten Fruchtfolgen im Gegensatz zur Fokussierung auf einige wenige Kulturen die Möglichkeit, Arbeitsspitzen zu brechen, Lagerkapazitäten über das gesamte Jahr optimal auszulasten, das Anbaurisiko zu streuen und flexibel auf sich verändernde Nebenbedingungen zu reagieren.

Zusätzlich können optimierte und angepasste Fruchtfolgen eine Vielzahl weiterer positiver Einzel- und Summenwirkungen aufweisen, wie u. a. positive Vorfruchteffekte, die Regulierung von Schadorganismen und Unkräutern sowie die Verbesserung der Bodenfruchtbarkeit durch Humusmehrung, Nährstofffixierung und -mobilisierung. Ein weiterer Effekt vielfältiger Fruchtfolgen ist die Verbesserung der Biodiversität in Agrarlandschaften. Darüber hinaus prägen und bereichern Fruchtfolgen Standorte, Lebensräume und Landschaften.

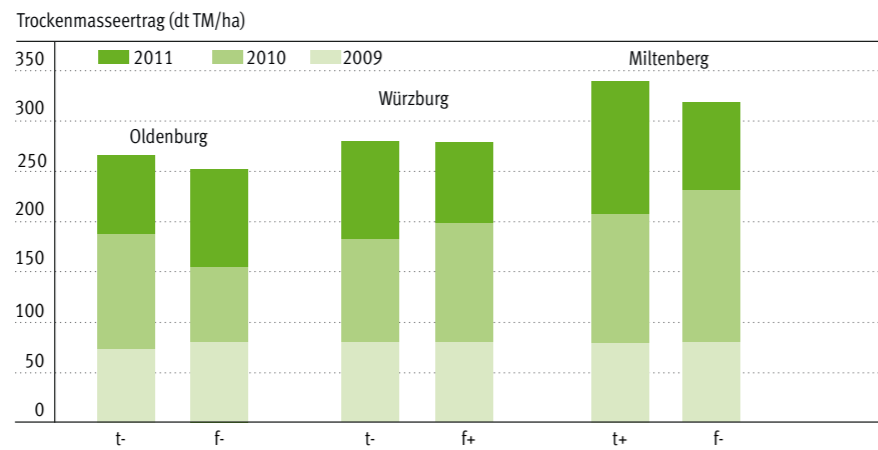
TABELLE 3.1: FRUCHTFOLOGEN

9 vierjährige Fruchtfolgen – 5 bundesweit einheitlich und 4 regional am Standort Ettlingen (erster Projektzeitraum 2005/06 bis 2008/09)

Ernte	1. Anlage 2005		2006		2007		2008	
	2. Anlage 2006		2007		2008		2009	
FF	Haupt- oder Erstfrucht	2. Frucht oder Sommerzwischenfrucht	Haupt- oder Erstfrucht	2. Frucht oder Sommerzwischenfrucht	Haupt- oder Erstfrucht	2. Frucht oder Sommerzwischenfrucht	Hauptfrucht	
bundesweit	1 ¹	S-Gerste	Ölrettich ¹	Mais		W-Triticale	Zuckerhirse ¹	W-Weizen
	2	Sudangras		Grünroggen	Mais	W-Triticale ²		W-Weizen
	3	Mais		Grünroggen	Sudangras	W-Triticale	Einj. Weidelg.	W-Weizen
	4 ¹	S-Gerste		Luz./Kleegr.		Luz./Kleegr.		W-Weizen
	5 ¹	Hafer		W-Triticale		W-Raps ²		W-Weizen
regional	6 ¹	Zuckerhirse		W-Gerste	Sudangras	W-Raps	Hafer ¹	W-Weizen
	7 ¹	Sonnenblume		W-Triticale	Zuckerhirse	Mais ¹		W-Weizen
	8	Mais		Grünroggen	Mais ²	Mais		W-Weizen
	9 ¹	S-Gerste	Erbse ¹	Grünroggen	Zuckerhirse	Mais		W-Weizen

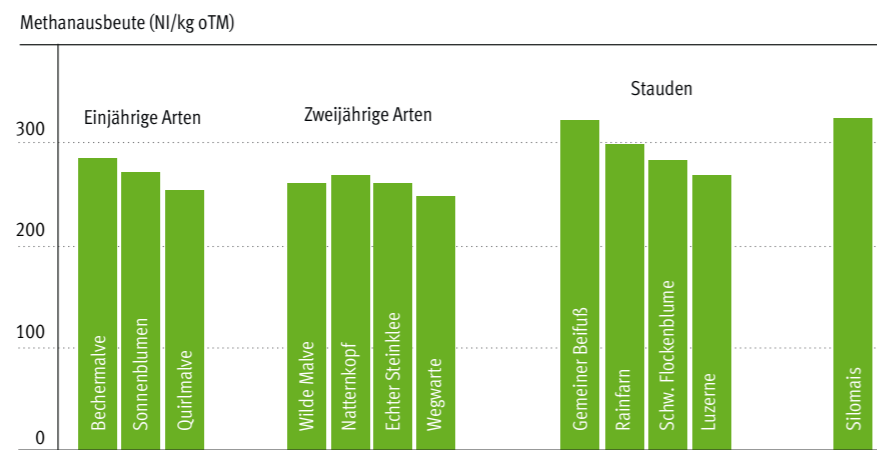
¹ Mit Änderungen gegenüber Wiederholungs-FF 2009/10 bis 2012/13

² Korntrag erhoben



Quelle: B. Vollrath (LWG, Bayern)

Abb. 2.8: Aufsummierte Biomasseerträge der beiden ertragsstärksten Mischungen der Standorte Oldenburg, Würzburg und Miltenberg



Quelle: B. Vollrath (LWG, Bayern)

Abb. 2.9: Methanausbeute wichtiger ertragsbildender Arten der Praxismischung sowie von Silomais

Erbse, einjährigem Weidelgras und Phacelia. Als mehrjährige Kultur wurde Luzernegras angebaut. Am Ende der Fruchtfolge stand in allen Varianten Winterweizen als Marktfrucht, um den Fruchtfolgeeffekt der unterschiedlichen Energiepflanzenfruchtfolgen auf den Ertrag zu erfassen.

Die erste Anlage der vierjährigen Fruchtfolgen begann im Jahr 2005. Für jede Fruchtfolge folgte eine zweite Anlage im Jahr 2006, d. h. mit jeder Fruchtfolge wurde auf einer benachbarten Fläche ein Jahr später begonnen. Ende 2012 hat damit die erste Anlage die vierjährige Rotation zweimal durchlaufen, die zweite Anlage Ende 2013. Tabelle 3.1 zeigt die fünf bundesweit einheitlichen Fruchtfolgen und die vier Regionalfruchtfolgen am Standort Ettlingen für die erste Rotation. Zur zweiten Rotation der Fruchtfolge (2009–2011) wurden die Fruchtfolgen FF1, FF6, FF7 und FF9 verändert (Tab. 3.1). Die Fruchtfolgen FF4 und FF5 waren die einzigen ohne Anbau von C₄-Pflanzen wie Mais und Sorghumhirse-Arten. Bei allen anderen Fruchtfolgen, bis auf die Fruchtfolge FF6 in der ersten Rotation (Hafer anstatt Mais) und FF7 in der zweiten Rotation (Zuckerrüben anstatt Silomais) war Mais ein Bestandteil der Fruchtfolge. Der Maisanteil war mit <66% in allen geprüften Fruchtfolgen mit Ausnahme der FF8 so gering, dass diese für Gebiete mit Maiswurzelbohrer Befall zulässig sind. Die Fruchtfolge FF8 ist eine, um ein

Grünroggen-Körnermais Zweikulturnutzungssystem, erweiterte Maismonokultur.

Die Fruchtfolgen wiederholten sich im 2. Projektzeitraum 2009/2010 bis 2012/2013 (3. u. 4. Anlage) mit folgenden Änderungen:

- FF1: Ölrettich bzw. Zuckerhirse durch Sudangras bzw. Phacelia ausgetauscht
- FF4 und FF5 Flächentausch
- FF6: Hafer durch Mais ausgetauscht
- FF7: Mais durch Zuckerrüben ausgetauscht
- FF9: S-Gerste/Erbse durch Mais ausgetauscht

Vergleich der Fruchtfolgen

Im Mittel über alle Fruchtfolgen konnten über drei Jahre kumulierte TM-Erträge von 464 dt/ha in der ersten Rotation beider Anlagen (2005–2008/2006–2009) und 528 dt TM/ha in der zweiten Rotation (nur Anlage 1, 2009–2012) erzielt werden.

In der ersten Rotation waren die Fruchtfolgen FF1, FF3, FF7 und FF8 mit jeweils ca. 540 dt TM/ha in drei Jahren die erfolgreichsten Fruchtfolgen (Abb. 3.1). In den Fruchtfolgen FF4–FF6 wurden in der ersten Rotation mit 255–434 dt TM/ha deutlich geringere Erträge erzielt. Bei den Fruchtfolgen FF2

und FF5 mit ihren niedrigeren Erträgen von 483 dt TM/ha bzw. 255 dt TM/ha ist zu beachten, dass innerhalb der Fruchtfolge je ein Fruchtfolgeglied zur Kornnutzung verwendet wurde. Die Ergebnisse aus der ersten Rotation zeigen, dass unter den warmen Standortbedingungen von Ettlingen, ein hoher Anteil an C₄-Pflanzen in der Fruchtfolge einen deutlichen Ertragsvorteil hat. So gehören alle Fruchtfolgen mit einem C₄-Pflanzenanteil in Haupt- bzw. Zweitfruchtstellung von > 66% zu den erfolgreichen Fruchtfolgen mit Ausnahme der Fruchtfolge FF6. In dieser konnte das Fruchtfolgeglied Biomasse-Winterraps und Hafer als Zweitkultur unter den gegebenen Standortbedingungen nicht überzeugen und führte mit zu den geringen kumulativen Erträgen in der ersten Rotation. Hinsichtlich der Vorfruchtwirkung auf das letzte Fruchtfolgeglied Winterweizen (Korntrag 83 dt/ha) gab es keine Unterschiede zwischen den geprüften Fruchtfolgen der ersten Rotation (1. Anlage) im Juli 2008.

In der zweiten Rotation überzeugten weiterhin die Fruchtfolgen mit einem hohen C₄-Pflanzenanteil. Die höchsten Erträge (Abb. 3.2) wiesen die Fruchtfolgen FF6 und FF9 mit 670 dt bzw. 660 dt TM/ha auf. Bis auf Fruchtfolge FF2 zeigten auch die anderen Fruchtfolgen mit C₄-Pflanzen (FF1, FF3, FF7 und FF8) mit 541–573 dt TM/ha beachtliche Erträge. Die Aufnahme der Zuckerrübe anstatt Mais in der

Fruchtfolge FF7 führte zu einem etwas geringeren kumulativen Ertrag (nur 1. Anlage: 1. Rotation = 606 dt TM/ha, 2. Rotation = 560 dt TM/ha). Das schlechtere Abschneiden der Fruchtfolge FF2 wird durch das Fruchtfolgeglied Triticale zur Kornnutzung verursacht. Die Getreide- und Luzernegras dominierten Fruchtfolgen FF4 und FF5 konnten auch in der zweiten Rotation nicht mithalten, obwohl sich die Vorfrucht Luzernegras positiv auf die GPS-Hafererträge in der Fruchtfolge FF5 auswirkte.

Bewertung einzelner Fruchtfolgeglieder

Die Vorzüglichkeit von Energiemais zur Erzeugung von Biomasse für Biogasanlagen zeigt sich auch für die sommerheiße Körnermaisbauregion am Oberrhein. Mit Mais in Hauptfruchtstellung konnten im Mittel der Fruchtfolgen die höchsten Erträge realisiert werden (Abb. 3.3).

Jedoch kommen auch die Zweikulturnutzungssysteme Grünroggen und Silomais sowie Wintertriticale und Zuckerhirse mit 200 dt TM/ha, fast an das Niveau von Silomais heran. Das Zweikulturnutzungssystem Grünroggen und Sudangras erreicht etwas geringere Erträge als Mais und die zuvor genannten Fruchtfolgeglieder, jedoch noch deutlich höhere Erträge als Sorghumhirsen in Hauptfruchtstellung und die anderen geprüften Alternativfruchtfolgeglieder zu

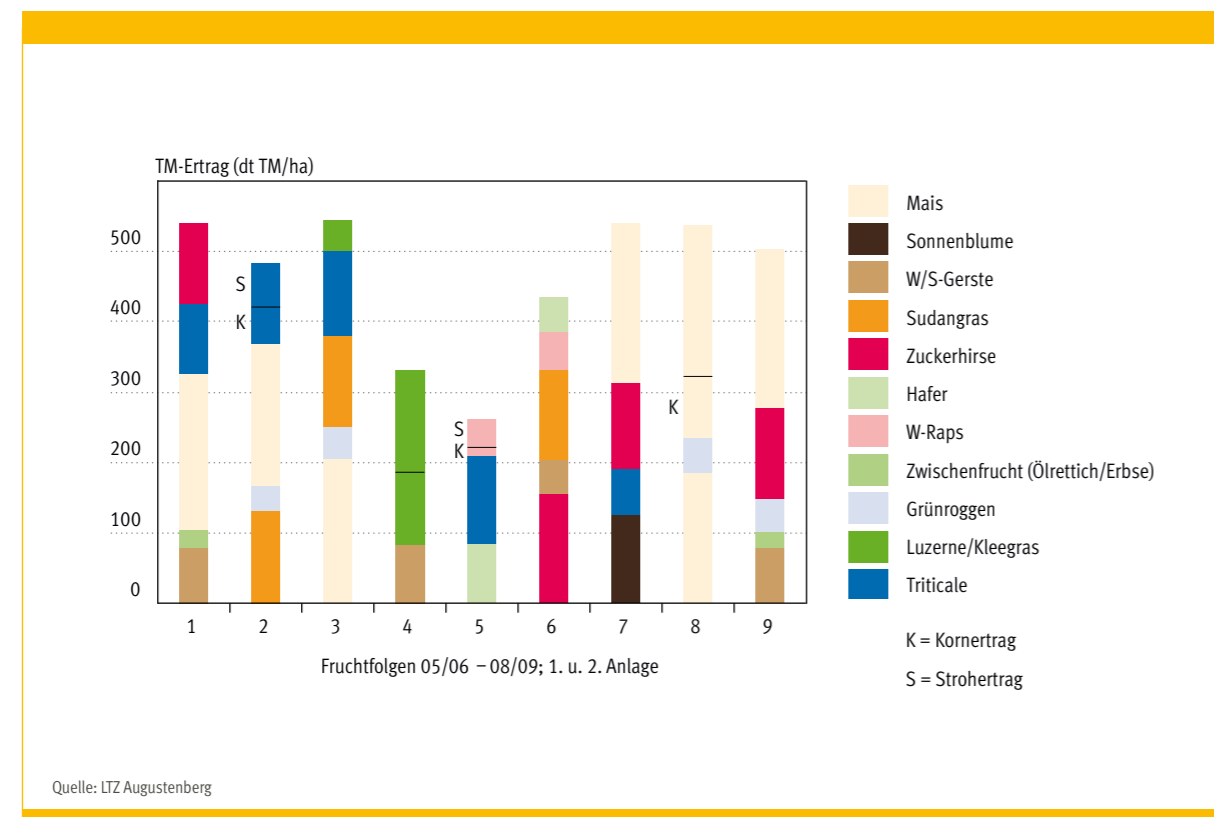


Abb. 3.1: TM-Erträge (dt TM/ha) in 9 vierjährigen Fruchtfolgen – 1 bis 5 bundesweit einheitlich und 6 bis 9 regional am Standort Ettlingen (erste Rotation: 2005/06 bis 2008/09)

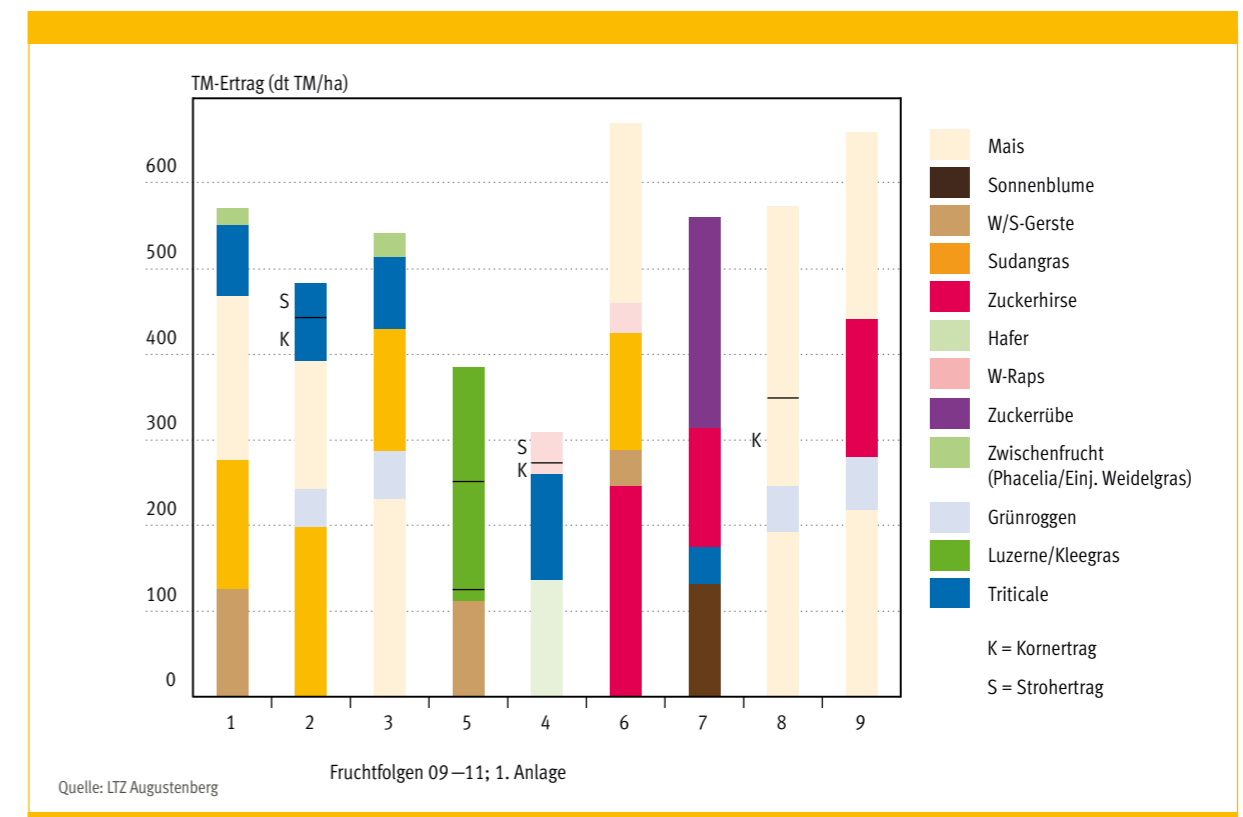


Abb. 3.2: Erträge (dt TM/ha) in 9 vierjährigen Fruchtfolgen – 1 bis 5 bundesweit einheitlich und 6 bis 9 regional am Standort Ettlingen (zweite Rotation: 2009–2011)

Silomais. Entscheidend für die Realisierung von guten Erträgen mit Zweikulturnutzungssystemen ist, dass neben der notwendigen Temperatur für die wärmebedürftigen Zweitkulturen auch deren Wasserversorgung gewährleistet ist (siehe hierzu Kap. 3.5.2.). Die beiden geprüften Erstfrüchte der Zweikulturnutzungssysteme unterscheiden sich erheblich im Ertrag. So konnte Wintertriticale mit 83 dt/ha fast einen doppelt so hohen TM-Ertrag als Grünroggen (45 dt TM/ha) erzielen. Auch bei den Zweitfrüchten gab es Ertragsunterschiede von 30 dt TM/ha zwischen Silomais als Zweitfrucht und den beiden Sorghumhirse-Arten (133–139 dt TM/ha).

In Hauptfruchtstellung erreichen Zuckerhirse und Sudan-gras einen etwas höheren Ertrag von 153 dt TM/ha als in Zweitfruchtstellung. Dieser ist zwar deutlich niedriger als der Gesamtertrag beim Anbau im Zweikulturnutzungssystem, jedoch immer noch überdurchschnittlich. Sowohl als Haupt- als auch als Zweitfrucht erreichten die Sorghumhirsen zumeist ausreichende TS-Gehalte von > 28%.

Obwohl für Sonnenblumen ein mit 132 dt TM/ha guter Ertrag realisiert werden konnte, ist dieser im Vergleich mit den anderen Fruchtfolgegliedern unterdurchschnittlich. Auch wurden bei Sonnenblumen nur geringe TS-Gehalte (ø 17,5% TS) erreicht.



EVA-Fruchtfolgeversuch am Standort Ettlingen

Die Leistung von Luzerne-Klee-gras war höher als die von GPS-Getreide in Hauptfruchtstellung, jedoch insgesamt unbefriedigend. Bei GPS-Getreide erzielte Wintertriticale gefolgt von Hafer die höchsten Erträge und Grünroggen den niedrigsten Ertrag. Beim Anbau von Sommerzwischenfrüchten wurden nur geringe Erträge bei geringen TS-Gehalten (ø 9,4% TS) erzielt, sodass diese eher zur Verbesserung der Humusversorgung dienen sollten und nicht als Biogassubstrat.

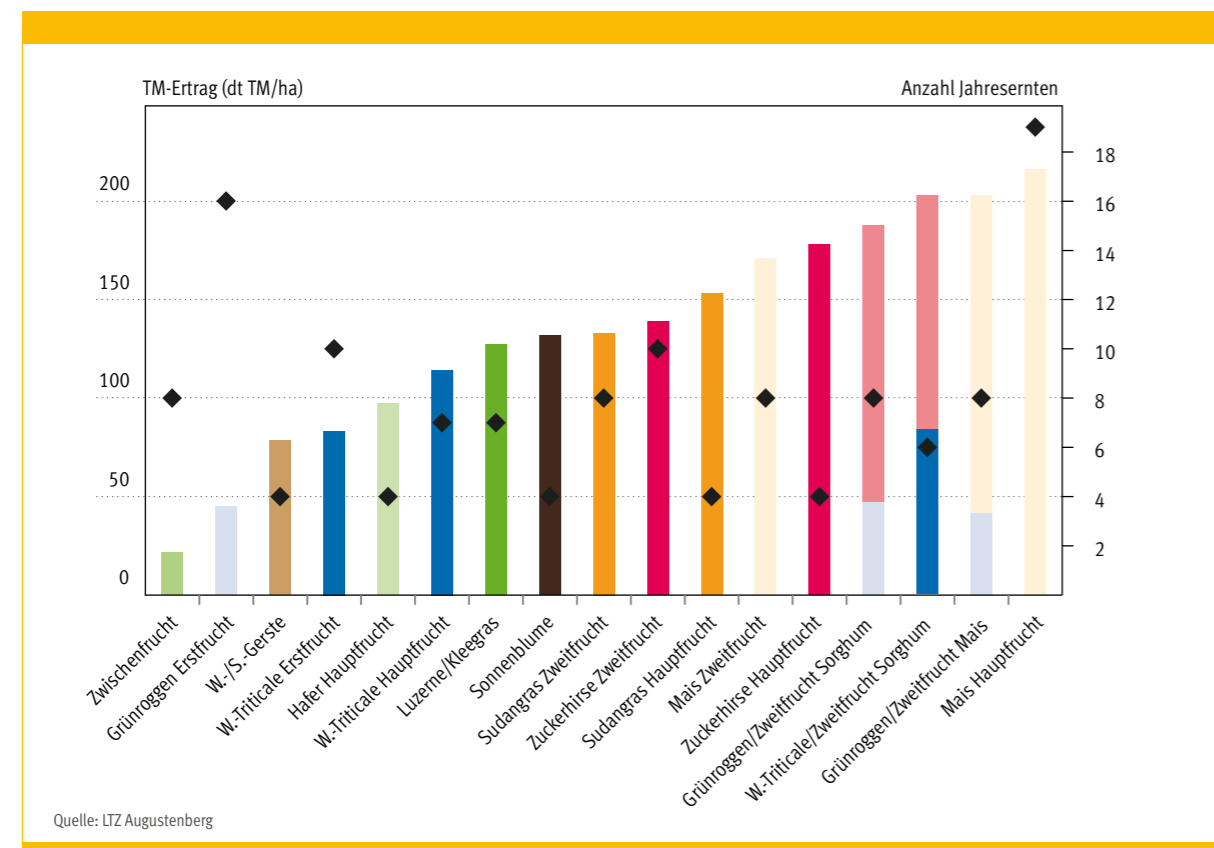


Abb. 3.3: Erträge (dt TM/ha) der Kulturen bzw. Fruchtfolgeglieder im Mittel der Fruchtfolgen FF1–FF9 am Standort Ettlingen (2005–2012)

3.1.2 Fruchtfolgeempfehlung für die Rheinebene und den Kraichgau

Die bisherigen Ergebnisse zeigen deutlich die Überlegenheit von Mais hinsichtlich der Ertragsleistung und Wirtschaftlichkeit. Aus diesem Grund wird auch in Zukunft der Mais eine tragende Rolle bei den Fruchtfolgen in den warmen Regionen Baden-Württembergs einnehmen. Obwohl Energiemais derzeit die wichtigste Kultur für die Bioenergieproduktion ist, sollte sein Fruchtfolgeanteil höchstens 66% betragen, um die Bodenfruchtbarkeit (Humuszehrung) zu erhalten und die weitere Ausbreitung des Maiswurzelbohrers einzudämmen. Hierfür sind mit Sorghumhirsen ertragsstarke Alternativen vorhanden, die bei dem zu erwartenden züchterischen Fortschritt die Ertragsnachteile zum Mais weiter aufholen werden. Sorghum ist aufgrund der hohen Wassereffizienz besonders als Zweitfrucht in Zweikulturnutzungssystemen interessant.

Bei reinen Energiepflanzenfruchtfolgen können Humusbilanzen trotz Gärerdüngung negativ ausfallen, besonders wenn hohe N- oder P-Gehalte der Gärreste die zulässigen Ausbringungsmengen und somit die Rückführung von organischem Kohlenstoff begrenzen. Daher ist bei jeder Fruchtfolgegestaltung auf eine Ausgewogenheit von Humusmehrern und -zehrern zu achten. Humusmehrung kann auch durch den Anbau von Marktfrüchten mit hohem Anteil verbleibender Erntereste wie z.B. Körnermais oder -getreide sowie durch Zwischenfruchtanbau erfolgen. Entsprechend den o.g. Empfehlungen kommen verschiedene Fruchtfolgen für sehr warme Standorte in Frage. Diese sind in Tabelle 3.2 aufgelistet.

3.1.3 Fruchtfolgeempfehlungen für kühlere und feuchte Standorte in Baden-Württemberg

Die Fruchtfolgeversuche im Rahmen von EVA in den anderen Boden-Klima-Räumen Deutschlands und die landeseigenen Versuche (siehe Kap. 2) zeigen, dass auch an eher kühlen und/oder feuchten Standorten in Baden-Württemberg der Mais als Garant für hohe Ertragsleistungen und Wirtschaftlichkeit eine tragende Rolle bei Biogasfruchtfolgen einnimmt. Im Rahmen der Zweikulturnutzung ist eine frühe Zweitfrucht z. B. nach Grünroggen denkbar, eine späte Zweitfrucht ist bei kürzer werdender Vegetationszeit nicht zu empfehlen. Der Anbau von Sorghumarten ist möglich, sie verfügen über ein hohes Biomassebildungspotenzial, jedoch erreichen die aktuell verfügbaren Sorten meist keine ausreichend hohen Trockensubstanzgehalte. Bei der Sortenwahl ist bei Mais und bei Sorghum darauf zu achten, dass ausreichend frühreife Sorten ausgewählt werden, die genügend hohe TS-Gehalte bei der Ernte ermöglichen.

Bei kühlen und niederschlagsreichen Bedingungen, wie sie z.B. in Oberschwaben, der Schwäbischen Alb oder im Schwarzwald anzutreffen sind, sind mit Ganzpflanzengetreide, insbesondere mit Wintertriticale, die Erträge von Mais zu erzielen. Zur Humusmehrung bieten sich Sommerzwischenfrüchte und Druschgetreide an. Nicht nur zur Erosionsminderung auf hängigen Flächen stellen Ackerfuttermischungen und Klee-gras lohnende Kulturen dar, sondern auch da sie an diesen Standorten hohe und stabile Methanerträge erzielen. Für kühle Standorte mit ausreichenden Niederschlägen sind verschiedene Fruchtfolgen denkbar, die in Tabelle 3.3 aufgeführt sind.

Autor: Butz, A.; Mastel K. (LTZ)

Im Oberrheingraben und im Kraichgau sind sehr hohe Erträge realisierbar. Begrenzender Faktor ist der Wassermangel in der Vegetationszeit. Daher sind die Empfehlungen zur Kulturartenwahl als Ergänzung zum Silomais in Abhängigkeit von der Wasserversorgung des Standortes in folgender Übersicht zusammengestellt:

Standort rel. sommertrocken (z. T. Boden geringerer Wasserhaltekräft), keine Beregnung	Standort rel. niederschlagsreich und/oder Boden mit hoher Wasserhaltekräft (Vorbergzone) oder Beregnung
Sorghumarten (neue Sorten)	Sorghum, Wintergetreide-Ganzpflanzen-silage (GPS)
Zweikulturnutzung: kann wegen Wassermangel in der Vegetationszeit (hohe Temperaturen und häufige Vorsommertrockenheit) Potenzial nicht ausschöpfen	Zweikulturnutzung: Wintergetreide + Silomais oder Sorghum ertragsstark aber hohe Produktionskosten Mais (13–15 t TM/ha) oder Sorghum nach frühräumender Marktfrucht (Wintergerste, Winterraps, Frühkartoffeln)
Wechsel mit einer Marktfrucht (Wintergetreide, Soja, Körnersorghum)	Wechsel mit einer Marktfrucht (Wintergetreide, Soja, Körnersorghum)
Grassilage von absolutem Grünland, ansonsten ist Gras und Klee vom Acker bei sehr warmen Bedingungen ertragsschwach und teuer	siehe linke Spalte

TABELLE 3.2: MÖGLICHE FRUCHTFOLGEN FÜR SEHR WARMER STANDORTE

	1. Haupt-nutzungsjahr	2. Haupt-nutzungsjahr	3. Haupt-nutzungsjahr	4. Haupt-nutzungsjahr	5. Haupt-nutzungsjahr
Standort rel. sommertrocken (z.T. Boden geringerer Wasserhaltekräft), keine Beregnung					
Fruchtfolgeglieder	Wintergerste Zuckerhirse	Mais (Korn/GPS) Winterroggen	Winterroggen (Korn/GPS) Zwischenfrucht	Mais (Korn/GPS) Winterroggen/ -weizen	Winterroggen/ -weizen
Standort rel. niederschlagsreich, Boden mit hoher Wasserhaltekräft (Vorbergzone) oder mit Beregnung					
Fruchtfolgeglieder	Silomais, Wintertriticale	Wintertriticale (GPS) Sorghum Grünschnittroggen	Grünschnittroggen (GPS) Körnermais Zwischenfrucht	Silomais Winterweizen	Winterweizen Zwischenfrucht

TABELLE 3.3: MÖGLICHE FRUCHTFOLGEN FÜR KÜHLE STANDORTE MIT AUSREICHENDEN NIEDERSCHLÄGEN

	1. Haupt-nutzungsjahr	2. Haupt-nutzungsjahr	3. Haupt-nutzungsjahr	4. Haupt-nutzungsjahr	5. Haupt-nutzungsjahr
Standort kühl und ausreichend Niederschläge					
Fruchtfolgeglieder	Mais (Kleegrass)	Kleegrass	Kleegrass Mais Wintertriticale	Wintertriticale (GPS) Winterroggen/-weizen	Winterroggen/ -weizen (Körner) Zwischenfrucht
	W. Weidelgrass Mais Wintertriticale	Wintertriticale (GPS) W. Weidelgrass	Welsches Weidelgrass	W. Weidelgrass Mais Grünroggen	Grünroggen W. Weidelgrass

3.2 Düngung mit Gärresten

Bei der Verwendung von Gärresten aus Biogasanlagen als Düngemittel sind die gesetzlichen Vorgaben des Düngesetz, Düngemittel-, Verbringungsverordnung und Abfallrechts (z.B. Bioabfallverordnung) zu beachten.

Gärreste aus Biogasanlagen zählen zu den **Wirtschaftsdüngern**, sofern sie aus pflanzlichen Stoffen entstehen und diese aus landwirtschaftlichen, forstwirtschaftlichen oder gartenbaulichen Betrieben stammen. Die Einstufung als Wirtschaftsdünger bleibt **auch** dann bestehen, **wenn tierische Ausscheidungen hinzukommen**. **Vermischungen mit Bioabfällen** und tierischen Nebenprodukten führen nach **Düngemittelverordnung** zu einer Einstufung als „organische Düngemittel“ (DWA, 2010).

3.2.1 Stoffgehalte und Eigenschaften von Gärresten

Die unterschiedliche Verwertung pflanzlicher Biomasse für Biogas oder als Tierfutter ohne nachfolgende Biogasgewinnung wirkt sich auf die Stoffgehalte im anfallenden organischen Dünger aus. Tabelle 3.4 zeigt wesentliche Unterschiede zwischen Rohgülle und Gärresten aus nachwachsenden Rohstoffen.

Ein Kubikmeter dieses flüssigen Düngers wiegt mit geringer Streubreite ca. eine Tonne. Somit sind Nährstoffberechnungen ohne Umrechnung der Gehaltsangaben auf der Basis von Volumen oder Gewicht gleichermaßen möglich (LTZ, 2008).

Durch die gezielte Vergärung der Biomasse zur Methangewinnung wird die organische Substanz verstärkt abgebaut und durch die Bildung von Methan und Kohlendioxid geht Kohlenstoff (C) verloren. Dies hat zur Folge, dass der Trockenmassegehalt (TM) sinkt, sich die Gehalte von Kohlenstoff zu Stickstoff (N) annähern und das C/N-Verhältnis kleiner als in Rohgülle ausfällt.

Die geringen TM-Gehalte machen Biogasgärreste **dünnflüssig**. Dünnflüssiger Gärrest haftet weniger als Gülle an den Pflanzen; der Gärprozess baut Säuren ab, sodass die Verätzungsgefahr für die Pflanzenbestände abnimmt (Mokry, 2011). Die Dünnflüssigkeit verbessert die Nährstoffverfügbarkeit, weil die Gärreste gut in den Boden eindringen (DWA, 2010).

Makronährstoffe

Auffallend ist neben dem geringeren TM-Gehalt der höhere N-Gehalt (Tabelle 3.4). Hinzu kommt, dass in Gärresten ein höherer Ammoniumgehalt und ein deutlich höherer pH-Wert als in Rohgülle festzustellen ist.

Das Plus an basisch wirksamen Substanzen (BWS) in den Gärresten beträgt in Tabelle 3.4 knapp 30%. Eine Gabe von 30 m³/ha flüssigem Gärrest bringt allerdings nur 1 dt/ha CaO in Form von BWS aufs Feld. Damit sind praxiserichtige Gärrestgaben nicht in der Lage, den pH-Wert in Böden anzuheben. Deshalb ist die Kalkversorgung über andere Düngemittel sicherzustellen (LTZ, 2008).

Keine Unterschiede zwischen Rinder-Rohgülle und reinen NawaRo-Gärresten treten beim Phosphorgehalt auf. Mischgärreste aus Rindergülle und NawaRo enthalten im Vergleich dazu mit 2,5 bzw. 3,5 kg/t FM beträchtlich mehr Phosphor (LTZ, 2008; KTBL, 2009a). Die Kaliumgehalte der Gärreste in Tabelle 3.4 übersteigen die Gehalte der Rinder-Rohgülle um 20%.

Der im Gärrest enthaltene **Stickstoff** ist im Anwendungsjahr zu 60–80% pflanzenverfügbar und weist damit eine mineraldüngeräquivalente Wirkung (MDÄ) in dieser Größenordnung auf. Das ist mehr als der NH₄-N-Anteil, da ein leicht abbaubarer Anteil des organisch gebundenen Stickstoffs schon im Düngjahr zur Verfügung steht. Pflanzen sind in der Lage, **Kalium** und **Phosphor** einer Gärrestdüngung bereits im Anwendungsjahr zu verwerten. Deren Wasserlöslichkeit beträgt 100 bzw. 65%. **Magnesium** weist

TABELLE 3.4: STOFFGEHALTE VON ROHGÜLLE UND NAWARO-GÄRRESTEN

Stoffe oder Stoffverhältnisse	Rohgülle überw. Rind	Gärreste NawaRo	Stoffe (kg/t FM)	Rohgülle überw. Rind	Gärreste NawaRo
TM (%)	9,1	6,1	P ₂ O ₅	1,9	1,8
C/N	10,8	6,4	K ₂ O	4,1	5,0
pH	7,3	8,3	MgO	1,02	0,84
Basisch wirksame Substanzen (BWS) (kg CaO/t FM)	2,9	3,7	CaO	2,3	2,1
N _{ges.} (kg/t FM)	4,1	4,7	S	0,41	0,33
NH ₄ -N (kg/t FM) (% von N _{ges.})	1,8 44 %	2,7 57 %	Org. Substanz	74,3	51,0

Quelle: LTZ, 2008; KTBL, 2009a; geändert

mit unter 20% eine geringe Wasserlöslichkeit auf und ist im Vergleich zu P und K weniger rasch pflanzenverfügbar. Die Gehalte von P, K und Mg sind sowohl bei der Nährstoffbedarfsberechnung als auch beim Nährstoffvergleich zu 100% zu berücksichtigen.

In Untersuchungen des LTZ wiesen die Messwerte bei den Makronährstoffen eine **maximale Streuung** innerhalb einer Anlage von ca. **50% auf** (Monitoring LTZ, 2008). Die mittlere Streuung innerhalb einer Anlage erreicht immerhin noch ca. ein Drittel bis zur Hälfte der Maximalstreuung. Auch **zwischen verschiedenen Anlagen** schwanken die Nährstoffgehalte stark. Die mittlere Streuung zwischen verschiedenen Anlagen liegt im Mittel nur 10% unter der Maximalstreuung. Aus diesen Ergebnissen ergibt sich die Dringlichkeit häufiger Nährstoffuntersuchungen bei guter Homogenisierung der Gärreste.

Schwermetalle

Schwermetallgehalte in Wirtschaftsdünger-Gärresten stellen kein Problem dar. Die Gehalte an Blei, Cadmium, Chrom, Nickel und Quecksilber unterschreiten die Grenzwerte der Bioabfall-Verordnung deutlich. Bei Kupfer (Cu) und Zink (Zn) können erhebliche Grenzwertüberschreitungen auftreten. Jedoch bleiben die Schwermetallmengen, die mit 20–30 m³ Gärresten pro ha ausgebracht werden, deutlich unter den Maximalmengen der *Dünge-* bzw. *Bioabfallverordnung*. Zudem sind die Schwermetalle Cu und Zn notwendige Spurennährstoffe für die Pflanzen. Aus diesem Grund kann die Zufuhr von Cu und Zn über Gärreste auf mangelversorgten Böden sogar erwünscht sein (Mokry, 2011).

Keime

Obwohl sich der Befall mit seuchenhygienisch relevanten Keimen wie Salmonellen bei NawaRo-Gärresten zumeist auf einem kaum bedenklichen Niveau bewegt, ist auch in Biogasanlagen der Gewährleistung einer zuverlässigen Seuchenhygiene hohe Aufmerksamkeit zu schenken.

Eine **Separierung von Gärresten** in eine flüssige und eine feste Phase lässt zwei unterschiedliche Düngemittel entstehen. Die beiden Phasen unterscheiden sich beispielsweise in ihren Gehalten an N, P, K und organischer Substanz. Damit ist eine Optimierung der Düngung für verschiedene Kulturen und Standorte möglich. Die flüssige Phase ist besonders geeignet als N- und K-Dünger beispielsweise für Mais, Getreide, Raps und Grünland. Die feste Phase ist ein optimaler P- und Humusdünger für das Ackerland (Möller et al., 2009).

3.2.2 Optimierung der Düngung mit Gärresten

Gärreste weisen im Vergleich zu Gülle tierischer Herkunft höhere N-Gehalte und einen erhöhten Ammoniumanteil am Gesamtstickstoff auf. Bei gleichzeitig hohen pH-Werten besteht ein höheres Risiko vermehrter gasförmiger N-Verluste aus offenen Gärrestbehältern sowie während und nach der Ausbringung. Um diese N-Verluste zu minimieren und die N-Düngeeffizienz aus Gärresten zu maximieren gilt grundsätzlich Folgendes:

- Die Gülle sollte möglichst bei emissionsarmen Witterungsbedingungen (kühl, bedeckter Himmel) ausgebracht werden.
- Die Gärreste werden mittels bodennaher Ausbringungstechnik (Schleppschlauch oder Injektion auf Ackerland, Schleppschuh auf Grünland) appliziert und auf unbestelltem Ackerland unverzüglich, d.h. spätestens bis zu 4 Stunden nach der Ausbringung, eingearbeitet.
- Die Zugabe von gemahlenem Gips (20–25 kg/m³) als Güllezusatz verringert die Ammoniakverluste und verbessert die Schwefelversorgung (Möller et al., 2009).
- Der Ausbringungszeitpunkt ist auf die Kulturart abzustimmen (Tabelle 3.5). Die höchste N-Effizienz ist bei Ausbringung zu Vegetationsbeginn im Frühjahr gegeben. Nach der Ernte der Hauptfrucht erlaubt die Düngeverordnung zu Stroh, Zwischenfrüchten und Folgekulturen 40 kg N/ha in Ammoniumform oder 80 kg Gesamt-N/ha. In der Vergangenheit wurden häufig nur diese „Obergrenzen“ für



Emissionsarme und gleichmäßig verteilte Gärrestausrbringung (bodennah, kühle Temperatur, bedeckter Himmel) nach N-Untersuchung des Gärrestes

TABELLE 3.5: N-EFFIZIENZ AUS ORGANISCHEN FLÜSSIGDÜNGERN ABHÄNGIG VON KULTURART U. AUSBRINGUNGSZEITPUNKT

Kultur	JUL	AUG	SEP	OKT	NOV	DEZ	JAN	FEB	MÄR	APR	MAI	JUN
W-Weizen, -Triticale, -Roggen												
Wintergerste												
Hafer, Futtergerste												
Winterraps												
Silo-, Körnermais												
Zucker-, Futterrüben												
Kartoffeln												
Feldgras												
Wiesen, Mähweiden												
Zwischenfrüchte												

Quelle: KTBL, 2009a; geändert

N-Effizienz ■ gering ■ mittel ■ gut

die Herbstdüngung mit Gülle beachtet. Maßgeblich ist jedoch, dass die Folgekultur auch tatsächlich einen Düngedarf für Stickstoff in entsprechender Höhe hat (Pfleiderer, 2012). Die Sperrfristen aus Tabelle 3.5 sind unbedingt einzuhalten.

- Auch organische Düngemittel sind mengenmäßig so auszubringen, dass die Nährstoffe durch die Pflanzen weitgehend ausgenutzt werden. Daher ist der Düngedarf (siehe 3.2.3) zu berechnen. Laut *Düngeverordnung* sind im Betriebsdurchschnitt je ha maximal 170 kg N/ha aus tierischen Wirtschaftsdüngern zulässig.

3.2.3 Düngedarfsberechnung

Der Düngedarf ist unter Berücksichtigung des Nährstoffbedarfs der Pflanzen, den im Boden vorhandenen Nährstoffen und der Nährstoffnachlieferung aus dem Boden zu berechnen.

Ziel der Gärrestdüngung ist es, 80% des N-Düngedarfs mit Gärresten zu düngen, um einen Spielraum für die mineralische Ergänzungsdüngung zu haben. Diese kann ertragsichernd wirken, insbesondere wenn Ertragsschwankungen auftreten (Möller et al., 2009). Wird der N-Düngedarf vollständig durch organische Dünger gedeckt, besteht eine höhere Wahrscheinlichkeit von N-Verlusten in Zeiten ohne oder mit geringem Pflanzenentzug (DWA, 2010).

Die hohen P- und K-Gehalte der Gärreste beschränken die einsetzbare Gärrestmenge besonders auf Böden mit den hohen Versorgungsstufen D und E. Berechnungen zeigen, dass Gärreste (30 m³), die den N-Düngedarf von Mais decken, häufig mehr P liefern, als ein Unterfuß mit P gedüngter Mais benötigt (DWA, 2010).

Im Berechnungsbeispiel in Tabelle 3.6 ist der Düngedarf für Energiemais mit einem Ertrag von 500 dt/ha berechnet. Die Berechnung erfolgte mit der Excelanwendung zur Düngedarfsberechnung des Landes Baden-Württemberg (www.landwirtschaft-bw.info).

Die Nährstoffgehalte im Gärrest, die der Beispielsrechnung zu Grunde liegen, entsprechen den Werten in Tabelle 3.4. Für die Bodenversorgung mit P, K und Mg ist die Gehaltsstufe C (= anzustreben) angenommen.

Der Stickstoffbedarf für Energiemais mit einem Ertrag in Höhe von 500 dt Frischmasse (FM)/ha beträgt 225 kg N/ha. Nach Abzug des N_{min}-Wertes (25 kg N/ha) und der N-Nachlieferung (90 kg N/ha) aus dem Boden ergibt sich der N-Düngedarf nach guter fachlicher Praxis in Höhe von 110 kg N/ha. Um diesen N-Bedarf zu 75% aus Gärresten abzudecken, werden 25 m³ Gärreste pro ha gedüngt. Bei der Berechnung der auszubringenden Gärrestmengen wurden 70% des Gesamt-N im Gärrest als pflanzenverfügbare N (MDÄ = 70%) zu Grunde gelegt.

Dadurch ist eine mineralische Ausgleichsdüngung für N in Höhe von 28 kg/ha erforderlich, für P und K beträgt sie 33 P₂O₅ bzw. 62 K₂O kg/ha. Zusätzliche Magnesiumdüngung ist nicht erforderlich (Bedarf 3 kg MgO/ha). Befände sich die P-Versorgung des Bodens anders als im Berechnungsbeispiel angenommen in Stufe D, wäre für eine ausgeglichene P-Düngung nur eine Düngung von 17 m³/ha erforderlich, bei einer K-Versorgung des Bodens in Stufe D lediglich 11 m³/ha. Anders ausgedrückt: Die Deckung des N-Bedarfs zu 100% über Gärrestdüngung – entsprechend 33 m³/ha – hätte eine P- und K-Überdüngung zur Folge.

TABELLE 3.6: BEISPIELRECHNUNG FÜR NÄHRSTOFFBEDARF, DÜNGEBEDARF UND AUSGLEICHSDÜNGUNG

Energienmais Frischmasse 30 % TS		kg/ha			
Ertragsersparung		N	P ₂ O ₅	K ₂ O	MgO
Ertragsersparung 500 dt/ha					
x Entzugswert	kg/dt Ertrag	0,41	0,19	0,53	0,07
= Entzug	=	205	95	265	35
+ Zuschlag für nicht erntbare Restpflanze	+	20			
= Nährstoffbedarf	=	225	95	265	35
- N-min Bodenvorrat im Frühjahr	-	25			
- Nährstofflieferung Boden, langj. org. Düngung	-	70	0	0	0
- Nährstofflieferung					
Aus Ernteresten der Vorfrucht:		+ Zu-/Abschläge nach Gehaltsklassen			
Winterweizen 14 %RP Ertrag in dt/ha: 70		C anzustreben C anzustreben C anzustreben			
aus Zwischenfrucht. u. aus org. od. min. Düng. (N) bzw. aus Wirtschaftsd. (PKMg) ab Ernte Vorfrucht		in Abhängigkeit vom Ertrag der Vorfrucht			
N: Nichtleg. im Frühj. eingearb., keine Düngung;		pauschal	kg/dt		
		0	0,24	1,12	0,16
			17	78	11
		20	1) Zusammen max. 40		
= Düngbedarf nach guter fachlicher Praxis (organ. oder mineral.; begrenzt durch Min.- u. Max.werte)	=	110	78	187	24

geplante Wirtschaftsdünger-Ausbringung:		kg/m ³ bzw. dt			
25 m ³ /dt Gärreste aus Biogasanlagen		3,30 ²⁾	1,80	5,00	0,84
		- 83	- 45	- 125	- 21
Im WSG Beschränkungen in Problem- u. Sanierungsgebieten !!!		2) anrechenbarer N (= 70% von Ntotal)			
= Bedarf an mineralischer Ausgleichsdüngung ³⁾	=	28	33	62	3

³⁾ Positiv: Ausgleichsbedarf; negativ: kein Ausgleichsbedarf (Überdüngung)

3.2.4 Ergebnisse der Gärrestversuche im Projekt EVA

Im Rahmen der zweiten Projektphase von EVA wurden am Standort Ettligen zwei Gärrestversuche durchgeführt. Ziel war, die mineralische Düngung mit der Gärrestdüngung zu vergleichen und die Ertragswirkung unterschiedlicher Gärrestmengen zu prüfen.

Im sogenannten „Großen Gärrestversuch“ erhielt Mais und Sorghum auf jährlich wechselnden Flächen Düngergaben in vier Varianten: 100 % des Düngedarfs wird mineralisch gedüngt, 3 Gärrestvarianten, in denen die Gärrestmengen 75, 100 und 125 % des N-Düngedarfs abdecken. Sorghum erzielte nahezu den gleichen TM-Ertrag wie Mais (Abbildung 3.4). Die höchsten Erträge erreichten beide Pflanzenarten bei den Varianten 100 % mineralische Düngung und 75 % Gärrestdüngung. Die Unterschiede zwischen den Düngervarianten waren jedoch nicht signifikant.

Im sogenannten „Kleinen Gärrestversuch“ wurde die Fruchtfolge 3 (siehe Kap. 3.1) des Grundversuchs zweimal (Anlage 1 und Anlage 2) wiederholt und mit 3 Varianten gedüngt. Der Düngedarf wurde in Variante 1 zu 100 % mineralisch,

in Variante 2 zu 50 % mineralisch und zu 50 % aus Gärresten und in Variante 3 zu 100 % aus Gärresten abgedeckt. Die Wirkung der Düngervarianten (Abb. 3.5) auf den Gesamtertrag war in Anlage 1 und 2 unterschiedlich. In Anlage 1 brachte die Variante mit 100 % mineralischer N-Düngung den maximalen Ertrag, in Anlage 2 die Variante mit 50 % mineralischer und 50 % Gärrestdüngung. Die aufsummierten Erträge in Variante 1 (100 % min.) und Variante 2 (50/50 min./org.) unterscheiden sich in Anlage 2 signifikant.

Auch andere Versuche des LTZ Augustenberg belegen, dass mit Gärresten grundsätzlich Erträge erzielt werden, die den Erträgen bei mineralischer Düngung entsprechen. Die Düngewirkung von Gärresten ist jedoch stärker als bei mineralischer N-Düngung von Standort und Witterung, insbesondere von den Niederschlagsverhältnissen abhängig, sodass eine Gabenteilung und Kombination mit mineralischer N-Düngung empfohlen wird (Mokry et al., 2012).

Autoren: Mastel, K.; Walter, E. (LTZ)



Abb. 3.4: Großer Gärrestversuch; aufsummierte Mais- und Zuckerhirseerträge 2009–2011 (N-Düngedarf zu 100 % mineralisch, 3 Gärrestvarianten, in denen die Gärrestmengen den N-Bedarf zu 75, 100 und 125 % abdecken)



Abb. 3.5: Kleiner Gärrestversuch; aufsummierte Erträge der Jahre 2009–2012 (Anlage 1) und 2009–2011 (Anlage 2) bei drei Düngervarianten: 100 % mineralische Düngung, 50 % mineralische und 50 % mit Gärresten, 100 % mit Gärresten

3.3 Wasserschutzaspekte

3.3.1 Gesetzlicher Rahmen

Um die Nutzbarkeit der Ressource Wasser für Mensch und belebte Umwelt langfristig zu erhalten oder wieder herzustellen, sind Grundwasser und Oberflächengewässer gleichermaßen zu schützen. Dabei spielt nicht nur der Nitrataustrag mit dem Sickerwasser sondern auch die oberflächliche Abschwemmung dieses Nährstoffs und anderer Stoffe (z. B. Boden, Phosphat, Pflanzenschutzmittel) in Gräben, Bäche und Flüsse eine Rolle.

Die EU fordert von Ihren Mitgliedsländern, diese Einträge zu vermeiden, differenziert erosionsgefährdete Gebiete auszuweisen und auf dieser Grundlage Gegenstrategien zu entwickeln und anzuwenden (Stichwort Cross Compliance).

Für den Schutz von Grund- und Oberflächengewässer besteht mit dem Inkrafttreten der Wasserrahmenrichtlinie 2000/60/EG (WRRL, 2000) ein gemeinsamer Ordnungsrahmen für die europäische Wasserpolitik. Ziel der Richtlinie ist es, „einen guten Zustand“ des Grundwassers und der Oberflächengewässer bis Ende 2015 zu erreichen oder zu erhalten.

Bezüglich der Grundwasserqualität wurden nach den Kriterien der WRRL (Abb. 3.6) 18% der Landesfläche Baden-Württembergs (37% im Bundesdurchschnitt) als „gefährdet“ eingestuft (Landtag, 2011). Länderübergreifende Bewirtschaftungspläne von Flusseinzugsbereichen und Grundwasserräumen liegen vor oder sind im Aufbau, um die Ziele der WRRL nicht nur in Wasserschutzgebieten sondern flächendeckend zu erreichen (www.wrrl.baden-wuerttemberg.de).

In den zurückliegenden Jahren und Jahrzehnten stand vielfach die Verringerung der Nitratbelastung des Grundwassers im Brennpunkt der Schutzbemühungen. Auf EU-Ebene legt die Trinkwasserrichtlinie (TWRL, 1998) und auf Bundesebene die Trinkwasserverordnung (TrinkwV, 2001) den höchst zulässigen Wert für Nitrat (50 mg/l) im Trinkwasser fest.

Das Land Baden-Württemberg erließ zum Schutz des Trinkwassers 1988 die Schutzgebiets- und Ausgleichs-Verordnung für Wasserschutzgebiete (WSG), kurz SchALVO (SchALVO, 2001). Die SchALVO unterscheidet bei den WSG zwischen Normal-, Problem- und Sanierungsgebieten (Abb. 3.6). In Normalgebieten liegt der Nitratgehalt des Trinkwassers stabil und deutlich unter 50 mg/l. Deshalb gibt es für Normalgebiete keine Vorgaben, die über eine ordnungsgemäße Landbewirtschaftung hinausgehen. Weitergehende Auflagen sind für Problemgebiete festgelegt, weil in deren Grundwasser eine Tendenz festzustellen ist, den Nitrat-Grenzwert zu überschreiten. Die Grundwasserbelastung in Sanierungsgebieten ist so hoch, dass nur verschärfte Bewirtschaftungsauflagen zur dauerhaften Senkung

des Nitratgehalts unter 50 mg/l führen können (Merkblatt Nr. 20 „Die Schutzgebiets- und Ausgleichs-Verordnung – Praktische Umsetzung im Ackerbau und auf Grünland“, www.landwirtschaft-bw.info).

Vor diesem Hintergrund ist eine wasserschutzorientierte Flächennutzung auch mit Energiepflanzen zu einer Herausforderung geworden, der sich nicht nur landwirtschaftliche Betriebe in Wasserschutzgebieten sondern alle landwirtschaftlichen Betriebe stellen müssen.

Abbildung 3.6 zeigt eine Übersicht der Wasserschutzgebiete und gefährdeten Grundwasserkörper in Baden-Württemberg.

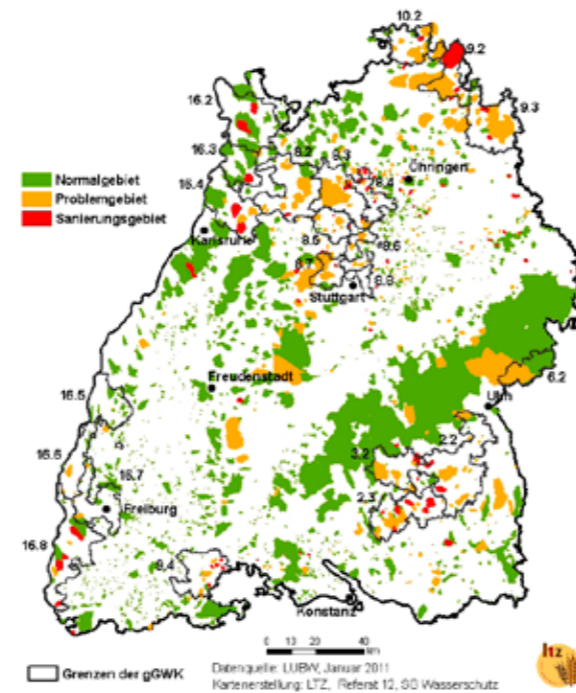


Abb. 3.6: Wasserschutzgebiete und gefährdete Grundwasserkörper in Baden-Württemberg

3.3.2 Risiken für den Wasserschutz vermeiden

Beim Energiepflanzenanbau ist wie beim Marktfrucht- und Futterbau eine Wassergefährdung grundsätzlich zu minimieren. Neben der Verhinderung des Bodenabtrages ist besonders die Minimierung der Nitratauswaschung in das Grundwasser von zentraler Bedeutung.

Risiken durch den Energiepflanzenbau können für den Wasserschutz durch unsachgemäße gärrestbetonte Düngung und bei Verdrängung extensiver durch intensive Kulturen entstehen.

Silomais ist eine N-effiziente Kulturart mit hohem Ertragspotenzial, guter Vergärbarkeit, hoher Wassernutzungseffizienz und hoher Wirtschaftlichkeit. Mit einem geschätz-

ten Flächenanteil von ca. 66% an der für Biogas genutzten Ackerfläche ist Silomais die wichtigste Biogaspflanze in Baden-Württemberg. Silomais weist aber vergleichsweise hohe N_{min} -Werte im Herbst und damit hohe Nitrat-Mengen im Boden auf, die über Winter ausgewaschen werden können. Ursache dafür ist eine Kombination aus wenig N-bindenden Ernteresten, ungenügender Begrünung nach der Ernte bzw. Nachfrüchte ohne nennenswerte N-Aufnahme vor Winter und intensiver Bodenbearbeitung zur folgenden Winterung.

Zusätzlich besteht bei organischer bzw. organisch-mineralischer Düngung ein gesteigertes Risiko von höheren N_{min} -Werten im Herbst. Eine langjährige und intensive organische Düngung, auch mit Gärresten, schafft einen charakteristischen N-Pool im Boden, der bei bestimmten Witterungs- und Bodenbedingungen unkontrollierbar und rasch erhebliche Nitrat-Mengen im Boden freisetzt. Dieser Stickstoff kann im Herbst weder durch den Silomais noch durch die Folgekultur aufgenommen und damit nicht vor Auswaschung geschützt werden.

3.3.3 Maßnahmen zur Optimierung des Wasserschutzes

Zum Schutz der Oberflächengewässer sind zur Erosionsvermeidung die allgemeinen acker- und pflanzenbaulichen Schutzmaßnahmen auch für Bioenergiepflanzen zielführend. Bei den Reihenkulturen mit späterer Saat und langsamer Anfangsentwicklung wie Silomais und Sorghumarten haben Zwischenfrüchte in Verbindung mit Mulchsaatverfahren einen besonderen Stellenwert.

Zur Minimierung des N-Austrages ins Grundwasser sind Maßnahmen wie eine vielfältige Fruchtfolge, Untersaaten, Zwischenfrüchte, reduzierte Bodenbearbeitung, lange Lagerkapazitäten für Gärreste und die Optimierung von Düngungsmaßnahmen zu nennen. Sie sind standortspezifisch und betriebsindividuell miteinander zu kombinieren und zu realisieren.

Aufweitung der Fruchtfolge

Silomaisbetonte Fruchtfolgen können durch die Integration von Kulturen mit geringem N-Verlagerungsrisiko wie Getreide als GPS (in Verbindung mit nachfolgenden Zwischenfrüchten) und Zuckerrüben aufgelockert werden. Die Wirkung von Sorghumarten und Sonnenblumen unter Wasserschutz-Aspekten wird gegenwärtig noch untersucht. Bei grundsätzlicher Standorteignung (Wasserversorgung) können auch Zweikulturmutzungssysteme mit Mais oder Sorghum bei angepasster N-Düngung einen Beitrag zur Senkung des Auswaschungsrisikos leisten. Grundwasser-schonende Effekte sind auch beim Anbau von über- und mehrjährigen Kulturen (Gras und Klee, Durchwachsene Silphie, Wildartenmischungen) zu erwarten, die bis zur Ernte N aufnehmen, nach der Ernte erneut austreiben und zusätzlich N noch vor und/oder über Winter aufnehmen.



Bild oben: Untersaaten binden Stickstoff, mindern Erosion und Bodenverdichtung / Bild unten: Zwischenfrüchte können Stickstoff vor, über und nach dem Winter fixieren

Gräseruntersaaten können in Regionen mit ausreichender Wasserversorgung das N-Auswaschungsrisiko senken. Hier sollte der Umbruch der Untersaat möglichst erst im folgenden Frühjahr erfolgen.

Anbau von Zwischenfrüchten

Zwischenfrüchte nehmen aus dem Boden Stickstoff vor und über Winter auf, fixieren ihn in Biomasse und schützen ihn dadurch vor der Auswaschung in den auswaschungsgefährdeten Wintermonaten. Zusätzlich wird während des Wachstums Wasser zur Biomassebildung dem Boden entzogen. Dies sind z.B. ca. 160 mm für einen realisierbaren Biomasseaufwuchs von 40 dt TM/ha. D.h. der Boden ist über Winter wesentlich später bzw. gar nicht wassergesättigt und es kommt entsprechend später, in geringerem Umfang oder gar nicht zur Versickerung.

Bei einer Versuchsreihe des LTZ 2003–2005 wurden bei einer Aussaat der Zwischenfrüchte vor Mitte August weit mehr als 100 kg N/ha dem Boden entzogen. Bei einer späteren Aussaat ab Mitte September konnten diese Wirkungen nur noch sehr eingeschränkt erzielt werden. Daher gilt der 15.9. als spätestster Aussaattermin für eine Zwischenfrucht. Dieser Zusammenhang kommt durch folgende einprägsame Regel zum Ausdruck: „Ein Tag im August ist mehr wert als eine Woche im September und diese mehr als der ganze Oktober.“

Weiterhin konnte gezeigt werden, dass aus Sicht des Wasserschutzes die Bodenbearbeitung bzw. die Einarbeitung der Zwischenfrüchte nicht vor Winter sondern erst danach möglichst nahe am Aussaattermin der Folgefrucht liegen sollte.

Abfrierende Zwischenfrüchte wie Senf, Phacelia oder Ölrettich verhindern die N-Auswaschung primär im Herbst bis einschließlich Dezember. Winterharte Zwischenfrüchte wie Weidelgras, Winterraps- und Winterrübsen sowie Grünroggen nehmen Stickstoff auch über Winter auf und konservieren ihn in der Biomasse auch in den Folgemonaten.

Neben der Nutzung der Zwischenfrucht zur N-Konservierung und Humusmehrung können Zwischenfrüchte auch als Substrat für die Biogaserzeugung dienen. Hierbei ist jedoch zu beachten, dass besonders die abfrierenden Zwischenfrüchte häufig nur sehr unzureichende TS-Gehalte und geringe Biogasausbeuten aufweisen. Daher ist es oft sinnvoller, abfrierende Zwischenfrüchte zur Gründüngung auf dem Feld zu belassen. Winterharte Arten wie Weidelgras oder Grünroggen können in einem Zweikulturnutzungssystem durchaus zur Biogaserzeugung genutzt werden.

Reduzierte Bodenbearbeitung

Eine reduzierte Bodenbearbeitung, insbesondere im Herbst kann N-Mineralisationsschübe vermindern. Intensive Bodenbearbeitung mittels Pflug verursacht im Vergleich zur reduzierten Bodenbearbeitung u. U. 15–20 kg N/ha höhere N_{min} -Gehalte im Herbst (Waldorf & Grimm, 2003). In Einzelfällen sind auch wesentlich höhere Nitratschübe möglich.

Düngung optimieren

Ziel einer optimierten Düngung ist es, die Stickstoffdüngung im gesamten Vegetationsverlauf bestmöglich am Bedarf der Kulturen auszurichten und einen N-Überschuss insbesondere nach der Ernte und im Herbst zu vermeiden.

Um dieses Ziels zu erreichen, stehen verschiedene Instrumente zur Verfügung:

- Bereitstellung von ausreichendem Lagerraum für Gärreste um pflanzenbedarfsgerecht, vorzugsweise im Frühjahr, düngen zu können. Die Einhaltung des gesetzlich vorgeschriebenen Lagerraums für mindestens 6 Monate ist oft nicht ausreichend. Aus Wasserschutzsicht wird in Abhängigkeit von den Anbauverhältnissen ein Lagerraum von bis zu 9 Monaten empfohlen.
- Aus tierischen Wirtschaftsdüngern dürfen maximal 170 kg N/ha und Jahr im Mittel des Betriebes ausgebracht werden. Ist tierischer Wirtschaftsdünger im Gärrest enthalten, wird nur dieser Anteil auf die Stickstoffobergrenze angerechnet. Im Sinne des o. g. Ziels besteht die Forderung, die 170-kg-Grenze auf alle organischen Düngemittel auszudehnen.

- Eine richtige Bemessung der Ausbringungsmengen von Gärresten ist nur möglich, wenn deren Nährstoffgehalte bekannt sind. Hierzu sind regelmäßige Analysen von homogenisierten Gärresten vor der Ausbringung nötig.
- Von zentraler Bedeutung ist eine angepasste N-Düngung basierend auf einer standort- und kulturartspezifischen Düngebedarfsberechnung mit realistischen Ertrags Erwartungen (siehe Kap. 3.2).
- Für eine richtige Berechnung des Düngebedarfs muss man den Gehalt an pflanzenverfügbarem Stickstoff (N_{min}) im Boden zu Vegetationsbeginn kennen. Bei Mais bietet sich hierfür besonders die „Späte N_{min} -Untersuchung“ an, die in Problem- und Sanierungsgebieten Baden-Württembergs zum Grundwasserschutz vorgeschrieben ist. Der Beprobungstermin bis zum Reihenschluss des Mais (frühestens ab Vier-Blattstadium sowie mindestens vier Wochen nach Saat – spätestens Anfang Juni) berücksichtigt die Bodenmineralisation zwischen der Aussaat und der zweiten Düngergabe. Die erste Düngergabe darf 40 kg N/ha langsam wirkenden Düngers nicht überschreiten. Daher ist es wertvoll, die N_{min} -Werte im Frühjahr für die verschiedenen Kulturarten und Bodentypen eines Betriebes zu ermitteln. Darüber hinaus ermittelt das LTZ durchschnittliche N_{min} -Werte für die wichtigsten Kulturarten in sieben Regionen des Landes und teilt sie über den „Nitrat-Informationsdienst Baden-Württemberg“ wöchentlich in den landwirtschaftlichen Wochenblättern mit.
- Bei der Berechnung des N-Düngebedarfs ist vom N-Bedarf der Pflanze nicht nur der N_{min} -Wert sondern auch die N-Nachlieferung des Bodens während der Vegetationszeit der Kultur abzuziehen. Insbesondere nach langjähriger organischer Düngung, nach N-reichen Vorfrüchten und bei Kulturen mit langer Vegetationszeit können in Abhängigkeit von der Jahreswitterung aus dem N-Pool des Bodens weitaus mehr als 100 kg pflanzenverfügbarer N pro ha und Jahr freigesetzt werden.

Maßnahmen zur Erfolgskontrolle

Zur Bewertung der für den Wasserschutz ergriffenen Maßnahmen kommen z. B. die Untersuchung des Rest-N-Gehaltes im Boden vor Winter (Herbst N_{min} -Wert) und die Berechnung des Flächenbilanzsaldos in Frage. Die Herbst N_{min} -Werte werden in allen Problem- und Sanierungsgebieten des Landes zum Trinkwasserschutz ermittelt. Die Nährstoffvergleiche müssen von jedem Betrieb jährlich für Stickstoff und Phosphat erstellt werden. Dabei sind auch die vom jeweiligen Betrieb ausgebrachten Gärrestmengen zu berücksichtigen.

Autoren: Walter, E.; Mastel, K. (LTZ); von Butlar, C. (IGLU Göttingen)

3.4 Humusbilanz

Humus ist 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 und erhöht Wasserhaltevermögen sowie Gasaustausch. Durch seinen positiven Einfluss auf die Bodenstruktur werden Wassererosion und Bodenschadverdichtung vermindert.
- Der Humus im Boden kann als CO_2 -Senke und CO_2 -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 Bodenart, Bodentemperatur, Bodenwassergehalt, angebaute Fruchtarten und Bodenbearbeitung beeinflusst.

Um Ertragsfähigkeit und Funktionen des Bodens langfristig zu gewährleisten, ist eine gute Versorgung des Bodens mit Humus notwendig. Mit Hilfe 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 zeigt auf, welchen Anteil die jeweilige Kultur 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 3.7 aufgeführt, weitere sind in VDLUFA (2004) enthalten.

Methoden

Die Humusbilanzen wurden beispielhaft für die Pseudogley-Parabraunerden aus Löss im Raum Ettlingen nach VDLUFA (2004) mit den sogenannten „unteren Werten“ berechnet. Diese Methode ist in Deutschland die gebräuchlichste Methode zur Humusbilanzierung. Für die Bilanzen 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) angenommen.

- Die Humusbilanzen wurden für „niedrige“, „normale“ und „gute“ Erträge (siehe Abb. 3.7 und Teil Ökonomie) berechnet. „Niedrige“ und „gute“ beziehen sich auf Erträge, die in etwa einmal in 10 Jahren erreicht werden. 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-Arten 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 3.7 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, Sudangras und Futterhirse mit 280 kg/ha Humus-C. Humusmehrend wirken Grünschnittroggen als Winterzwischenfrucht und Luzernegras. Der mittlere TM-Ertrag von Silomais mit 18,3 t/ha liegt um rund 3,5 t über dem von Sudangras mit 14,7 t/ha. Die Humuswirkung des Gärrestes von Sudangras je Hektar ist jedoch 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 (Abb. 3.7, unten): Wenn die Gärreste im System verbleiben, erreicht Sudangras einen Humusbilanzsaldo der abhängig vom Ertrag als „hoch“ oder „optimal“ zu bewerten ist. Der Humussaldo von Getreide mit Ganzpflanzennutzung (geerntet in der Milch- bis Teigreife) liegt im optimalen Bereich, bei Gerste aufgrund des niedrigeren Ertrages etwas

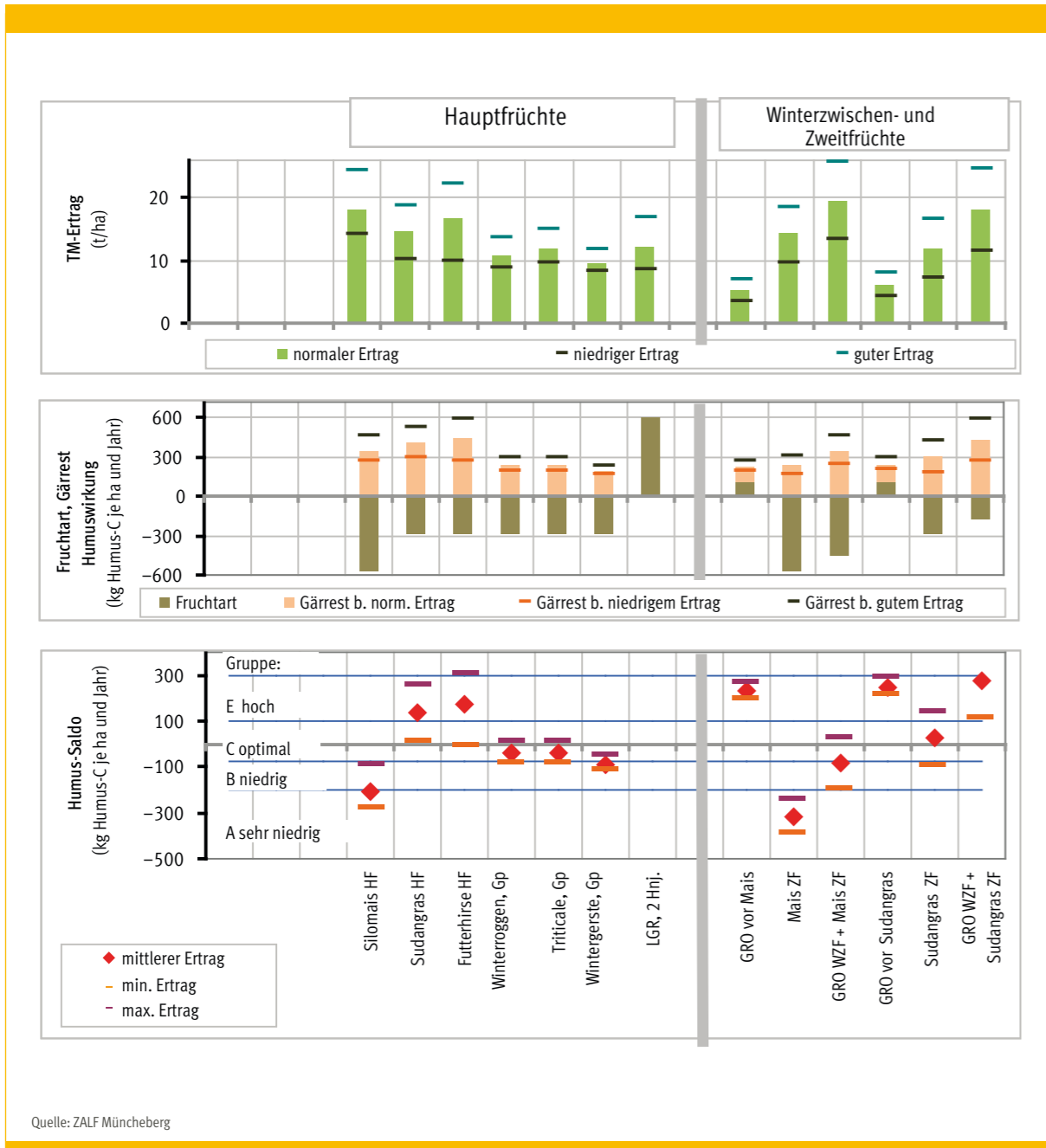


Abb. 3.7: Humusbilanz unter Berücksichtigung mittlerer, minimaler und maximaler Erträge der Pseudogley-Parabraunerden aus Löß im Raum Ettligen, berechnet nach VDLUFA, 2004, "untere Werte"

HF = Hauptfrucht
 ZF = Zweitfrucht
 GRO = Grünschnittroggen
 WZF = Winterzwischenfrucht, geerntet Mitte Mai
 Gp = Ganzpflanze

Hnj. = Hauptnutzungsjahre
 LGR = Luzernegras, Bewertung der Humuswirkung von Sudangras und Futterhirse auf Basis von Expertenschätzung: wie Getreide

darunter. Mehrschnittiges Ackerfutter, wie z. B. Luzernegras wirkt stark humusmehrend (+600 kg/ha). Zusammen mit dem aus der Vergärung anfallenden organischen Dünger (+300 bis +600 kg/ha, nicht in der Abbildung dargestellt) kann ein Anbau, beispielsweise als sogenannte „Springfrucht“ dazu beitragen, Humussalden einer Fruchtfolge deutlich zu steigern. Dabei ist darauf zu verweisen, dass eine Gärrestdüngung von Luzernegras entsprechend dem Anteil der N-fixierenden Leguminosen, reduziert werden sollte. Bei Ackergras 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 80, 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 humusliefernden 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.

Autor: Willms, M. (ZALF Müncheberg)

3.5 Bewässerung

Zur Erzielung hoher und stabiler Biomasseerträge von Bioenergiepflanzen gewinnt auch die Bewässerung an Bedeutung. Gerade auf zur Trockenheit neigenden Standorten und in niederschlagsarmen Jahren ist die Wasserversorgung für Ertrag und Ertragsicherheit entscheidend.

So weisen einige Regionen Baden-Württembergs eine negative klimatische Wasserbilanz während des Sommerhalbjahres (April–September) auf (siehe Tab. 1.1). Dies bedeutet, dass die Verdunstung nicht mehr durch Niederschläge ausgeglichen und dieses Defizit nur begrenzt, durch die in den Böden gespeicherte Winterfeuchte, kompensiert werden kann. Eine Zunahme der Häufigkeit und der regionalen Ausdehnung von Wassermangelsituationen ist, bedingt durch den Klimawandel, zu erwarten.

Um die Bedeutung der Zusatzbewässerung für Bioenergiepflanzen zu prüfen, wurden im Rahmen des „EVA-Projektes“ mehrere Versuche (2005–2009) in Nord- (Braunschweig, Niedersachsen) und Ostdeutschland (Müncheberg, Brandenburg) sowie in Baden-Württemberg (Rheinstetten-Forchheim) durchgeführt.

Ziel der Versuche war es, zu prüfen, inwieweit sich die Wasserversorgung auf die Biomasse- und Gaserträge auswirkt.

3.5.1 Bewässerungswürdigkeit einzelner Kulturarten

Bei landwirtschaftlichen Kulturen geht man davon aus, dass ab dem Absinken der Bodenfeuchte unter 40–50% des pflanzenverfügbaren Wassers, d. h. wenn im Boden 40–50% der nutzbaren Feldkapazität (nFK) unterschritten wird, ein Wasserstress durch Wassermangel auftritt. Dies ist auch der Zeitpunkt, an dem eine Bewässerung stattfinden sollte. Für die Ermittlung der Bodenfeuchte stehen unterschiedliche Bodenfeuchtesensoren wie z. B. Tensiometer oder Watermarkensensoren zur Verfügung. Auch ist es möglich, die Bodenfeuchte anhand von klimatischen Wasserbilanzen zu berechnen. Eine solche klimatische Wasserbilanz zur Beregnungssteuerung wird z. B. vom Deutschen Wetterdienst (Agrowetter) angeboten.

Zur Ermittlung der Bewässerungswürdigkeit verschiedener Kulturarten wurden im EVA-Versuch „Artenvergleich“ in Rheinstetten-Forchheim von 2005–2009 Maissorten unterschiedlicher Siloreifezahl (S250 bis S700), Sonnenblumen, Futterhirse (*Sorghum bicolor*), Sudangras (*Sorghum bicolor x sudanense*), Futterrüben (2005–2007), Topinambur und Silomais-Sonnenblumen-Gemenge geprüft. Die Kulturen wurden ab < 50% nFK bewässert („optimal“), wobei die Bodenfeuchte auf 80% nFK aufgefüllt wurde. Die Bewässerungssteuerung erfolgte mit Agrowetter des Deutschen Wetterdienstes. Als Vergleich wurden die Kulturen nur kurz vor dem Verwelken notbewässert („minimal“).

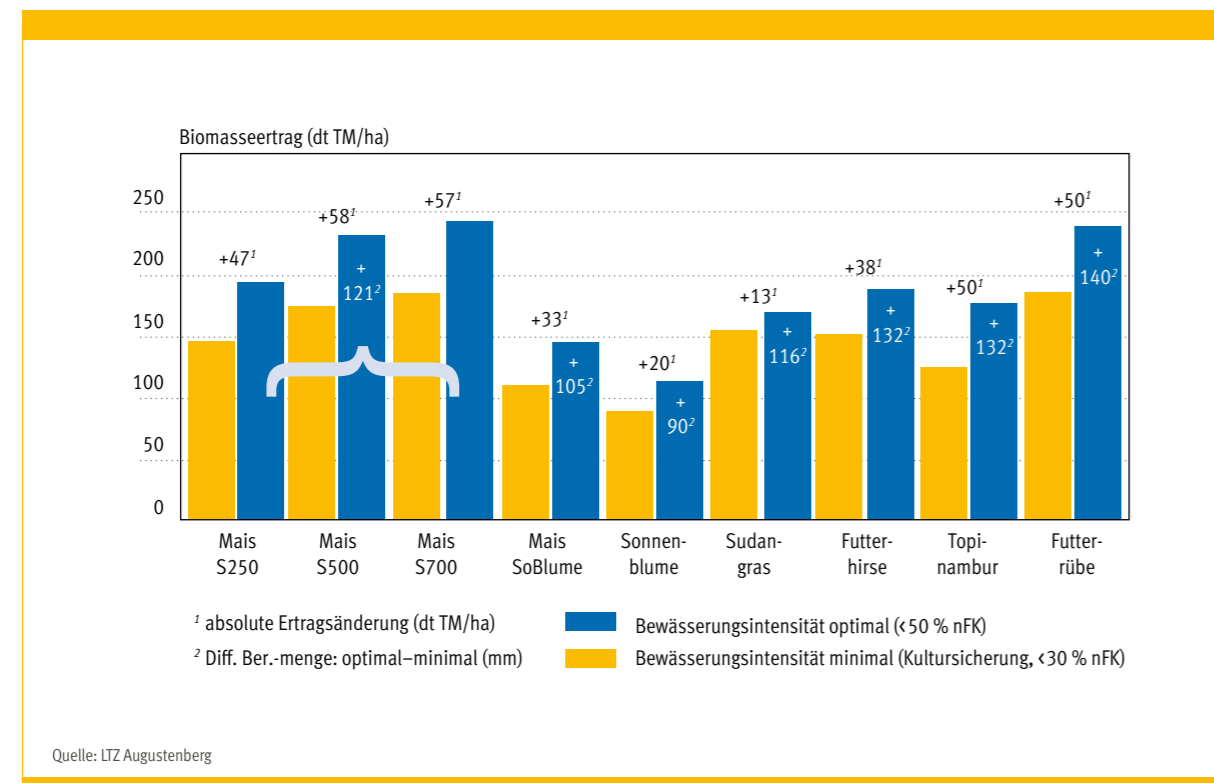


Abb. 3.8: Artenvergleich Bewässerung (EVA): Biomasseerträge (dt TM/ha Ø 2005–2009) in Abh. von der Bewässerung in Rheinstetten-Forchheim

Bei **minimaler Wasserversorgung** erzielten im Mittel der Versuchsjahre die späten Maissorten und die Futterrüben mit 178 bzw. 186 dt TM/ha die höchsten TM-Erträge (Abb. 3.1). Die beiden Sorghumarten Futterhirse und Sudangras (150 bzw. 154 dt TM/ha) übertrafen unter diesen trockenen Wachstumsbedingungen die frühe Maissorte (144 dt TM/ha) im Biomasseertrag. Im Vergleich zu den auch unter trockenen Bedingungen enttäuschenden Sonnenblumen (90 dt TM/ha) und dem Mais-Sonnenblumen-Gemenge (109 dt TM/ha) erzielte das Topinamburkraut mit 124 dt TM/ha weit höhere Biomasseerträge.

Bei der **optimal mit Wasser** versorgten Variante erzielten im Mittel der Versuchsjahre die späten Maissorten und die Futterrüben die höchsten Trockenmasse-Erträge von 235 dt TM/ha, wobei in einzelnen Jahren durchaus über 260 dt TM/ha geerntet wurden. Die frühe Maissorte realisierte im Mittel der Jahre einen Trockenmasse-Ertrag von 190 dt/ha. Diesen Ertrag erreichte im Durchschnitt der Jahre auch die Futterhirse (187 dt TM/ha). Topinambur und Sudangras brachten Biomasseerträge von 174 und 167 dt TM/ha, wohingegen die Sonnenblumen und das Mais-Sonnenblumen-Gemenge mit 110 bzw. 142 dt TM/ha eher enttäuschten.

Die höchste absolute **Ertragssteigerung** von 58 dt TM/ha konnten die späten Maissorten bei optimaler Beregnung im Vergleich zur minimalen Beregnung verzeichnen (Abb. 3.8). Topinambur und Futterrüben realisierten durch das „Mehr“ an Wasser 50 dt TM/ha, Futterhirse 38 dt TM/ha und das Mais-Sonnenblumen-Gemenge 33 dt TM/ha Mehrertrag. Den geringsten Einfluss der Zusatzbewässerung konnte bei Sudangras und Sonnenblumen mit Ertragszuwächsen von lediglich 13 bzw. 20 dt TM/ha festgestellt werden.

Insgesamt führte die Beregnung zu eher geringeren TS-Gehalten (1–2 Prozentpunkte weniger). In beregneten Beständen war zu beobachten, dass sie länger grün bleiben und daher auch länger wachsen. Zur Erreichung optimaler TS-Gehalte sind beregnete Bestände häufig später als unberegnete zu ernten.

Generell kann festgehalten werden, dass Mais mit mittleren Gehalten von 32% TS uneingeschränkt zur Silierung geeignet ist. Optimale TS-Gehalte wurden bei Sudangras (Ø 26%), Futterhirse (Ø 25%), Sonnenblumen (Ø 26%), Mais-Sonnenblumen-Gemenge (Ø 28%) und Topinambur (Ø 27%) nahezu ausschließlich in stark vertrockneten Beständen der minimal versorgten Varianten erzielt. Spezielle Verfahren zur Konservierung sind bei den Futterrüben (Ø 15,6%) unabdingbar, da Sickersaftverluste bei konventioneller Silierung unvermeidbar sind.

Zusammenfassung Artenvergleich

Späte Maissorten und Futterrüben realisierten sowohl in der minimal als auch in der optimal mit Wasser versorgten Variante die höchsten Biomasseerträge aller geprüften Kulturarten. Eine Zusatzbewässerung von Energiepflanzen führte dabei zu einer beträchtlichen Ertragssteigerung, die im Mittel knapp 60 dt TM/ha betrug.

In einzelnen Jahren und insbesondere bei Wasserknappheit konnten die Sorghum-Arten Sudangras und Futterhirse ähnlich hohe Biomasseerträge im Vergleich zu Mais und Futterrüben realisieren, sodass hier durchaus Alternativen bzw. Ergänzungen zum Maisanbau an warmen Standorten zur Verfügung stehen. Auch der Anbau von Topinambur könnte an einzelnen Standorten durchaus Erfolg versprechend realisiert werden. Die in diesem Versuch getesteten Sonnenblumen enttäuschten.

3.5.2 Bewässerungswürdigkeit bei Zweikulturnutzungssystemen

Die den Zweikulturnutzungssystemen für Biogasproduktion zugrunde liegende Idee besteht darin, weniger produktive bzw. unproduktive Perioden, wie sie bei früher Aussaat von wärmebedürftigen Sommerungen wie den C₄-Pflanzen z. B. Mais und Sorghum gegeben sind, zu vermeiden bzw. zu reduzieren. Hierzu wird über die Zeiten mit kühler Witterung eine für diese Bedingungen besser angepasste C₃-Pflanze angebaut. Nach der Ganzpflanzenernte der C₃-Pflanze kann dann in der warmen Phase eine C₄-Pflanze folgen.

Um die Bewässerungswürdigkeit von Biogaspflanzen bei Zweikulturnutzung zu prüfen, wurde in Rheinstetten-Forchheim (2008–2009, Abb. 3.9) im Rahmen des EVA-Projektes ein Feldversuch durchgeführt.

Von 2008–2009 wurden Zweikulturnutzungssysteme mit Winterroggen und anschließender Zweitkultur (Mais, Sudangras, Futterhirse), mit dem Hauptfruchtanbau der Sommerung bei zwei Beregnungsintensitäten verglichen. Der Winterroggen wurde zu einem frühen Termin (Ährenschieben, Mitte Mai) und zu einem späteren Termin (Fruchtentwicklung, Anfang Juni) geerntet. Im Anschluss wurden Mais und Sorghumhirschen eingedrillt. Die Beregnung in den optimal mit Wasser versorgten Parzellen wurde mithilfe des Agrowetter-Modells (Deutscher Wetterdienst) gesteuert. Die nutzbare Feldkapazität des Bodens sollte 50% nicht unterschreiten. In der minimal mit Wasser versorgten Variante wurde nur dann beregnet, wenn zu befürchten war, dass die Keimlinge der Zweitkultur vertrocknen.

Im Jahr 2008 war eine späte Aussaat der Zweitfrüchte auch ohne Zusatzbewässerung möglich, im Jahr 2009 musste auch die unberegnete Variante mit Wasser versorgt werden. Das heißt, dass trockene Bedingungen zur Aussaat der Zweitfrüchte ohne Bewässerungsmöglichkeit zum Komplettausfall der Zweitkultur führen können!

Auf dem sehr warmen und trockenheitsgefährdeten Standort Rheinstetten-Forchheim erzielten Mais (-22%), Futterhirse (-17%) und Sudangras (-14%) ohne Bewässerung in Zweitfruchtstellung im Mittel geringere Biomasseerträge als in Hauptfruchtstellung (Abb. 3.9). Jedoch konnte die Erstkultur diesen Ertragsverlust ausgleichen. So erzielte der Grünschnittroggen beim frühen Erntetermin (BBCH 51-53) ca. 45 dt TM/ha und bei einem späten (BBCH 71-77) ca. 75 dt TM/ha als Ganzpflanzensilage.

In den beiden Prüffahren ließen sich bei Zweikulturnutzung auch bei minimaler Bewässerung um 23% höhere Erträge erzielen als bei reinem Hauptfruchtanbau. Jedoch entstehen im Zweikultursystem auch höhere Kosten u. a. durch die zweimalige Bestellung und Beerntung der Fläche. Die Kombination Roggen/Futterhirse lag ertraglich vor Roggen/Mais und Roggen/Sudangras.

Durch die Bewässerung der Zweitkultur stiegen die Biomasseerträge der Zweitkultur um bis zu 75% (Mais, spät) an, sodass für das Gesamtsystem ein Ertragszuwachs von 32% im Mittel erzielt wurde. Hierbei reagierten die geprüften Zweikulturen auf die Bewässerung zumeist etwas stärker als in Hauptkulturstellung. Die Ertragswirksamkeit der Bewässerung steigt dabei auch mit zunehmender späterer Aussaat der Zweitkultur. So liegen die Gesamterträge bei früher und

später Ernte der Erstfrucht bei Bewässerung auf gleichem Niveau. Da Roggen zum frühen Termin TS-Gehalte von ca. 20 und bei späterer Ernte von ca. 30% (silierbar) aufwies, ist der späte Termin bei Ernte und Aussaat bei ausreichender Wasserversorgung zu bevorzugen.

Im bewässerten Zweikultursystem konnte im Vergleich zum bewässerten Hauptfruchtanbau im Mittel ein Mehrertrag von 52 dt/ha erzielt werden. Den höchsten Gesamtertrag mit Bewässerung ließ sich mit 255 dt/ha durch das Zweikultursystem Roggen/Mais, dicht gefolgt von Roggen/Futterhirse, erzielen. Bei später Aussaat war die Futterhirse praktisch ertragsgleich mit dem Mais. Der bewässerte Zweikulturanbau Roggen/Mais hatte einen Mehrertrag zum bewässerten Mais als Hauptkultur (198 dt/ha) von 57 dt/ha.

3.5.3 Ökonomik der Beregnung

Da die Bewässerung sowohl bei vorhandener Anlage als auch bei Neubeschaffung einen hohen Kapitaleinsatz und eine lange Kapitalbindung bedeutet, ist eine betriebswirtschaftliche Bewertung der Bewässerungswürdigkeit unerlässlich. Als Maßzahl wurde der zusätzliche Wasserverbrauch in mm je dt zusätzlicher Trockenmasse verwendet.

Die Summe der fixen und variablen Kosten je mm Beregnung liegt dabei in einem praxisüblichen System (30 ha Be-



Abb. 3.9: Bewässerungswürdigkeit Biogaspflanzen bei Zweikulturnutzung (EVA): Biomasseerträge (dt TM/ha, Ø 2008-2009, Rheinstetten-Forchheim) bei Zwei- und Hauptkulturnutzung in Abh. von der Bewässerung

wässerungsfläche bei 160 mm/a Zusatzbewässerung mit elektrischer Pumpe bei Stromkosten von 15 ct/kWh) mit Bewässerungskanone bei 2,65 €/mm, mit Rohrberegnung bei 4,02 €/mm (KTBL, 2009b).

Unter der Annahme, dass das Substrat 7 €/dt TM wert ist (bei 30% TS entspricht dies 2,10 €/dt FM) ergibt sich, dass mindestens 0,38 bzw. 0,57 dt TM/mm bei Bewässerung für die Beregnungskanone bzw. Rohrberegnung zusätzlich geerntet werden müssen, damit die Beregnung wirtschaftlich ist.

Bei diesem niedrigen Substratpreis können durch eine Zusatzbewässerung mit einer Rohrbewässerung im Mittel der Jahre keine rentablen Mehrerträge bei Hauptkulturanbau erzielt werden (durchgezogene grüne Linie; Abb. 3.10). Im Gegensatz dazu kann im Mittel der Jahre mit einer Regenka-

none bei Topinambur und Silomais ein rentabler Mehrertrag erzielt werden, jedoch bis auf frühen Silomais (S250) nicht in allen Jahren (gestrichelte grüne Linie). Bei steigenden Stromkosten für die Beregnungspumpe auf 30 ct/kWh kann nur in Ausnahmejahren ein rentabler Mehrertrag bei beiden Beregnungsverfahren erzielt werden (rote Linien).

Eine Erhöhung des angesetzten Substratpreises auf derzeit realistische 11 €/dt TM führt zu einem dazu, dass im Mittel der Jahre bis auf Sonnenblumen und Sudangras alle Kulturen bei Beregnung mit der Bewässerungskanone sowohl bei 15 ct/kWh (gestrichelte orange Linie) wie auch 30 ct/kWh (gestrichelte blaue Linie) rentabel ist. Eine Rohrbewässerung ist bei höheren Substratpreisen bei beiden berechneten Energiekosten nur bei den Silomaisorten und bei niedrigen Energiekosten bei Topinambur rentabel.

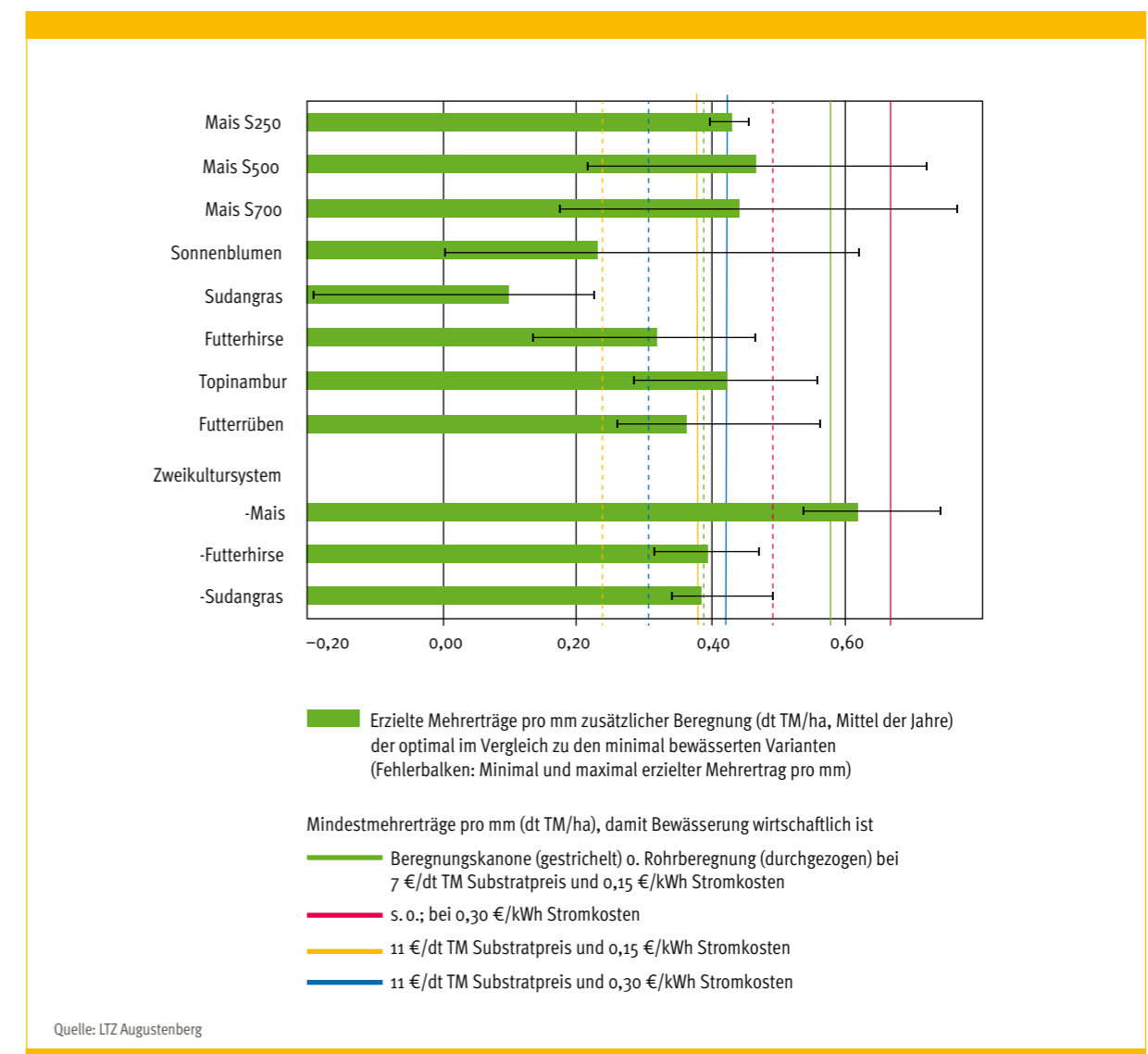


Abb. 3.10: Wirtschaftlichkeit der Beregnungsversuche Artenvergleich und Zweikulturnutzung in Rheinstetten-Forchheim

Die Bewässerung von Zweitkulturen in Zweikulturnutzungs-systemen weist eine höhere Rentabilität auf. So kann mittels Regenkanone der Silomais auch bei der angenommenen un-profitabelsten Kostenstruktur d.h. niedrigen Substratpreisen und hohen Energiekosten noch rentabel bewässert werden (gestrichelte rote Linie). Auch bei den beiden Hirsearten Fut-terhirse und Sudangras ist eine höhere Rentabilität der Zu-satzbewässerung durch den höheren Trockenmassenertrag pro mm Beregnungswasser gegeben. Jedoch ist zu prüfen, inwieweit die durch Bewässerung erzielten Mehrerträge auch zu höheren Deckungsbeiträgen des Zweikultursystems im Vergleich zur Hauptkultur führen.

3.5.4 Schlussfolgerungen

Mit der Bewässerung steht dem Landwirt ein Instrument zu Verfügung, mit dem sich bei Bioenergiepflanzen beachtliche Ertragssteigerungen von im Mittel ca. 30% erzielen lassen. In zwei mehrjährigen EVA-Versuchen in Rheinstetten-Forchheim erzielten die späten Maissorten und Futterrüben sowohl in der minimal als auch in der optimal mit Wasser versorgten Variante die höchsten Biomasseerträge.

In einzelnen Jahren und in beiden Beregnungsvarianten konnten Futterhirse und Sudangras ähnlich hohe Biomasseerträge wie Mais oder Futterrüben realisieren, sodass hier durchaus Alternativen bzw. Ergänzungen zum Maisanbau zur Verfügung stehen. Futterhirse konnte besonders unter trockenen Bedingungen und bei später Aussaat als Zweitkultur überzeugen. Die getesteten Sonnenblumen ent-täuschten.



Exaktbewässerung von Energiepflanzen im Rahmen des EVA-Projekts

Die Zweikulturnutzung ist nur bei ausreichender Boden-feuchte zur Aussaat und während der Jugendentwicklung der Zweitfrucht sinnvoll. Daher ist in der trockenen und heißen Oberreihebene die Zweikulturnutzung nur in Ver-bindung mit einer Beregnung zu empfehlen.

Die Wirtschaftlichkeit der Bewässerung von Bioenergie-pflanzen ist insbesondere von den Energiekosten für die Be-regnungsanlage, von der Beregnungstechnik (Kanone oder Rohrberegnung) und von den Substratpreisen abhängig. Bei den hohen Substratpreisen (11 €/dt TM), wie sie der-zeit realistisch sind, war die Beregnung bei allen Kulturen (Ausnahme Sonnenblumen und Futterhirse in Hauptfrucht-stellung) sowohl bei Ein- als auch Zweikulturnutzung wirt-schaftlich. Bei niedrigen Substratpreisen (7 €/dt TM) und hohen Energiepreisen (30 ct/kWh) ist die Bewässerung von Bioenergiepflanzen mit Ausnahme der Zweikulturnutzung mit Mais unwirtschaftlich.

Autor: Butz, A.; Mastel, K. (LTZ)

4 SILIERUNG UND GAS AUSBEUTEN

Für die Biogasproduktion geeignete Fruchtarten zeichnen sich sowohl durch eine gute Silierbarkeit als auch durch mög-lichst 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 Trockensubstanz- und Zuckergehalt im Pflanzenmaterial bei gleichzeitig geringer Pufferkapazität (Widerstand gegen die Säuerung) vor.

Mais, Getreide und Grasmischungen werden zu den mittel-schwer bis leicht silierbaren Pflanzen gezählt. Pflanzen, die dagegen zum Zeitpunkt der Einsilierung einen sehr gerin-gen Trockensubstanzgehalt haben, sind als schwer silier-bar einzuordnen. Dazu zählt Sorghum, wobei zuckerreiche Sorghumarten eine bessere Vergärbarkeit aufwiesen als Varianten mit geringen Zuckergehalten. Weiterhin wurden nicht oder nur wenig angewellter Grünschnittroggen, Luzer-ne-Gras-Mischungen sowie Sonnenblumen aufgrund hoher Pufferkapazitäten und geringer Trockensubstanzgehalte zur Ernte als schwer silierbar bewertet. Zur Verbesserung des Gärverlaufes können Siliermittel verwendet werden (Silier-mittel der Wirkrichtung 1).

Zusammenfassend können zur Silierung folgende Empfeh-lungen gegeben werden:

- Vermeidung des Eintrags von Verschmutzungen
- zügige Einlagerung des ausreichend kurz gehäckselten Gutes

- ausreichend hohe Verdichtung des Materials:
- Gras: 20% TS: 160 kg TM/m³; 40% TS: 225 kg TM/m³
- Mais: 28% TS: 225 kg TM/m³; 33% TS: 265 kg TM/m³
- 2–3 Traktorminuten/t zum Festfahren
- wirkungsvolle Verhinderung des Luftzutritts durch sorg-fältiges Abdecken
- Zusätze sind auch bei Silagen für die Biogasproduktion zur Sicherung bzw. Verbesserung der Silagequalität ein-zusetzen.
- 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)

Methanausbeuten

Die chemische Zusammensetzung eines Pflanzenmaterials zur Ernte beeinflusst wesentlich das Methanbildungspoten-zial 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, Acker-

TABELLE 4.1: SILIEREIGNUNG VERSCHIEDENER FRUCHTARTEN

Aus den Fruchtfolgen des Verbundprojektes „EVA“ (Mittelwerte der Proben aus den Fruchtfolgeversuchen).

Pflanzenart	BBCH	TS (%) (gerundet)	Silierbarkeit		
			mittel–leicht TS > 35 %	mittel–schwer TS < 35 %	schwer
Wintertriticale	71–83	40	X		
Hafer	77–83	41	X		
Sommergerste	83–85	39	X		
Sommerroggen	83–85	43	X		
Grasmischung		29		X	
Mais	83–87	28		X	
Topinamburkraut	39–61	30		X	
Sorghum	77–85	25			X
Grünroggen	51–59	25			X
Luzerne/Gras	41–60	20			X
Sonnenblume	83	19			X

grasmischungen 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 4.1 gezeigten, in Batch-Versuchen ermittelten Methanausbeuten sind nicht unmittelbar auf Praxisanlagen übertragbar, verdeutlichen jedoch substratspezifische Relationen.

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 Trockensubstanzgehalten zwischen 28 und 35 %, bei Gras und Getreide-GPS zwischen 30 und 40 % erfolgen. Bei geringeren Trockensubstanzgehalten ist das Erntegut, wenn möglich, anzuwelken. 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, gegebenenfalls der Einsatz von Corn-Crackern, bei Gras Längen von < 40 mm.

Autor: Herrmann, C.; Heiermann, M.; Idler, C. (ATB Potsdam)

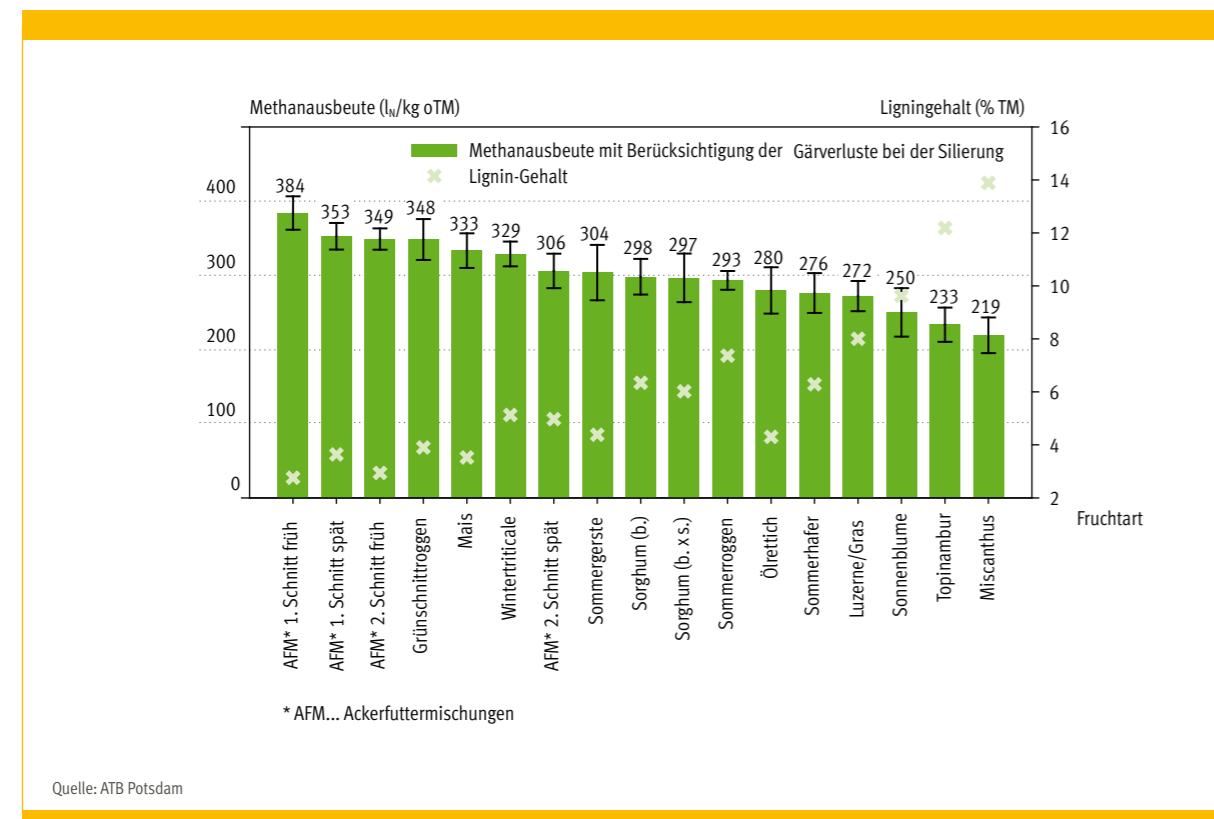


Abb. 4.1: Methanausbeuten und Ligningehalte verschiedener Fruchtarten aus den Fruchtfolgen des Verbundprojektes (Mittelwert und Standardabweichung)

5 ÖKONOMIE DES ENERGIEPFLANZENANBAUS

Neben den Trockenmasseerträgen hängt der wirtschaftliche Erfolg der Energiepflanzenproduktion für die Biogasproduktion 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 Arbeitserledigungskosten 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 m³ Methan multipliziert. Dieser wurde aus der Methanausbeute von Silomais und einem Preis in Höhe von 33 €/t FM (bei einem TS-Gehalt von 35 %) für Silomais abgeleitet und beträgt 0,31 €/m³ CH₄.

Die variablen Kosten umfassen sämtliche Werkstoff- und Arbeitserledigungskosten. Werkstoffkosten sind beispielsweise 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. 3.2). Die Arbeiterledigungskosten umfassen sämtliche Maschinenkosten (Reparaturen, Abschreibungen und Kapitalkosten) 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 werden 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 Feldstücksgröße 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 -> Kalkulationsdaten), wobei eine mittlere Feldstücksgröße 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 wichtigsten Faktor- und Produktpreise, die den weiteren Auswertungen zu Grunde liegen, sind in Tabelle 5.1 dargestellt.

TABELLE 5.1: 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 ³	0,31
N	€/t	1.299
P ₂ O ₅	€/t	1.359
K ₂ O	€/t	574

Deckungsbeiträge der Energiepflanzenenerzeugung

Regionaltypische Erträge (Y) unterschiedlicher Anbausysteme von Energiepflanzen wurden für die Region der südwestdeutschen Lössböden anhand einer Expertenbefragung bestimmt und validiert. Die Werte, die jeweils für ungünstige (Y_{min}), normale (Y_{norm}) und günstige Jahresbedingungen (Y_{max}) 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 Trockenmasseerträge (vgl. Tab. 5.2).

Die höchsten Erträge der in Hauptfruchtstellung angebauten Anbausysteme werden in sämtlichen Witterungsszenarien mit dem Anbau von Silomais erzielt. Die zweithöchsten TM-Erträge werden unter ungünstigen Witterungsbedingungen mit dem Anbau von Sudangras erzielt. Bei mittleren und günstigen Witterungsbedingungen erzielt der Anbau von Zuckerhirse die zweithöchsten TM-Erträge. Bei den Methanhektarerträgen zeigt der Mais die deutlich höchsten Werte. Bei ungünstigen Witterungsbedingungen erzielt das Sudangras die zweithöchsten Werte. Bei mittleren und günstigen Witterungsbedingungen erzielt wiederum die Zuckerhirse die zweithöchsten Methanerträge. Bei den Arbeiterledigungskosten ist der Silomais in Abhängigkeit von der Witterung der Zuckerhirse in allen Fällen überlegen. In der Gesamtschau der Produktionskosten weist die Zuckerhirse

unter ungünstigen und mittleren Witterungsbedingungen jedoch geringere Kosten, bedingt durch niedrigere Kosten für PSM und vor allem für Saatgut auf. Die sich ergebenden Produktionskosten in Abhängigkeit zur Witterung sind für Silomais mit 0,27–0,19 €/m³ CH₄ dennoch geringer als bei Zuckerhirse mit 0,37–0,26 €/m³ CH₄. Die im Gegensatz zum Silomais niedrigeren Produktionskosten bei der Wintertriticale spiegeln sich in den Deckungsbeiträgen wieder. Obwohl der Anbau von Wintertriticale unter sämtlichen Witterungsbedingungen bei den TM-Erträgen und den Methanerträgen nur den vierten Rang belegt, werden aufgrund der niedrigen Produktionskosten, nach Silomais, die zweithöchsten Deckungsbeiträge erzielt. Die Zuckerhirse belegt nur Rang vier im Vergleich der Deckungsbeiträge.

Die Zwei-Kultur-Nutzungen von Mais 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. 5.3). Mais nach Winterroggen stellt die vorzüglichste Zwei-Kultur-Nutzungsoption dar, ist jedoch nicht in der Lage Mais oder Wintertriticale 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

TABELLE 5.2: ZUSAMMENFASSENDE VERGLEICH DER KOSTEN UND LEISTUNGEN

Vergleich des Anbaus von Biogassubstraten in Hauptfruchtstellung für die Region der südwestdeutschen Lössböden.

Fruchtart	Jahresbedingungen	Mais			Sudangras			Zuckerhirse			W.-Roggen				W.-Triticale			Luzernegras			Weidegras allgemein		
		Y _{min}	Y _{norm}	Y _{max}	Y _{min}	Y _{norm}	Y _{max}	Y _{min}	Y _{norm}	Y _{max}	Y _{min}	Y _{norm}	Y _{max}		Y _{min}	Y _{norm}	Y _{max}	Y _{min}	Y _{norm}	Y _{max}	Y _{min}	Y _{norm}	Y _{max}
Erträge	dt TM/ha	143,3	183,3	243,3	102,8	147,1	188,4	100,4	168,3	221,7	88,8	110,8	135,8		95,7	121,7	148,8	77,4	114,6	122,6	77,1	111,6	150,9
	m ³ CH ₄	4.050	5.180	6.876	2.423	3.465	4.439	2.366	3.965	5.222	2.283	2.849	3.492		2.785	3.541	4.331	1.823	2.699	2.889	2.115	3.063	4.141
Leistung	€/ha	1.256	1.606	2.132	751	1.074	1.376	734	1.229	1.619	708	883	1.082		863	1.098	1.343	711	1.053	1.127	656	950	1.284
Produktionskosten																							
Saatgut	€/ha	160	160	160	58	58	58	83	83	83	53	53	53		56	56	56	0	0	0	0	0	0
Etablierungskosten	€/ha	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		0	0	0	129	129	129	259	259	259
PSM	€/ha	178	178	178	31	31	31	31	31	31	43	43	43		43	43	43	0	0	0	0	0	0
Düngung	€/ha	118	150	200	94	135	173	96	162	213	56	70	86		84	107	131	30	44	47	97	141	191
Arbeiterledigung	€/ha	619	688	792	613	718	816	667	867	1.025	515	561	614		521	575	631	670	763	784	548	633	731
dav. Ernte	€/ha	139	178	237	130	185	237	155	260	343	101	126	154		109	138	169	128	190	203	128	185	250
dav. Gärrestausbr.	€/ha	109	140	186	114	163	209	141	237	312	86	107	131		89	114	139	66	97	104	63	91	124
Produktionskosten gesamt	€/ha	1.074	1.177	1.330	797	942	1.078	877	1.142	1.351	667	727	769		705	781	861	829	936	959	905	1.034	1.180
	€/m ³ CH ₄	0,27	0,23	0,19	0,33	0,27	0,24	0,37	0,29	0,26	0,29	0,26	0,23		0,25	0,22	0,20	0,45	0,35	0,33	0,43	0,34	0,29
Deckungsbeiträge		181	429	802	-46	132	298	-143	87	268	41	156	287		159	316	481	-118	117	167	-249	-84	103

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. Beispielsweise 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 Wintertriticale-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 südwestdeutschen Lössböden stellt die Begrenzung des Maisanteils aufgrund der höheren Wirtschaftlichkeit von Wintertriticale Ganzpflanzensilage

keine wesentliche Einschränkung dar. Besonders gilt dies bei ungünstigen und normalen Witterungsbedingungen. Unter günstigen Witterungsbedingungen zeigt sich jedoch auch bei der Triticale im Vergleich zu Mais eine hohe Deckungsbeitragseinbuße. Trotzdem ist zu erwarten, dass bei Neuanlagen vermehrt Triticale-GPS als Ergänzung zum Mais eingesetzt wird.

Zum Pachtpreinsniveau in der Region

Die Pachtpreise in der Region erreichen für Ackerland teilweise deutlich über 500 €/ha. Durch den Anbau von Energiepflanzen ist ein weiterer Anstieg des Pachtpreinsniveaus zu erwarten. Bei steigendem Pachtpreinsniveau 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 Vergleichs-

kriterium 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 beispielsweise der Fall sein könnte, wenn die Substrate auf weiter von der Biogasanlage entfernten Flächen angebaut werden müssen.

Da die zu erwartenden Deckungsbeiträge sämtlicher Anbausysteme unter normalen Witterungsbedingungen niedriger sind als die oben gezeigten Flächenkosten 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.

Autor: Kornatz, P. (Universität Gießen)

TABELLE 5.3: ZUSAMMENFASSENDE VERGLEICH DER KOSTEN UND LEISTUNGEN

Vergleich des Anbaus von Zwei-Kultur-Nutzungen für die Region der südwestdeutschen Lössböden.

Zwei-Kultur-Nutzung		Winterroggen-Mais						Winterroggen-Sudangras				Winterroggen-Zuckerhirse										
		Winterroggen (WZF)			Mais (Zweitfrucht)			Winterroggen (WZF)			Sudangras			Winterroggen (WZF)			Zuckerhirse					
Jahresbedingungen		Y _{min}	Y _{norm}	Y _{max}	Y _{min}	Y _{norm}	Y _{max}	Y _{min}	Y _{norm}	Y _{max}	Y _{min}	Y _{norm}	Y _{max}	Y _{min}	Y _{norm}	Y _{max}	Y _{min}	Y _{norm}	Y _{max}			
Erträge	dt TM/ha	35,9	52,6	70,7	97,6	143,5	185,7	43,9	61,0	80,9				71,5	121,9	166,9	44,0	62,0	83	71,5	121,9	166,9
	m ³ CH ₄	1.028	1.506	2.024	2.758	4.054	5.246	1.257	1.746	2.316				1.704	2.905	3.977	1.260	1.776	2.377	1.704	2.905	3.977
Leistung	€/ha	319	467	627	855	1.257	1.626	390	541	718				528	900	1.233	391	551	737	528	900	1.233
Produktionskosten																						
Saatgut	€/ha	53	53	53	160	160	160	53	53	53				58	58	58	53	53	53	83	83	83
Etablierungskosten	€/ha	0	0	0	0	0	0	0	0	0				0	0	0	0	0	0	0	0	0
PSM	€/ha	43	43	43	178	178	178	43	43	43				31	31	31	43	43	43	31	31	31
Düngung	€/ha	45	66	89	82	121	157	55	76	101				65	110	151	55	78	104	69	117	160
Arbeitsleistung	€/ha	420	462	508	455	535	608	440	483	534				455	574	681	440	486	539	497	646	779
dav. Ernte	€/ha	49	72	96	95	139	180	60	83	110				90	154	210	60	84	113	111	189	258
dav. Gärrestausbr.	€/ha	42	62	83	75	110	142	52	72	95				79	135	185	52	73	98	101	171	235
Produktionskosten gesamt	€/ha	561	624	693	876	994	1.103	591	656	731				609	773	920	592	660	739	679	876	1.052
	€/m ³ CH ₄	0,55	0,41	0,34	0,32	0,25	0,21	0,47	0,38	0,32				0,36	0,27	0,23	0,47	0,37	0,31	0,40	0,30	0,26
Deckungsbeiträge		-242	-157	-65	-21	263	524	-201	-115	-13				-80	127	313	-201	-109	-2	-151	24	180

6 ANHANG

Beratungsangebote und Adressen

Landwirtschaftsverwaltung Baden-Württemberg

Untere Landwirtschaftsbehörden (ULB) an den Landratsämtern:

In Baden-Württemberg sind die ULB Träger der Officialberatung für die landwirtschaftlichen Betriebe. Bei speziellen Fragen vermitteln sie Kontakte zu kompetenten Personen bzw. Einrichtungen
(www.landwirtschaft-bw.info)

Landwirtschaftliches Technologiezentrum Augustenberg (LTZ)

– Außenstelle Rheinstetten-Forchheim –
Kutschenweg 20
76287 Rheinstetten
Tel.: 0721/9518-30 Fax: -203
poststelle-fo@ltz.bwl.de
www.ltz-augustenberg.de

Weiterführende Internetadressen

www.uni-hohenheim.de/einrichtung/institut-fuer-kulturpflanzenwissenschaften-1

Fachgebiet Nachwachsende Rohstoffe und Bioenergiepflanzen im Institut für Kulturpflanzenwissenschaft der Universität Hohenheim

www.la-bioenergie.de

Landesanstalt für Agrartechnik und Bioenergie der Universität Hohenheim

www.bioenergie-portal.info/Baden-Wuerttemberg

Bioenergieberatung Baden-Württemberg, Informationen zur Bioenergie auch aus dem Bundesgebiet, Terminkalender zu aktuellen Veranstaltungen

www.ltz-augustenberg.de

→ Pflanzenbau/Umweltschutz

→ Nachwachsende Rohstoffe:

Internetplattform des LTZ Augustenberg zu Anbaufragen zur Erzeugung von Nachwachsenden Rohstoffen mit Berichten, Merkblättern, Kurzinformationen und Veranstaltungshinweisen.

www.eva-verbund.de

Informationen des EVA-Verbundes zu allen Projekten, neben Ergebnissen aus Baden-Württemberg werden auch Inhalte für andere Regionen Deutschlands bereitgestellt.

Landwirtschaftliches Zentrum für Rinderhaltung, Grünlandwirtschaft, Milchwirtschaft, Wild und Fischerei Baden-Württemberg (LAZBW)

Grünlandwirtschaft und Futterbau
Lehmgrubenweg 5
88326 Aulendorf
Tel.: 07525/942-350 Fax: -370
poststelle-gl@lazbw.bwl.de
www.lazbw.de

Staatliche Biogasfachberater

Herr Jörg Messner
LAZBW
Tel.: 07525/942-357

Herr Dr. Manfred Dederer

LSZ Boxberg, c/o Landratsamt Ludwigsburg-Landwirtschaft
Auf dem Wasen 9
71640 Ludwigsburg
Tel.: 07141/144-4949
manfred.dederer@lsz.bwl.de

www.fnr.de

Die Fachagentur für Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR) unterstützt als Projektträger des Bundesministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (BMELV) Forschung, Entwicklung, Demonstration, Markteinführung und Fachinformation/Öffentlichkeitsarbeit zu nachwachsenden Rohstoffen. Aktuelles Fachwissen zum Thema wird gesammelt und steht über Veröffentlichungen interessierten Wissenschaftlern, Privatpersonen, Politikern, Wirtschafts- und Medienvertretern zur Verfügung. Auch über Messen und Ausstellungen versucht die FNR, auf das Potenzial nachwachsender Rohstoffe aufmerksam zu machen.

www.energiepflanzen.info

Informationen der FNR zu Energiepflanzen

www.biogas.org

Fachverband Biogas e.V.

www.ktbl.de

Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V.

Weiterführende Literatur

Biertümpfel, A. (2012): Anbautelegramm Durchwachsene Silphie (*Silphium perfoliatum* L.). TLL (Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft), Jena

Biertümpfel, A.; Conrad, M. (2012): Durchwachsene Silphie. In: FNR (Hrsg.): Energiepflanzen für Biogasanlagen – Thüringen. 76 S.

DWA (Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V.) (2010): Erzeugung von Biomasse für die Biogasgewinnung unter Berücksichtigung des Boden- und Gewässerschutzes. DWA-Regelwerk, Merkblatt DWA-M 907, Druckhaus Köthen, 50 S.

Glauert, T.; Hoffmann, A. (2012): Zuckerrüben ergänzen den Substratmix. Biogas Journal Sonderheft: 50–53

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.htm

KTBL: Wirtschaftlichkeitsrechner Biogas; <http://daten.ktbl.de/biogas/startseite.do>

KTBL (2009a): Faustzahlen Biogas. Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft, Darmstadt, 2. Aufl., 236 S.

KTBL (2009b): KTBL-Datensammlung „Feldbewässerung – Betriebs- und arbeitswirtschaftliche Kalkulationen“. Darmstadt, 100 S.

Landtag (2011): Antrag der Abg. Ulrich Müller u.a. CDU und Stellungnahme des Ministeriums für Ländlichen Raum und Verbraucherschutz: Grundwasserqualität und Ausbringung von „Wirtschaftsdüngern“ pflanzlicher Herkunft; 31.08.2011; Landtag von Baden-Württemberg; Drucksache 15 / 461; 6 S.

LfULG (Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie) (2012): Sorghumhirsen. Ein Beitrag zur Diversifizierung des Energiepflanzenpektrums. FNR (Hrsg.), 28 S.

LTZ Augustenberg (Hrsg.) (2008): Inhaltsstoffe von Gärprodukten und Möglichkeiten zu ihrer geordneten pflanzenbaulichen Verwertung. Projektbericht. 164 S.

Mokry, M. (2011): Gärreste nachhaltig in der Pflanzenproduktion nutzen. Landinfo 1: 9–12

Mokry, M.; Schneider-Götz, N.; Rothfuß, B. (2012): Informationen für die Pflanzenproduktion. Ergebnisse produktionstechnischer Versuche zur Düngung 2006 bis 2010 in Baden-Württemberg. LTZ Augustenberg (Hrsg.), Heft 15/2011, 127 S.

Möller, K.; Schulz, R.; Müller, T. (2009): Mit Gärresten richtig düngen – Aktuelle Informationen für Berater. Zusammenarbeit mit E.ON Bioerdgas GmbH u. E.ON Ruhrgas AG. https://plantnutrition.uni-hohenheim.de/fileadmin/einrichtungen/plantnutrition/Duengung_mit_Bodenchemie/Leitfaden-Berater09092009.pdf

Peters, J.; Gurgel, A.; Heilmann, H. (2012): Zuckerrübe. In: FNR (Hrsg.): Energiepflanzen für Biogasanlagen – Mecklenburg-Vorpommern. 60 S.

Pfleiderer, H. (2012): Gut versorgt – Gülle- und Gärreste nach der Ernte und im Herbst nur bei Bedarf. BWagrar 28: 14

Schattauer, A.; Weiland, P. (2006): Grundlagen der anaeroben Fermentation. In: FNR (Hrsg.): Handreichung Biogasgewinnung und -nutzung. 3. überarb. Aufl., Gülzow, S. 25–35

SchALVO (Schutzgebiets- und Ausgleichs-Verordnung) (2001): Verordnung des Umweltministeriums über Schutzbestimmungen und die Gewährung von Ausgleichsleistungen in Wasser- und Quellenschutzgebieten (vom 20.02.2001, letzte berücksichtigte Änderung: Anlage 7 neu gefasst durch Verordnung vom 05.05.2010, GBl. S. 433)

Stickel, E. (2010): Wintergetreide zur Erzeugung von Ganzpflanzensilage als Biogassubstrat; www.biogas-forum-bayern.de/publikationen/Wintergetreide_zur_Erzeugung_2.Auflage.pdf

Stickel, E.; Salzeder, G.; Eder, J.; Aigner, A. (2009): Grünroggen als Biogassubstrat; www.biogas-forum-bayern.de/Presse/Grünroggen_als_Biogassubstrat.pdf

Südzucker (2012): www.bisz.suedzucker.de

TFZ (Technologie- und Förderzentrum) (2012): Sorghum für die Verwendung in Biogasanlagen; www.tfz.bayern.de/rohstoffpflanzen/mb_p_ze_sorghum_biogas.pdf

TWRL (Trinkwasserrichtlinie) (1998): Richtlinie 98/83/EG des Rates vom 03.11.1998 über die Qualität von Wasser für den menschlichen Gebrauch. ABl. L330/32, 05.12.1998

TrinkwV (Trinkwasserverordnung) (2001): Verordnung über die Qualität von Wasser für den menschlichen Gebrauch (in der Fassung der Bekanntmachung vom 28.11.2011 (BGBl. I S. 2370), die durch Artikel 2 Absatz 19 des Gesetzes vom 22.12.2011 (BGBl. I S. 3044) geändert worden ist)

VDLUFA (2004): Standpunkt Humusbilanzierung. Methode zur Beurteilung und Bemessung der Humusversorgung von Ackerland 12 S., Bonn; www.vdlufa.de/joomla/Dokumente/Standpunkte/08-humusbilanzierung.pdf

Waldorf, N.; Grimm, S. (2003): Informationen für die Pflanzenproduktion. Pflanzenbauliche und wirtschaftliche Auswirkungen verschiedener Verfahren der Bodenbearbeitung – Systemvergleich Bodenbearbeitung. Landesanstalt für Pflanzenbau Forchheim (Hrsg.), Sonderheft 1, 153 S.

WRR (Wasserrahmenrichtlinie) (2000): Richtlinie 2000/60/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 23. Oktober 2000 zur Schaffung eines Ordnungsrahmens für Maßnahmen der Gemeinschaft im Bereich der Wasserpolitik. ABl. L327/1, 22.12.2000

Wurth, W. (2012): Gras und Klee gras für den Substratmix. Biogas Journal Sonderheft: 32–35

Wurth, W., Kusterer, B. (2010): Informationen für die Pflanzenproduktion. Ergebnisse der Landessortenversuche mit Silomais 2009. LAZBW Aulendorf, Heft 10/2009, 65 S.

Wurth, W., Kusterer, B. (2011): Informationen für die Pflanzenproduktion. Ergebnisse der Landessortenversuche mit Silomais 2010. LAZBW Aulendorf, Heft 10/2010, 69 S.

Wurth, W., Kusterer, B. (2012): Informationen für die Pflanzenproduktion. Ergebnisse der Landessortenversuche mit Silomais 2011. LAZBW Aulendorf, Heft 11/2011, 74 S.

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1.1	Entwicklung der Biogasanlagen in Baden-Württemberg, Stand: 31.12.2011	6
Abb. 1.2	Biogasanlagen in Baden-Württemberg, Stand 31.12.2011	7
Abb. 1.3	Entwicklung der Silomaisflächen, des Rinderbestandes und der Gesamtleistung Biogasanlagen in Baden-Württemberg seit 1979	7
Abb. 1.4	Boden-Klima-Räume und Versuchsfelder in Baden-Württemberg	9
Abb. 2.1	LSV Silomais 2010–2011: Trockenmasseertrag und Trockensubstanzgehalt	14
Abb. 2.2	Ertragsentwicklung bei LSV Silomais in Baden-Württemberg von 1985–2011	16
Abb. 2.3	Gesamtpflanzenenerträge von Wintertriticale, Winterweizen, Winterroggen und Wintergerste an sechs Standorten in Baden-Württemberg (Durchschnitt 2007–2011; Rheinstetten-Forchheim: Durchschnitt 2007 und 2008; Ettlingen Durchschnitt 2009–2011)	19
Abb. 2.4	Gesamtpflanzenenerträge (t TM/ha) und TS-Gehalte (%; σ) verschiedener Sudangras- und Zuckerhirsensorten an vier Standorten in Baden-Württemberg (Durchschnitt 2009–2011)	23
Abb. 2.5	Erträge von Silomais, Deutschem Weidelgras, Knautgras und Klee gras an den Standorten Aulendorf, Kupferzell-Fußbach und Orschweier (2005–2006)	28
Abb. 2.6	Erträge und TS-Gehalte der Durchwachsenen Silphie an den Standorten Rheinstetten-Forchheim, Aulendorf, Marbach und Kupferzell (Ergebnisse 2011)	36
Abb. 2.7	Gesamtpflanzenenerträge (t TM/ha; Mittelwerte und Standardabweichung) und TS-Gehalte (%) in Abhängigkeit des Erntetermins von Topinamburkraut (erstes Anbaujahr) und Mais an fünf Standorten in Baden-Württemberg (2011)	39
Abb. 2.8	Aufsummierte Biomasseerträge der beiden ertragsstärksten Mischungen der Standorte Oldenburg, Würzburg und Miltenberg	42
Abb. 2.9	Methanausbeute wichtiger ertragsbildender Arten der Praxismischung sowie von Silomais	42
Abb. 3.1	TM-Erträge (dt TM/ha) in 9 vierjährigen Fruchtfolgen – 1 bis 5 bundesweit einheitlich und 6 bis 9 regional am Standort Ettlingen (erste Rotation: 2005/06 bis 2008/09)	44
Abb. 3.2	Erträge (dt TM/ha) in 9 vierjährigen Fruchtfolgen – 1 bis 5 bundesweit einheitlich und 6 bis 9 regional am Standort Ettlingen (zweite Rotation: 2009–2011)	45
Abb. 3.3	Erträge (dt TM/ha) der Kulturen bzw. Fruchtfolgeglieder im Mittel der Fruchtfolgen FF1–FF9 am Standort Ettlingen (2005–2012)	46
Abb. 3.4	Großer Gärrestversuch; aufsummierte Mais- und Zuckerhirsenerträge 2009–2011 (N-Düngebedarf zu 100 % mineralisch, 3 Gärrestvarianten, in denen die Gärrestmengen den N-Bedarf zu 75, 100 und 125 % abdeckten)	53
Abb. 3.5	Kleiner Gärrestversuch; aufsummierte Erträge der Jahre 2009–2012 (Anlage 1) und 2009–2011 (Anlage 2) bei drei Düngevarianten: 100 % mineralische Düngung, 50 % mineralische und 50 % mit Gärresten, 100 % mit Gärresten	53
Abb. 3.6	Wasserschutzgebiete und gefährdete Grundwasserkörper in Baden-Württemberg	54
Abb. 3.7	Humusbilanz unter Berücksichtigung mittlerer, minimaler und maximaler Erträge der Pseudogley-Parabraunerden aus Löß im Raum Ettlingen, berechnet nach VDLUFA, 2004, „untere Werte“	58
Abb. 3.8	Artenvergleich Bewässerung (EVA): Biomasseerträge (dt TM/ha $\bar{\sigma}$ 2005–2009) in Abh. von der Bewässerung in Rheinstetten-Forchheim	60
Abb. 3.9	Bewässerungswürdigkeit Biogaspflanzen bei Zweikulturnutzung (EVA): Biomasseerträge (dt TM/ha, $\bar{\sigma}$ 2008–2009, Rheinstetten-Forchheim) bei Zwei- und Hauptkulturnutzung in Abh. von der Bewässerung	62
Abb. 3.10	Wirtschaftlichkeit der Beregnungsversuche Artenvergleich und Zweikulturnutzung in Rheinstetten-Forchheim	63
Abb. 4.1	Methanausbeuten und Ligningehalte verschiedener Fruchtarten aus den Fruchtfolgen des Verbundprojektes (Mittelwert und Standardabweichung)	66

TABELLENVERZEICHNIS

Tab. 1.1	Beschreibung der Boden-Klima-Räume in Baden-Württemberg	8
Tab. 1.2	Beschreibung der Standorte mit Feldversuchen für Biogaspflanzen in Baden-Württemberg	10
Tab. 2.1	Gesamtpflanzenerträge (t TM/ha)	12
Tab. 2.2	Erträge (dt TM/ha) bei Silomais; Ergebnisse LSV 2009–2011	13
Tab. 2.3	Nährstoffentzüge und -bedarf von Energiemais	15
Tab. 2.4	Nährstoffentzüge und -bedarf von Grünschnittgetreide und GPS-Getreide	18
Tab. 2.5	Richtwerte	22
Tab. 2.6	Nährstoffentzüge und -bedarf von Zuckerhirsen und Sudangras	24
Tab. 2.7	Gras- und Klee gras-Arten und ihre Ansprüche	26
Tab. 2.8	Regelansaatmischungen für den Ackerfutterbau Baden-Württemberg	27
Tab. 2.9	Nährstoffentzüge und -bedarf von Gras, Klee gras und Gemenge	27
Tab. 2.10	Stickstoffdüngbedarf bei Klee gras in Abhängigkeit des Leguminosenanteils	27
Tab. 2.11	Nährstoffentzüge und -bedarf von Sonnenblumen zur Ganzpflanzennutzung	30
Tab. 2.12	Nährstoffentzüge und -bedarf von Zuckerrüben	32
Tab. 2.13	Nährstoffentzüge und -bedarf der Durchwachsenen Silphie	35
Tab. 2.14	Feldversuche Durchwachsene Silphie in Baden-Württemberg; Ertragsergebnisse 2011	36
Tab. 2.15	Nährstoffentzüge und -bedarf von Topinambur	38
Tab. 3.1	Fruchtfolgen	43
Tab. 3.2	Mögliche Fruchtfolgen für sehr warme Standorte	48
Tab. 3.3	Mögliche Fruchtfolgen für kühle Standorte mit ausreichenden Niederschlägen	48
Tab. 3.4	Stoffgehalte von Rohgülle und NawaRo-Gärresten	49
Tab. 3.5	N-Effizienz aus organischen Flüssigdüngern abhängig von Kulturart u. Ausbringungszeitpunkt	51
Tab. 3.6	Beispielrechnung für Nährstoffbedarf, Düngbedarf und Ausgleichsdüngung	52
Tab. 4.1	Siliereignung verschiedener Fruchtarten	65
Tab. 5.1	Annahmen bei der Berechnung der Kosten und Leistungen	68
Tab. 5.2	Zusammenfassender Vergleich der Kosten und Leistungen	68
Tab. 5.3	Zusammenfassender Vergleich der Kosten und Leistungen	70

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
www.energiepflanzen.info

Gedruckt auf 100 % Recyclingpapier
mit Farben auf Pflanzenölbasis

Bestell-Nr. xxx
FNR 2012