

# Standortangepasste Anbausysteme für Energiepflanzen



# Farbschema

Buchweizen	
Ölrettich	
Senf	
Phacelia	
Hanf	
Topinambur	
Landsberger Gemenge	
Weidelgräser	
Klee- bzw. Luzernegras	
Sorghum (b. x s.)	
Sonnenblumen	
Mais	
Sorghum (b. x b.)	
Gerstgras	
Sommergerste	
Sommerroggen	
Raps	
Winterweizen	
Artenmischung Wintertriticale/-weizen/-gerste	
Wintertriticale	
Wintergerste	
Winterroggen	
Wickroggen	
Hafer	
Artenmischung Sommerroggen/-triticale	
Sommertriticale	
Hafersortenmischungen	
Hafer-Erbsen-Leindottermischung	
Erbsen	
Lupine	
Kartoffeln	
Strohertrag bei Kornnutzung	S
Kornertrag	K
Hauptfrucht	HF
Zweitfruchtstellung	ZF
Sommerzwischenfrucht	SZF
Winterzwischenfrucht	WZF
Knollenertrag bei Topinambur	KnT
Ganzpflanzensilage	GPS
Trockenmasse	TM
Fruchtfolge	FF
Erste Versuchsanlage (2005 – 2008)	A I
Zweite, um ein Jahr zeitversetzte Versuchsanlage (2006-2009)	A II

## Herausgeber

Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR)

Hofplatz 1 • 18276 Gülzow

Tel.: 03843/6930-0 • Fax: 03843/6930-102

info@fnr.de • www.fnr.de

## Redaktion

Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft (TLL) • Christoph Strauß

Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR) • Abt. Öffentlichkeitsarbeit

## Bilder

ATB (Ines Ficht), BLE (Thomas Stephan, Dominic Menzler), FNR, JKI (Siegfried Schittenhelm), nova-Institut, Pixelio, TLL (Arlett Nehring), TFZ (Kathrin Deiglmayr, Franz Heimler)

## Leitung des Verbundprojektes

Armin Vetter, Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft (TLL)

## Autoren (alphabetisch)

Barthelmes, G., LVLf (3.2.3; 4.4); Benke, M., LWK Nds. (3.3.3; 6.2.2); Deumlich, D., ZALF (6.1); Deiglmayr, K., TFZ (3.2.6; 3.4.2; 4.2); Ebel, G., LVLf (3.2.3; 4.4); Fritz, M., TFZ (3.2.6; 3.4.2; 4.2); Glemnitz, M., ZALF (6.2); Grunewald, J., LfULG (3.2.4); Gurgel, A. LFA (3.2.2); Heiermann, M., ATB (5); Herrmann, C., ATB (5); Heuser, F., Uni Kassel (3.4.1); Hufnagel, J., ZALF (4.1); Idler, C., ATB (5); Klostermann, I., LFA (3.4.2); Kruse, S., LTZ (3.2.7; 4.1); Mastel, K., LTZ (3.2.7; 4.1); Nehring, A., TLL (3.1; 3.2.5; 3.3; 4.3); Neumann, T., JKI (4.1); Peters, J., LFA (3.2.2), Röhrich, C., LfULG (3.2.4); Rieckmann, C., LWK Nds. (3.2.1; 3.3.3; 5.2.2); Reus, D., Uni Gießen (7.); Schittenhelm, S., JKI (4.1); Strauß, C., TLL (1; 2; 3.1; 8); Stülpnagel, R., Uni Kassel (3.4.1); Toews, T., Uni Gießen (7); von Buttler, C., Uni Kassel (3.4.1); Wachendorf, M., Uni Kassel (3.4.1); Widmann, B., TFZ (3.2.6); Wilken, F., LWK Nds. (3.2.1); Willms, M., ZALF (6.1)

## Gestaltung und Herstellung

nova-Institut GmbH • www.nova-institut.de

## Druck und Verarbeitung

Media Cologne Kommunikationsmedien GmbH • www.mediacolone.de

FNR-Bestellnummer: 335 • ISBN: 978-3-942147-02-6

## 3. veränderte und erweiterte Auflage

FNR • März 2010



# Standortangepasste Anbausysteme für Energiepflanzen

Ergebnisse des Verbundprojektes „Entwicklung und Vergleich von optimierten Anbausystemen für die landwirtschaftliche Produktion von Energiepflanzen unter den verschiedenen Standortbedingungen Deutschlands, EVA I“

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Zielstellung</b>	<b>4</b>
<b>2</b>	<b>Projektbeschreibung</b>	<b>7</b>
<b>3</b>	<b>Standortspezifische Erträge und Ertragsstruktur</b>	<b>12</b>
3.1	Witterungsbedingungen im Versuchszeitraum	12
3.2	Vergleich von Fruchtarten und Fruchtfolgen an den Versuchsstandorten	16
3.2.1	Werlte (Niedersachsen): Futterbau-Veredlungs-Region	16
3.2.2	Gülzow (Mecklenburg-Vorpommern): Weizen-Raps-Region	20
3.2.3	Güterfelde (Brandenburg): Roggen-Kartoffel-Region	22
3.2.4	Trossin (Sachsen): Roggen-Kartoffel-Region	24
3.2.5	Dornburg (Thüringen): E-Weizen-Region	26
3.2.6	Ascha (Bayern): Ackerfutter-Wintergersten-Region der Vor- und Mittelgebirge	28
3.2.7	Ettlingen (Baden-Württemberg): Körnermais-Sonnenblumen-Region	31
3.3	Standortübergreifende Betrachtung	34
3.3.1	Fruchtfolgeerträge und -wirkungen auf das Abschlussfruchtfolgeglied	34
3.3.2	Artenvergleich	38
3.3.3	Ackerfutter	43
3.4	Alternative Anbausysteme	44
3.4.1	Zweikultur-Nutzungssystem	44
3.4.2	Mischfruchtanbau	50
<b>4</b>	<b>Faktoroptimierung und Bewirtschaftungsstrategien</b>	<b>54</b>
4.1	Bewässerung	54
4.2	Pflanzenschutzmittel und Düngung	60
4.3	Minimalbodenbearbeitung	63
4.4	Erntezeitpunkte	65

<b>5</b>	<b>Substratqualität und Biogasausbeute</b>	<b>69</b>
5.1	Einfluss der Pflanzenart auf Siliereignung und Methanausbeute	69
5.2	Einfluss des Erntezeitpunktes auf die Methanausbeute	72
5.2.1	Erntezeitpunkte in den Fruchtfolgen	73
5.2.2	Ackerfutter-Schnittregime	74
5.3	Einfluss von Silierparametern auf die Methanausbeuten	75
<b>6</b>	<b>Ökologische Bewertung</b>	<b>79</b>
6.1	Auswirkungen auf Boden und Umwelt	79
6.1.1	Humusbilanz	79
6.1.2	Stickstoffhaushalt	85
6.1.3	Wassererosion	87
6.2	Biodiversität	91
6.2.1	Einfluss der Fruchtartenwahl und der Fruchtfolgegestaltung	91
6.2.2	Vielfältige Fruchtfolgen	92
6.2.3	Maisanteile	94
6.2.4	Mehrjähriges Ackerfutter	94
6.2.5	Effekte vorgezogener Erntetermine im Getreide (Ganzpflanzenernte)	96
<b>7</b>	<b>Ökonomische Bewertung</b>	<b>99</b>
7.1	Fruchtfolgeglieder in Hauptfruchtstellung	101
7.2	Zweit- und Zwischenfruchtanbau	104
7.3	Zweikultur-Nutzungssystem	106
<b>8</b>	<b>Zusammenfassung</b>	<b>109</b>
<b>9</b>	<b>Literatur</b>	<b>113</b>
<b>Anlage 1:</b>	<b>Regionalfruchtfolgen</b>	<b>114</b>
<b>Anlage 2:</b>	<b>Beteiligte Institutionen am EVA-Verbundprojekt</b>	<b>116</b>



# 1 Zielstellung

Nach Schätzungen der Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR) wurden in den vergangenen Jahren etwa 2 Millionen ha, d. h. gut 17 % der in Deutschland insgesamt zur Verfügung stehenden Ackerflächen, für die Produktion nachwachsender Rohstoffe genutzt (vgl. Abb. 1-1).

Der Schwerpunkt liegt mit ca. 1,75 Millionen Hektar auf Energiepflanzen, vor allem Raps, Mais und Getreidearten für die Treibstoff- und Biogasproduktion. Die unumstrittene Tatsache, dass die Leistungen der Landwirtschaft bei der Erzeugung pflanzlicher Energieträger in

den letzten Jahren auf nur wenigen Kulturarten basierten, führte – nicht unerwartet – zu Kritik, besonders seitens der Natur- und Umweltschutzorganisationen.

Mögliche Zielkonflikte zwischen Energiepflanzenproduktion und Naturschutz sowie potenzielle Akzeptanzprobleme wurden ab 2004 verstärkt in der Arbeit von des Bundesministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (BMELV) und der FNR berücksichtigt. Der Bundesverband BioEnergie (BBE) und die FNR veranstalteten am 10. Februar 2004 ein Perspektivforum

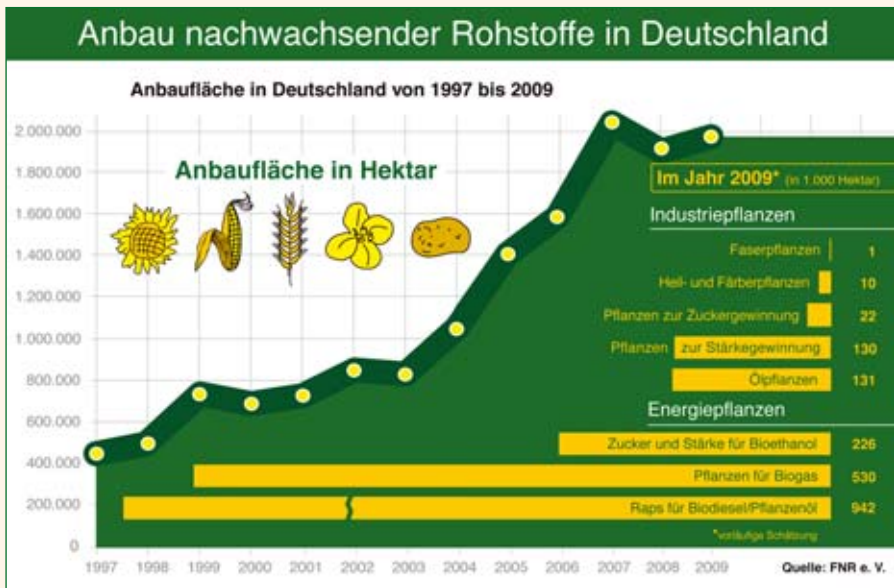


Abb. 1-1: Entwicklung der Produktion nachwachsender Rohstoffe 1997 – 2009.

„Ausbau der Bioenergie – im Einklang mit dem Natur- und Umweltschutz?! – Eine Standortbestimmung“, um mit Vertretern aus dem Natur- und Umweltschutzbereich die damals noch recht junge, sich jedoch bereits deutlich abzeichnende Entwicklung des Energiepflanzenanbaus zu diskutieren. Die hier begonnene Diskussion wurde in mehreren speziellen Folgeveranstaltungen mit Experten aus der Agrarforschung weiter vertieft.

Es wurden folgende wesentliche Anforderungen an die Energiepflanzenproduktion der Zukunft formuliert und in neuen Forschungsschwerpunkten umgesetzt:

- ein hoher Nettoenergieertrag je Flächeneinheit ist anzustreben,
- innovative ackerbauliche Konzepte (z. B. der Mischfruchtanbau) sind weiterzuentwickeln,
- alternative Kulturarten (Biodiversität) sind in optimierten Fruchtfolgen mit Nahrungs- und Futtermittelarten zu kombinieren,
- Ertragspotenzial und Ertragssicherheit von Energiepflanzen sind zu verbessern,
- Anbausysteme sind in Bezug auf Ökonomie und Ökologie ganzheitlich zu bewerten.

Auf dieser Grundlage wurden über das von der FNR im Auftrag des BMELV durchgeführte Förderprogramm Nach-



wachsende Rohstoffe innerhalb von fünf Jahren mehr als 100 neue Energiepflanzenprojekte mit einem Fördervolumen von rund 36 Millionen Euro begonnen.

Auf diese Weise konnten wissenschaftlich fundierte Beiträge zu dem dynamischen Ausbauprozess der Bioenergie und den dabei geführten Diskussionen erarbeitet werden. „Bioenergie“ war häufig stellvertretender Betrachtungspunkt für übergreifende Entwicklungen und Herausforderungen an moderne und nachhaltige Produktionssysteme. Zu nennen sind beispielsweise die in den vergangenen Jahren extremen Preisschwankungen landwirtschaftlicher Güter und die daraus resultierende Diskussion „Teller statt Tank“, Anforderungen des Klimawandels und Klimaschutzaspekte sowie der allgemeine Trend zur Verengung von Fruchtfolgen oder das Auftre-

ten „neuer“ Schädlinge, wie z. B. des Maiswurzelbohrers.

Das von der Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft (TLL) koordinierte und vom BMELV über die FNR geförderte Verbundvorhaben „Entwicklung und Vergleich von optimierten Anbausystemen für die landwirtschaftliche Produktion von Energiepflanzen unter den verschiedenen Standortbedingungen Deutschlands“, kurz EVA, konnte als eines der umfangreichsten nationalen Agrarforschungsprojekte der vergange-

nen Jahre an eine ganze Reihe von Diskussionsfeldern anknüpfen und praxisrelevantes Wissen zu effizienten und nachhaltigen Anbausystemen von Energiepflanzen bereitstellen.

Mit der vorliegenden Broschüre werden die Ergebnisse der ersten Projektphase von EVA (2005 – 2008) veröffentlicht. Ergänzende Berichte und weiterführende Informationen sind über die Seite des Verbundprojektes [www.tll.de/vbp](http://www.tll.de/vbp) oder über die in Anlage 2 aufgeführten Institutionen verfügbar.





## 2 Projektbeschreibung

Ausgangspunkt des EVA – Projektes war Anfang 2005 die Erkenntnis, dass unter den Bedingungen Mitteleuropas prinzipiell eine Vielzahl von Fruchtarten zur Verfügung steht, die für eine energetische Nutzung geeignet ist. Über Fragen zur ökonomischen Leistung einzelner Kulturarten hinausgehend, existierten Unsicherheiten hinsichtlich der Einbindung alternativer Energiepflanzen in Anbau- und Fruchtfolgesysteme sowie deren Gesamtproduktivität. Die wichtigste Zielsetzung des EVA-Projekts ist es folglich, durch vielfältige Anbausysteme zu einer Diversifizierung landwirtschaftlicher Produktionsmuster und zur Aufweitung von Fruchtfolgen beizutragen.

Anbausysteme, die mit einer weiten Ausnutzung der Vegetationszeit und hohen Bodenbedeckungsgraden verbunden sind, können nicht nur in ertraglicher Hinsicht interessant sein. Sie bieten in der Regel auch Ansätze für den vorbeugenden Boden- und Gewässerschutz. Eine möglichst gute Faktoreffizienz ist daher neben den erzielbaren Energieerträgen je Flächeneinheit entscheidendes Kriterium für eine ökonomische und ökologische Bewertung von Fruchtfolgen zur Gewinnung energetisch nutzbarer Substrate. Zur Gestaltung von nachhaltigen und produktiven Anbausystemen wird neben der Nutzung von Zwischenfrüchten und mehrjährigen Arten das so ge-

März	April	Mai	Juni	Juli	August	September	Oktober
<b>a. Hauptfruchtnutzung Sommerung</b>							
				Mais			
<b>b. Winterzwischenfrucht – Zweitfrucht (früh)</b>							
Grünschnittroggen				Mais/Sorghum			
Landsberger Gemenge				Mais/Sorghum			
<b>c. „Witzenhäuser Zweikulturnutzungssystem“ Erstfrucht – Zweitfrucht (spät)</b>							
	z. B. Roggen GP			z. B. Mais, Sorghum, Sonnenblumen			
<b>d. Hauptfruchtnutzung Winterung – Sommerzwischenfrucht oder Hauptfrucht Winterung</b>							
	Roggen/Triticale GP			z. B. (Mais)/Sorghum/... Raps			
	Weizen GP			Sorghum ... Raps			

Abb. 2-1: Möglichkeiten der Kombination von zwei Kulturarten in einer Vegetationsperiode (Verändert nach Vetter, 2008).

nannte Zweikultur-Nutzungssystem, in welchem sowohl Sommer- als auch Winterkultur vergleichbare Ertragsmengen zum Jahresertrag beisteuern sollen, diskutiert, (vgl. Abb. 2-1).

Vor diesem Hintergrund bildet ein Fruchtfolgeversuch, der durch Landesanstalten, Landesforschungsanstalten und Landwirtschaftskammern aus sieben Bundesländern in agrarisch sehr unterschiedlich geprägten Regionen parallel umgesetzt wird, den Kern der EVA-Untersuchungen. Dieser Versuch wird durch eine Reihe zusätzlicher Teil- und Satellitenprojekte begleitet, die die Vielzahl an Fragestellungen hinsichtlich einer nachhaltigen Fruchtfolge- und Anbaugestaltung aufgreifen (vgl. Abb. 2-2). Beteiligt sind Institutionen mit pflanzenbaulichen,

ökonomischen, ökologischen und technischen Kompetenzen. Damit wird eine ganzheitliche Bewertung der betrachteten Anbausysteme sichergestellt.

Von großer Bedeutung sind Untersuchungen zur Silierbarkeit und zur Ermittlung von Biogasausbeuten, die zentral am Leibniz-Institut für Agrartechnik Potsdam-Bornim (ATB) umgesetzt werden. Eine weitere wichtige Teilaktivität betrifft die deutschlandweite Prüfung des oben genannten Zweikultur-Nutzungssystems unter Leitung der Universität Kassel. Der nachhaltigen Nutzung der wichtigen Ressource Wasser widmet sich ein Teilprojekt, das vom Julius-Kühn-Institut (JKI) geleitet wird. Aufbauend auf den pflanzenbaulichen Ergebnissen bilden die ökonomische Begleitforschung

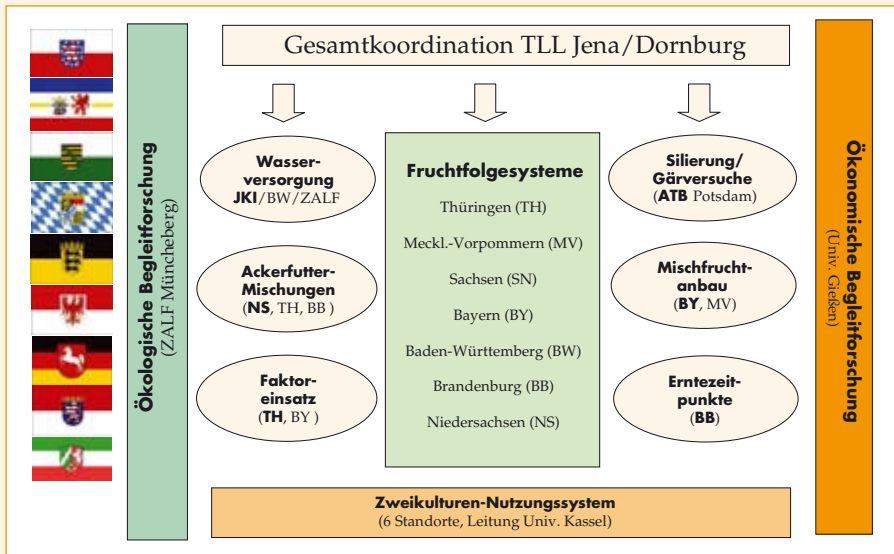


Abb. 2-2: Aufbau des EVA-Verbundes.

durch die Universität Gießen und die ökologische Bewertung durch das Leibniz-Zentrum für Agrarlandschaftsforschung (ZALF) einen ganzheitlichen Bewertungsrahmen.

Abbildung 2-3 zeigt eine Übersicht der Standorte des Fruchtfolgeversuches mit ihren Standortcharakteristika. Bei der Auswahl der Standorte wurde versucht, die Vielfalt der verschiedenen in Deutschland vorzufindenden Anbauggebiete zu berücksichtigen.

So reicht das Spektrum von einem Standort mit hoher Bodengüte, ausreichender Wasserversorgung und hoher Jahrestemperatursumme

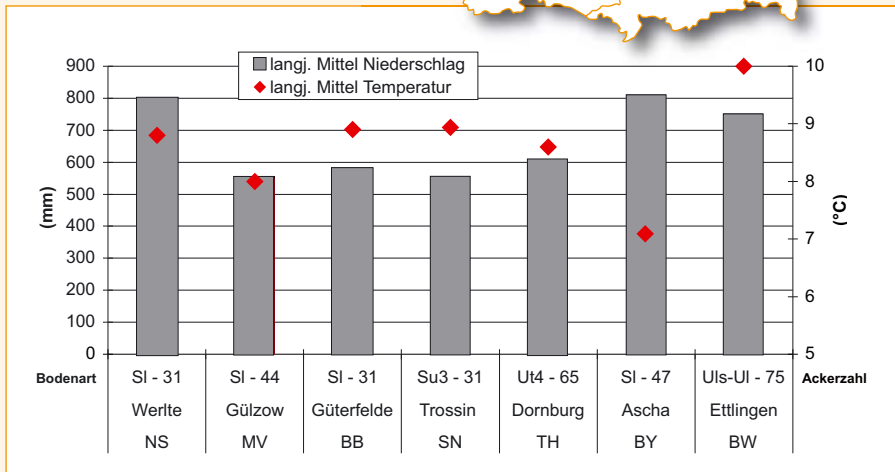
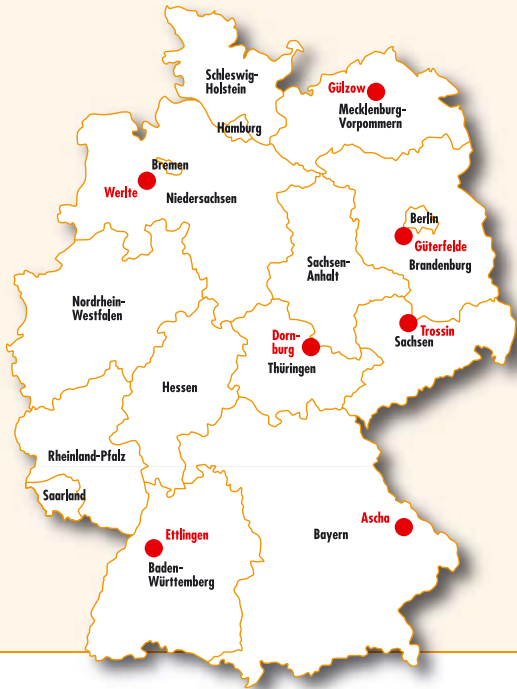


Abb. 2-3: Lage, Bodenart, Ackerzahl, langjähriges Niederschlag- und Temperaturmittel der Standorte des Fruchtfolgeversuches. Quelle: Böttcher, DWD; durch Standortmessungen korrigiert. Bezugszeitraum 1961 – 1990. Angaben mit anderem Bezugszeitraum/Standortdaten können von den Werten abweichen.

(Ettlingen, Baden-Württemberg) über kühl-feuchte Bedingungen der Vorgebirgslagen (Ascha, Bayern) bis hin zu leichteren Böden mit einer stärker limitierten Wasserversorgung (Trossin, Sachsen und Güterfelde, Brandenburg).

In Tabelle 2-1 sind die einheitlich auf diesen Standorten untersuchten Fruchtfolgen dargestellt. Es handelt sich dabei um keine reinen Energie-Fruchtfolgen, sondern um eine Kombination aus Pflanzen für die energetische Verwertung und Marktfrüchten. Auch umfassen diese sowohl etablierte, als auch für die Nutzung als Biogassubstrat vergleichsweise „neue“ Kulturen, wie z. B. Sorghumarten (siehe dazu auch den Kasten auf S. 11).

Bei den Fruchtfolgen 1 bis 3 handelt es sich um Fruchtfolgen, die auf einer Kombination unterschiedlicher Anteile von C<sub>3</sub>- und C<sub>4</sub>-Pflanzen beruhen. Fruchtfol-

ge 5 enthält keine C<sub>4</sub>-Pflanzen und lässt sich als (Ganzpflanzen-) Getreide-Raps-Fruchtfolge charakterisieren, in der Getreide und Marktfrüchte zu gleichen Teilen angebaut werden. Kennzeichnend für Fruchtfolge 4 ist der Anbau eines mehrjährigen Ackergras-Leguminosen-Gemenges. Durch den zusätzlichen Anbau von 3 – 4 regionalspezifischen Fruchtfolgen, wird den regionalen Gegebenheiten der Standorte eine stärkere Bedeutung beigemessen (siehe Anlage 1, S. 114 – 115).

Ansätze zur Bewertung von Fruchtfolgewirkungen ergeben sich aus einer vergleichenden Betrachtung der Fruchtfolgeglieder so wie über das bundesweit alle vier Jahre einheitlich angebaute Fruchtfolgeglied Winterweizen.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Abweichend wird auf den Standorten der Roggen-Kartoffel-Region Winterroggen anstelle von Winterweizen angebaut.

Tab. 2-1: Standard-Fruchtfolgen an allen Versuchsstandorten. (Biogas – Ganzpflanze, Marktfrucht). Die Abfolge der zweiten Versuchsanlage ist um ein Jahr versetzt, beginnend in 2006.

Erste Versuchsanlage	Zweite Versuchsanlage	1	2	3	4	5
2005	2006	Sommergerste Ölrettich (SZF)	Sorghum (b. x s.)	Mais	Sommergerste Untersaat Luzerne- oder Klee gras	Hafer- Sortenmischung
2006	2007	Mais	Grünschnittroggen (WZF) Mais (ZF)	Grünschnittroggen (WZF) Sorghum (b. x s.) (ZF)	Luzerne- oder Klee gras	Wintertriticale
2007	2008	Wintertriticale Sorghum (b. x b.) (SZF)	Wintertriticale	Wintertriticale/ Einjähriges Weidel- gras (SZF)	Luzerne- oder Klee gras	Winterraps
2008	2009	Winterweizen	Winterweizen	Winterweizen	Winterweizen	Winterweizen



Gleichzeitig werden sowohl einzelne Anbaumöglichkeiten (z. B. der Mischfruchtanbau oder mehrjährige Ackerfutmischungen für die Biogasproduktion) als auch Auswirkungen von reduzierter Bodenbearbeitung, reduziertem Pflanzenschutz- und Düngemittleinsatz bzw. unterschiedlichen Ernteterminen untersucht.

In einer zweiten Projektphase 2009–2012 werden die genannten Schwerpunkte zur Absicherung und Vertiefung der Aussagen weiter betrachtet und durch zusätzliche Aspekte, wie eine standortübergreifende Prüfung verschiedener Düngeregime mit Gärresten im Vergleich zur mineralischen Düngung, ergänzt.

Sorghum als Energiepflanze für die Biogasproduktion wird inzwischen von verschiedenen Züchterhäusern angeboten. Bei den meisten Kreuzungen handelt es sich botanisch um Hybridkreuzungen von *Sorghum bicolor* oder *Sorghum bicolor* und *Sorghum sudanense*.

*Sorghum sudanense*, also „reines“ Sudangras spielt inzwischen eher eine untergeordnete Rolle. Sowohl Sudangras als auch Kreuzungen mit *Sorghum sudanense* zeigen eine stärkere Bestockung und lassen sich in Gunstlagen auch mehrschnittig nutzen.

Viele reine *Sorghum bicolor*-Züchtungen zeichnen sich durch eine geringe Bestockung und einen erhöhten Zuckergehalt aus, weswegen sie häufig auch als Zuckerhirsen bezeichnet werden.

Begrifflich soll eine Abgrenzung im Rahmen dieser Broschüre durch die Angabe der jeweiligen Kreuzungspartner erfolgen. **Sudangrashybriden** werden demnach als **Sorghum (b. x s.)** bezeichnet. **Futter- bzw. Zuckerhirsehybriden**, die als Ausgangsmaterial nur *sorghum bicolor* enthalten, als **Sorghum (b. x b.)**.

# 3 Standortsspezifische Erträge und Ertragsstruktur

## 3.1 Witterungsbedingungen im Versuchszeitraum

Die Witterungsbedingungen in der Projektlaufzeit waren an allen Standorten durch deutliche Abweichungen von den langjährigen Mittelwerten gekennzeichnet (vgl. Abb. 3-1 und Tab. 3-1).

Die Bedingungen des Jahres **2005** waren in den ersten Monaten nach Projektbeginn insbesondere für die C<sub>4</sub>-Pflanzen günstig. Ergiebigen Niederschlägen in West- und Süddeutschland standen trockenere Witterungsbedingungen im Osten und Norden gegenüber. Im Mai konnten dann Tageshöchsttemperaturen von 30 °C verzeichnet werden. Der Sommer zeichnete sich insgesamt durch einen warmen und trockenen Juni, einen warmen und nassen Juli und einen zu kühlen August aus. Die kühle Witterung im August führte zur Beeinträchtigung der Getreideernte. Im Herbst waren die Monate September und Oktober deutlich zu warm und eine typische Herbstwitterung konnte erst im November beobachtet werden. Die Jahresdurchschnittstemperaturen lagen vor allem in Mecklenburg-Vorpommern und Sachsen über dem langjährigen Mittel. An den übrigen Standorten gab es nur geringe Abweichungen. In Baden-Württemberg und Thüringen lagen die Niederschläge 2005 um 245 mm bzw. 148 mm unter dem langjährigen Mittel. In Ascha (Bayern)

hingegen fielen Niederschläge, die um 122 mm über dem langjährigen Mittel lagen.

Das Jahr **2006** war überdurchschnittlich warm, sonnenscheinreich und teilweise zu trocken. Die ersten drei Monate waren kalt und die lang anhaltenden Fröste verzögerten die Aussaat im Frühling. Ein kühler Mai beeinträchtigte das Wachstum der Wärme liebenden Kulturen. Der Juli war der heißeste und sonnenscheinreichste Monat. Es folgte ein kühler und extrem regenreicher August.



Die Trockenheit, hohe Verdunstungsraten und die stark rückläufige Bodenfeuchte im Juni und Juli hatten einen deutlichen Ertragsrückgang, insbesondere bei Mais, zur Folge. Der Herbst war mit den Monaten September, Oktober und November sehr warm und teilweise

führten nicht ausreichende Niederschläge zu einer verzögerten Entwicklung der Winterungen. Bei sehr mildem Wetter konnten diese aber im November und Dezember Wachstum und Entwicklung fortsetzen. Die Temperaturen im Winter 2006/2007 lagen etwa 4 °C über den durchschnittlichen Werten..

Das Jahr 2007 war im Vergleich zum langjährigen Mittel durch deutlich höhere Niederschläge, vor allem in den Sommermonaten, charakterisiert. Dem entgegen war der April in fast allen Teilen Deutschlands durch extreme Trockenheit geprägt. Bei gleichzeitig hohen Temperaturen ging die Bodenfeuchte bei hoher Verdunstung stark zurück. Das Auflaufen und das Wachstum von Sommerge-

treide und Mais war unter diesen Bedingungen schwierig. Während in den ersten Monaten des Jahres eine deutliche phänologische Verfrühung bemerkbar war, war das Wachstum des Wintergetreides durch die Trockenheit, insbesondere auf den sandigen Standorten, stark beeinträchtigt.

Erst durch die unbeständige niederschlagsreiche Witterung im Mai und in den Folgemonaten konnte der Bodenwasservorrat wieder aufgefüllt werden. Lediglich die Monate Oktober und Dezember stellten eine Ausnahme dar. Probleme durch die starken Niederschläge zeigten sich teilweise beim Drusch von Getreide sowie bei der Etablierung von späten Zweit- und Zwischenfrüchten.

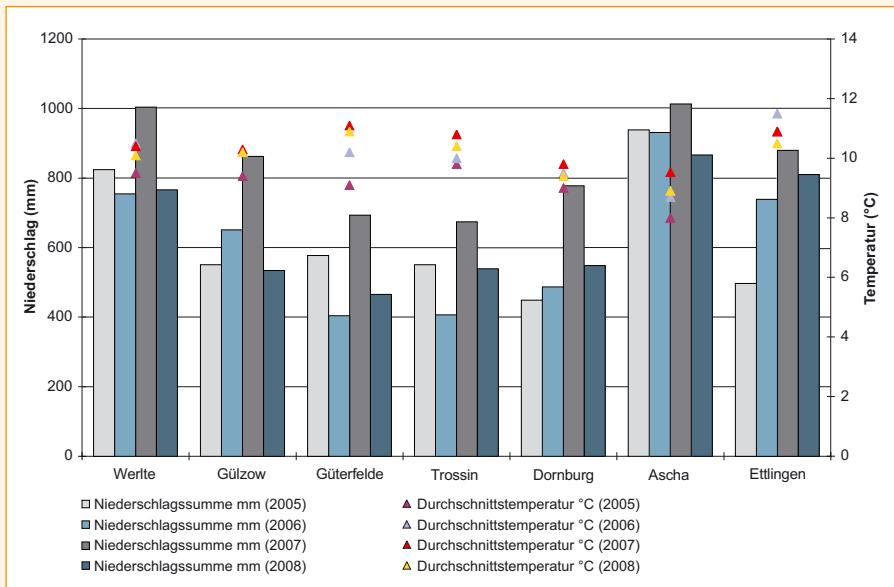


Abb. 3-1: Niederschlag und Temperatur an den Versuchsstandorten 2005 – 2008.

Gut realisierbar war die Bestellung von Winterraps und Wintergetreide, wobei ab November die Böden partiell unbefahrbar wurden.

Insgesamt war das Jahr **2008** erneut wärmer als im langjährigen Mittel. Ausgenommen waren Regionen im Südwesten, die gegenüber dem langjährigen Mittel geringere Temperaturen aufwiesen. Nach überdurchschnittlich warmen Bedingungen und teilweise zu geringen Niederschlägen im Winter waren im April hohe Niederschläge zu verzeichnen. Diese waren besonders stark in Süddeutschland ausgeprägt. In den meisten Teilen Deutschlands regnete es im Mai und Juni unterdurchschnittlich. In Kombination mit hohen Temperaturen fiel die klimatische Wasserbilanz in einigen Regionen deutlich negativ aus. Auf den leichten Böden Niedersachsens und Brandenburgs zeigte sich im Getreide ein deutlicher Trockenstress.

Die Schwankungen der Witterungsverläufe und der dadurch bedingte starke Jahreseinfluss auf die Ergebnisse wurden dadurch berücksichtigt, dass der 2005 angelegte Fruchtfolgeversuch in 2006 zusätzlich um ein Jahr zeitversetzt in gleicher Form angelegt wurde

Tab. 3-1: Witterungsbedingungen in den Versuchsjahren.

		NS	MV
2005	Allgemeine Beschreibung	<b>Insgesamt durchschnittliches Jahr, nach früh Bedingungen im Juni und Juli, unbeständiger</b>	
	Besonderheiten	Im Mai kühle Bedingungen mit Beeinträchtigungen für Mais	Schlechtes Auflaufen der Sommerungen aufgrund von Trockenheit zu Jahresbeginn und wechselhaften Bedingungen im Frühjahr, nur geringe Niederschläge im August
2006	Allgemeine Beschreibung	<b>Kalter Jahresbeginn mit lang anhaltendem trageinbußen insbesondere bei Mais und Herbst, außer in Süddeutschland Jahresnie</b>	
	Besonderheiten	Etablierung von späten Zweitkulturen nicht möglich	Kühle zweite Maihälfte, bei ausreichenden Niederschlägen
2007	Allgemeine Beschreibung	<b>Extrem Milder Winter 2006/2007, über Winterungen, Mai und Folgemonate mit durchschnittliche Niederschläge.</b>	
	Besonderheiten	Hohe Niederschläge am Jahresanfang.	Verzögerte Aussaat der späten Sommerungen durch hohe Niederschläge, Temperaturen im Sommer nur durchschnittlich, hohe Niederschläge führten teilw. zu Vernässung
2008	Allgemeine Beschreibung	<b>Meist wärmer als im langjährigen Mittel, sandigen Standorten zu Trockenstress im</b>	
	Besonderheiten	Feuchtes Frühjahr, April bis Juni unterdurchschnittlicher Niederschlag	Nach trockenem Sommer erst im November nennenswerte Niederschläge



BB	SN	TH	BY	BW
----	----	----	----	----

**lingshaften Temperaturen zu Jahresbeginn winterliche Bedingungen Ende Februar/Anfang März, weitgehend durchschnittliche August, warmer Herbst mit spätem Eintreten der Vegetationsruhe**

Eher trockenes Frühjahr, Aussaatverzögerungen der Sommerkulturen, auch Juni zu trocken; sehr hohe Niederschläge im Juli, unzureichende Niederschläge zur Herbstaussaat	Überdurchschnittliche Sommerniederschläge, vor allem im Juli, vergleichsweise niedrige Niederschläge im Oktober	März/April trocken mit Beeinträchtigung der Sommerungen	Ab April niederschlagsreich und überdurchschnittlich warm, kühler August, trockener Herbst	Trockener und warmer Juni
--	---	---	--	---------------------------

**Bodenfrost und verzögertem Vegetationsbeginn, im Juni und Juli bei hohen Temperaturen deutlich zu trocken mit Er-Problemen bei der Etablierung von späten Zweitkulturen, im August vielfach höhere Niederschläge vor einem trockenen erschläge insgesamt unterdurchschnittlich.**

Aussaatverzögerungen der Sommerung durch trocken-kühle Bedingungen, schlechtes Keimverhalten der Winterungen durch Trockenheit im September und Oktober	September zu trocken, überdurchschnittliche Sonneneinstrahlung in den Sommermonaten	Ungleichmäßige Verteilung der Jahresniederschläge, häufige Starkniederschlagsereignisse	Niederschläge über dem langjährigen Mittel, v.a. niederschlagsreiches Frühjahr; allerdings trockenerer Herbst	Anders als in Norddeutschland keine deutlich unterdurchschnittlichen Jahresniederschläge
---	---	---	---	--

**durchschnittliche Temperaturen teilweise bis September, extreme Dürre im April, vielfach deutliche Schäden in den ausreichen den Niederschlägen und sehr guten Wuchsbedingungen für C<sub>4</sub>-Sommerungen, insgesamt deutlich überdurch-**

Nach Aussaat der Winterungen im Oktober Trockenheit	Temperaturen insgesamt im Bereich des langjährigen Mittels	Ab Oktober Rückgang der Niederschläge	September kühl und feucht.	Trockener Oktober
---	--	---------------------------------------	----------------------------	-------------------

**ausgeprägt in den ersten Monaten des Jahres, Trockenheitsbedingungen im Frühsommer (Mai/Juni), der auf trocken-Getreide führte, deutlich negative klimatische Wasserbilanzen in den Sommermonaten**

Geringe Niederschläge bereits im Februar	Abweichend zu den meisten Regionen Deutschlands (Mai ausgenommen) überdurchschnittliche Niederschläge	Gleichmäßige Niederschlagsverteilung ab Juni	Wenig Niederschlag im Winter, deutlich überdurchschnittliche Niederschläge im März und April	Hohe Niederschläge im April; Trockenheit im Mai weniger stark ausgeprägt, vergleichsweise kühle Bedingungen in der Vegetationszeit
--	---	--	--	--

## 3.2 Vergleich von Fruchtarten und Fruchtfolgen an den Versuchsstandorten

In den folgenden Kapiteln werden die Erträge der geprüften einheitlich (Tab. 2-1) sowie regional spezifischen Fruchtfolgen (vgl. auch Anlage 1, S. 114 – 115) als Trockenmasseerträge in Dezitonnen pro Hektar (dt TM/ha) dargestellt. Diese in Parzellenversuchen ermittelten Erträge bilden die Grundlage für die weiteren Untersuchungen. Auch wenn Aussagen zu erzielbaren Energieerträgen erst nach Berücksichtigung kulturartenspezifischer Gasbildungspotenziale möglich sind (vgl. Kap. 4), wird der erzielbare Methanertrag pro Hektar maßgeblich durch den dargestellten Trockenmasseertrag bestimmt.

Darüber hinaus erschweren unterschiedliche Nutzungsrichtungen (Marktfrucht, Biogas) eine einheitliche Bewertung des Ertragspotenzials der Fruchtfolgen. Bei Marktfruchtelementen in den Fruchtfolgen wurden Strohmenge mit dargestellt, da diese Fruchtfolgeglieder auch als Ganzpflanzengetreide geerntet werden könnten. Im Rahmen der weiteren Bewertung wurde Stroh jedoch nicht als Erntegut bewertet, sondern es wurde vom Verbleib auf dem Feld zur Humusreproduktion (vgl. Kap. 6) ausgegangen.

### 3.2.1 Werlte (Niedersachsen): Futterbau-Veredlungs-Region

#### Standortbeschreibung

Der in Niedersachsen im Landkreis Ems-



land angelegte Versuch liegt 32 m ü. NN und ist durch humose Sand-Böden mit einer durchschnittlichen Ackerzahl von 31 geprägt. Die mittlere Niederschlagssumme beträgt im Jahr 768 mm und ist in der Regel gut über die Monate verteilt. Die langjährige Jahresdurchschnittstemperatur liegt mit 9 °C in einem moderaten Bereich. Anbauswerpunkte liegen im Mais- und Wintergetreideanbau. Der sandige Boden lässt die Kulturen bei längeren Trockenphasen schnell unter Trockenstress leiden. So herrschten 2006 tendenziell schlechte Bedingungen für den Mais bzw. für die Sorghumhybriden vor; 2007 und 2008 hingegen zeigten die Winterungen starke Ertragsseinbußen aufgrund von Frühjahrs- bzw. Frühsommertrockenheit (vgl. Tab. 3-1).

#### Ergebnisse

In der ausschließlich auf Biomasseproduktion ausgerichteten Fruchtfolge 1 ist zwischen den Versuchsanlagen ein Ertragsunterschied von 160 dt TM/ha zu erkennen, welcher sich mit dem trockenstressbedingt niedrigen Maissertrag und dem Ausfall von Sorghum (b. x b.) nach Triticale in der ersten Anlage gegenüber

günstigeren Witterungsbedingungen für die zweite Anlage erklären lässt. Der Anbau von Sorghum nach Getreideganzpflanzen birgt das Risiko von witterungsbedingten Auflaufproblemen bzw. eine Beeinflussung durch Ausfallgetreide. Insgesamt betrachtet konnte mit der Fruchtfolge 1 am Standort im Mittel beider Anlagen ein Ertrag von 382 dt TM/ha erzielt werden.

Sorghum (b. x s.) in Fruchtfolge 2 erreichte mit 92 dt TM/ha, auch bedingt durch stärkeren Unkrautdruck, nur einen mäßigen Ertrag. Der nach der Grünschnittrognutzung folgende Mais wurde 2006 in der ersten Versuchsanlage durch die Frühsommertrockenheit während der Jugendentwicklung noch negativ beeinflusst, erzielte aber 2007 im zeit-

versetzt angelegten Versuch sehr gute Ergebnisse, so dass ein TM-Ertrag von 156 dt/ha erreicht wurde.

Mit einem Biomasseertrag von 351 dt TM/ha<sup>2</sup> erzielte Fruchtfolge 2 eine gute Gesamtleistung unter anderem aufgrund der im Verhältnis zu Hauptfruchtmais guten Erträge der Kombination Grünschnittrögnen-Mais (vgl. auch Abb. 3-14).

Der Mais in Hauptfruchtstellung in Fruchtfolge 3 erzielte mit 154 dt/ha gegenüber Sorghum (b. x s.) in Fruchtfolge 2 einen um 62 dt TM/ha höheren Ertrag. Ebenso konnte Sorghum (b. x s.) in Zweitfruchtstellung nicht an das Ergebnis von Zweitfruchtmais (Fruchtfolge 2) herantreiben (vgl. Abb. 3-14). Der 2006 durch

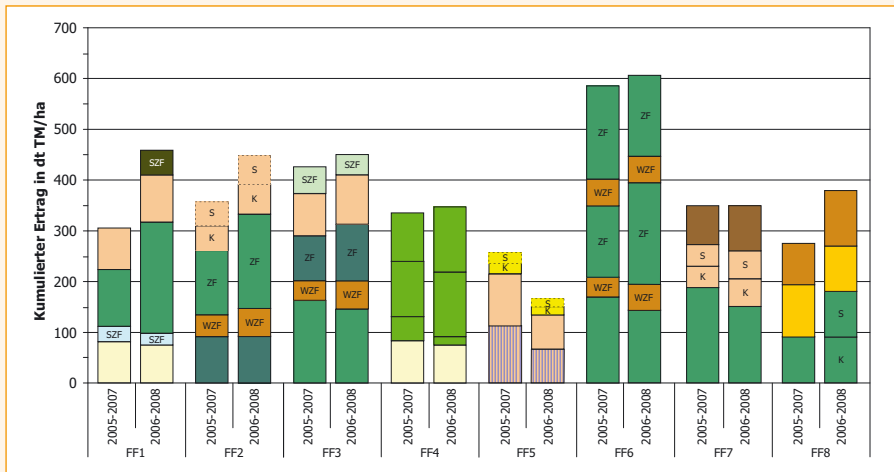


Abb. 3-2: Aufsummierte Trockenmasseerträge der getesteten Fruchtfolgen der ersten (2005 – 2007) und zweiten (2006 – 2008) Versuchsanlage am Standort Werlte.

<sup>2</sup> 404 dt TM/ha unter Hinzurechnung des Strohs.

die Fröhsommertrockenheit einsetzende Wachstumsstillstand bei Mais und Sorghum (b. x s.) wurde optisch von letzterem besser kompensiert. Dennoch war der Mais dank der noch als befriedigend einzustufenden Kolbenbildung in der Lage, bis zur Ernte etwas höhere TM-Erträge zu erzielen. Wintertriticale (GPS) lieferte wie in den Fruchtfolgen 1 und 2 keine repräsentativen Erträge. Durchschnittlich ergaben sich 77 dt TM/ha. Einjähriges Weidelgras als Sommerzwischenfrucht konnte mit 47 dt TM/ha noch einen zufriedenstellenden Ertrag erzielen. Der Ertragsvorteil der Fruchtfolge 3 gegenüber der Fruchtfolge 2 resultiert in erster Linie daraus, dass die Vegetationszeit nach Wintertriticale noch mit einer Zwischenfrucht genutzt wurde.

Die Sommergerste in Fruchtfolge 4 erzielte als GPS einen TM-Ertrag von 79 dt/ha. Nach dem Etablieren der Untersaat konnte im Anlagejahr im Mittel der beiden Versuche noch ein Ertrag von 32 dt/ha erzielt werden. In den darauffolgenden Hauptnutzungsjahren wurden 118 bzw. 112 dt TM/ha mit mehreren Schnitten erzielt, so dass in der Summe der 3 Jahre ein Ertrag von 341 dt TM/ha erreicht wurde.

Die Sortenmischung Hafer zur GPS-Nutzung erreichte gegenüber den Sommergerstenvarianten in den Fruchtfolgen 1 und 4 mit 90 dt TM/ha deutlich bessere Leistungen. Wintertriticale erzielte wie in Fruchtfolge 1 nur mäßige Erträge und

auch der Wintertraps zur Körnernutzung erreichte mit 19,3 dt Kornertrag je Hektar einen für den Standort nicht repräsentativen Ertrag.<sup>3</sup> Mit 194 dt TM/ha erreichte die Fruchtfolge im Mittel den geringsten Gesamtertrag. Hervorzuheben sind insbesondere die witterungsbedingt geringen Erträge der zweiten Versuchsanlage, in der sowohl der Hafer unter der Sommertrockenheit 2006 als auch Wintertriticale unter der Apriltröckheit 2007 litten.

Bei der Fruchtfolge 6 wurde die Vegetationszeit optimal ausgenutzt, indem nach der Hauptfrucht Mais im Herbst Grünschnittroggen angebaut wurde, der dann vor der Maisaussaat im Mai geerntet wurde. Die intensive Biomasseproduktion lieferte demzufolge auch die mit Abstand höchsten Gesamterträge von 596 dt TM/ha in drei Jahren im Mittel der beiden Versuchsanlagen. Der Grünschnittroggen erzielte dabei Erträge von bis zu 53 dt TM/ha.

In der Fruchtfolge 7 wurde mit Silomais und Wintertriticale als Marktfrucht sowie Wintergerste als GPS mit anschließendem Winterweizen ein Wechsel von Energie- und Marktfrucht realisiert, wobei auf eine effektive Ausschöpfung der Vegetationszeit im Sommer teilweise verzichtet wurde. Der Mais konnte mit 169 dt TM/ha ein gutes Ergebnis erzielen, während die Wintertriticale mit 48 dt Kornertrag/ha enttäuschte. Auch die nachfolgende Wintergersten-GPS erreichte mit 84 dt TM/ha nur einen geringen Ertrag. Mit einem Gesamttrockenmasseertrag von 350 dt/ha in der Sum-

<sup>3</sup> Versuchsbedingt auf Vogelfraß in den Parzellen zurückzuführen (in beiden Anlagen).



me der 3 Jahre konnte nur ein mittleres Ergebnis erzielt werden.

In Fruchtfolge 8 stand Körnermais als Marktfrucht vor den GPS-Varianten Winterweizen und Winterroggen. Aufgrund mangelhafter Kolbenausbildung musste der Körnermais in der ersten Versuchsanlage als Silomais geerntet werden und erzielte dabei nur einen bescheidenen Ertrag in Höhe von 92 dt TM/ha. Im darauffolgenden Jahr konnte in der zeitlich versetzten zweiten Versuchsanlage ein Korn-ertrag in gleicher Höhe erzielt werden. Die als Ganzpflanze genutzten Getreidearten konnten, wie in den anderen Fruchtfolgen mit jeweils ca. 95 dt TM/ha nicht überzeugen. Damit zählt auch diese Fruchtfolge mit insgesamt 376 dt TM/ha zu den ertragsschwächeren Varianten.

Zusammenfassend lässt sich der Mais als ertragsstärkste Kultur im Versuchszeitraum von 2005 bis 2009 herausstellen. Keine repräsentativen Erträge wurden mit Ganzpflanzengetreide und den Getreide/Raps-Marktfruchtvarianten erzielt. Diese Ergebnisse spiegeln nicht das in zusätzlichen Versuchen der LWK Niedersachsen gemessene Ertragsniveau wider. So konnten auf den Versuchsstationen Königslutter und Celle mit Winterroggensorten 2005 – 2007 durchschnittliche Erträge von 137 bzw. 110 dt TM/ha erzielt werden.

Die Grünschnittroggenvarianten zeigten bei rechtzeitiger Ernte mit durchschnittlich 50 dt TM/ha akzeptable Leistungen. Die Erträge von Sorghum (b. x s.) wurden durch die Jahreseinflüsse ten-

denziell stärker beeinflusst als es beim Mais der Fall war, so dass die Ertragsunterschiede recht ausgeprägt ausfielen.

Aus diesen Zusammenhängen erklärt es sich, dass die Fruchtfolge 6 mit einer mehrjährigen Kombination aus Mais und Grünschnittroggen aufgrund der optimalen Ausnutzung der Vegetationszeit die mit Abstand höchsten Gesamterträge erzielte. In den Fruchtfolgen 2 und 3, in denen als Energiefruchtfolgeglieder neben dem Mais auch Sorghum (b. x s.) geprüft wurde, liegen die Leistungen auf Grund der geringeren Erträge bei Sorghum niedriger. Außerdem erreichte das integrierte Getreide, unabhängig ob als GPS oder als Druschfrucht geerntet, keine standorttypischen Erträge, was das Ergebnis dieser Fruchtfolgen zusätzlich negativ beeinflusst.

#### **Empfehlungen für die Praxis:**

Für Niedersachsen kann festgehalten werden, dass ein hoher Maisanteil in einer vorwiegend auf Biomasseproduktion ausgerichteten Fruchtfolge mit Abstand die höchsten Erträge liefert. Dabei ist zu berücksichtigen, dass die Getreideganzpflanzennutzung – besonders im Jahr 2007 – nicht das für die Region typische Ertragsniveau erreichte. Auch die Nutzung unterschiedlicher Sorghumarten als Alternative zum Mais ermöglichte keine ertraglichen Vorteile. Der Einsatz von Grünschnittroggen als Vornutzung kann bei günstiger Wasserversorgung zu Mehrerträgen führen, birgt auf den leichten Böden mit geringer Wasserspeicherkapazität jedoch recht hohe Risiken für die Etablierung der Sommerung.

### 3.2.2 Gülzow (Mecklenburg-Vorpommern): Weizen-Raps-Region

#### Standortbeschreibung

Der Standort Gülzow liegt 10 m über NN im norddeutschen Grund- und Endmoränengebiet. Das langjährige Mittel der jährlichen Niederschlagssumme beträgt 559 mm. Die Jahresdurchschnittstemperatur liegt bei 8,5 °C. Die Bodenart ist stark lehmiger Sand mit einer durchschnittlichen Ackerzahl von 51 auf dem Teilstück des Fruchtfolgeversuchs.

#### Ergebnisse

Am Standort Gülzow zeigt sich der Mais als ertragreichste Fruchtart, gefolgt von Wintertriticale als Ganzpflanze. Die alternativ zum Mais integrierte Fruchtart Sorghum (b. x s.) brachte trotz stark variierender Witterungsbedingungen in den drei Anbaujahren relativ stabile Erträge, die jedoch den Maiserträgen nicht ebenbürtig waren. Ursachen dafür sind in dem Züchtungsvorteil von Mais begründet. Besonders auffällig ist der niedrige Trockensubstanzgehalt, welcher bei der Sorghum-Sorte Susu in allen 3 Anbaujahren  $\leq 23\%$  lag. Da jedoch im Bereich der Optimierung des Produktionsverfahrens die Verlängerung des Vegetationszeitraumes durch frühere Aussaat- oder spätere Erntetermine witterungsbedingt begrenzt sind, sollte die Entwicklung frühreifer Sorten ein wichtiger Züchtungsschwerpunkt sein.

Bei den Getreideganzpflanzen wird die bereits erwähnte Wintertriticale favorisiert. Sommergerste war mit durch-

schnittlich 90 dt TM/ha die ertragschwächste Getreideart. Die Artenmischung Sommerroggen/Sommertriticale kann als gute Alternative zur Auflockerung der Fruchtfolge angebaut werden. Die Artenmischung hatte den zweithöchsten Ertrag bei den Getreideganzpflanzen. Eine zusätzliche Ertragssteigerung ist durch den Anbau als Wintergetreidemischung möglich; das hat sich auch in der Ernte 2009 bestätigt. Die ertragreichsten Ackerfuttermischungen sind Welsches Weidelgras mit 122 dt TM/ha und Klee gras mit 99 dt TM/ha im zweiten Nutzungsjahr. Berücksichtigt werden muss dabei allerdings auch die sehr gute Wasserversorgung im Jahr 2007, die zu diesem hohen Ertragsniveau besonders beim Weidelgras beitrug.

Die Betrachtung der kumulierten Trockenmasseerträge der Fruchtfolgen bei der Anlagen verdeutlicht, dass die Fruchtfolgen mit Mais, Sorghum (b. x s.) und Wintertriticale die ertragstärksten sind (Abb. 3.3). Das im Verhältnis zu anderen Standorten relativ geringe Ertragsniveau der Fruchtfolge 1 gegenüber den Fruchtfolgen 2 und 3 resultiert aus dem ertragsschwachen Sorghum (b. x b.) nach Wintertriticale (GPS). Hier reicht der noch verbleibende Vegetationszeitraum (Juli bis Oktober) und die daraus resultierende Temperatursumme für einen verwertbaren Biomassezuwachs von Sorghum (b. x b.) nicht aus. Bei den Regionalfruchtfolgen lieferte in der Versuchsanlage 2005 die Fruchtfolge 6 mit Mais, Gerstgras und Raps die höchste Ertragssumme. Anders war es bei dem Versuch in der 2006 angelegten zweiten Versuchsanlage. Hier

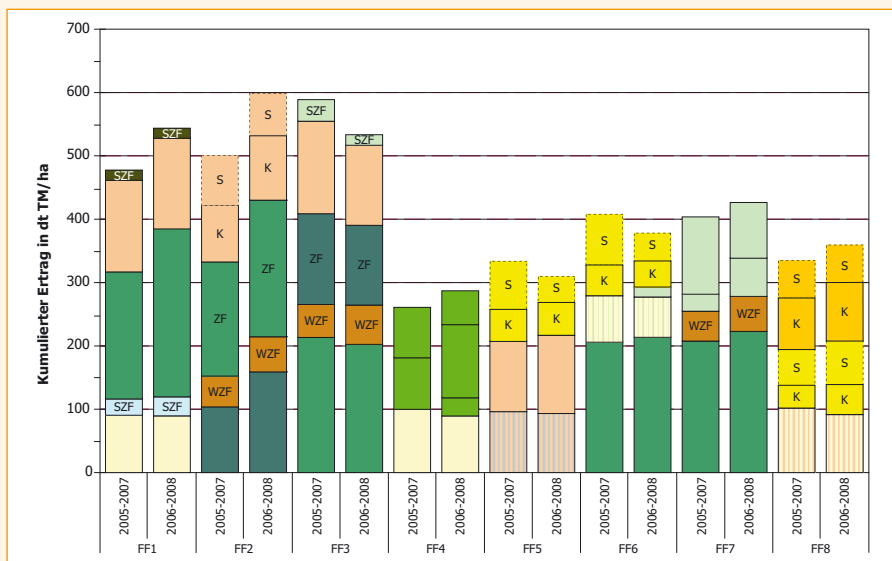


Abb. 3-3: Aufsummierte Trockenmasseerträge der getesteten Fruchtfolgen der ersten (2005 – 2007) und zweiten (2006 – 2008) Versuchsanlage am Standort Gülzow.

war die Fruchtfolge 7 mit Mais, Winterroggen und Welschem Weidelgras die ertragsreichere, hervorgerufen durch die günstige Wasserversorgung des Welschen Weidelgrases im Jahre 2007.

### Empfehlungen für die Praxis:

Für die betrachteten regionalen Bedingungen in Mecklenburg-Vorpommern sind Energiefruchtfolgen, die Mais, Wintertriticale und Sorghum (b. x s.) enthalten die ertragreichsten. Aus Sicht der Flächennutzungseffizienz sind diese Fruchtfolgen zu bevorzugen, allen voran die Fruchtfolge 3. Weiterhin hat sich in den letzten Anbaujahren gezeigt, dass Sorghumhirsen besonders bei erhöhtem Trockenheitsrisiko eine gute Alternative zum Mais sein können. Frühreife Sorten könn-

ten deren Potenzial noch verbessern. Beide  $C_4$ -Kulturen sind auch als Kombination mit Winterroggen im Zweitkulturanbau empfehlenswert. Der Grünschnittroggen hat dabei als Vorfrucht mit einem guten Ertrag überzeugt. Bei der Etablierung der Sommerung muss jedoch auf die für diese Region typische Vorsommertrockenheit geachtet werden. Eine zu späte Aussaat könnte besonders bei Mais zu Auflaufproblemen und Trockenstress führen. Sorghum (b. x s.) ist als Zweitfrucht in solchen Fällen die sicherere Alternative. Weiterhin ist anzumerken, dass die Sorghumhirse in Mecklenburg-Vorpommern nicht für Spätsaat (Anfang Juli) geeignet ist. Der Vegetationszeitraum reicht für die Entwicklung der gewünschten Biomasse nicht mehr aus.

Deshalb ist Wintertriticale als Ganzpflanze (Ernte zur Teigreife) vor Sorghumhirse nicht empfehlenswert. Grünschnittroggen ist hier als Vorfrucht zu bevorzugen. Bei den Getreideganzpflanzen sind Wintertriticale und Sommerroggen/Sommertriticale im Gemisch als Alternative sehr geeignet, um eine Auflockerung der Fruchtfolgen und eine nachhaltige Bewirtschaftung im Sinne der Guten Fachlichen Praxis (Cross Compliance) zu gewährleisten. Auch die untersuchten Ackergräser bzw. -mischungen sollten als ökologisch wertvolles Fruchtfolglied in die Fruchtfolgen integriert werden. Bedingt durch die stark jahresabhängige Verteilung der Wasserversorgung in dieser Region ist allerdings eine mehrjährige Nutzung der Gräsermischungen mit hohen Ertragsschwankungen verbunden.

### 3.2.3 Güterfelde (Brandenburg): Roggen-Kartoffel-Region

#### Standortbeschreibung

Der Versuchsstandort liegt im Kreis Potsdam-Mittelmark und repräsentiert mit der Bodenart lehmiger Sand (IS) und ei-

ner durchschnittlichen Ackerzahl von 31 das Brandenburger Landbauggebiet III bzw. den Boden-Klima-Raum „Trockenwarme diluviale Böden des ostdeutschen Tieflandes“. Die Jahresniederschlagssumme beträgt im langjährigen Mittel 545 mm und die durchschnittliche Jahrestemperatur liegt bei 9,1 °C.

#### Ergebnisse

Im Versuchszeitraum 2005 bis 2008 führten stark abweichende Jahreswitterungen mit Extremereignissen zu erheblichen Ertragsschwankungen bei den mehrjährig geprüften Fruchtarten (vgl. Tab. 3-1). Die **Trockenmasseerträge** betragen in Hauptfruchtstellung bei Mais 90 bis 190 dt/ha, bei Sorghum (b. x s.) 100 bis 150 dt/ha, bei Luzernegras 100 bis 115 dt/ha, bei Topinamburkraut 55 bis 105 dt/ha, bei Wintertriticale-Ganzpflanzen 65 bis 80 dt/ha, sowie bei Winterroggen-Ganzpflanzen 70 bis 110 dt/ha.

Die **Gesamterträge** über drei Jahre variierten in den neun geprüften Fruchtfolgen (abschließendes Fruchtfolglied Winterroggen unberücksichtigt) zwischen 190 und 340 dt TM/ha in der 1. Ver-





suchsanlage (2005 – 2007) und 155 bis 355 dt TM/ha in der 2. Versuchsanlage (2006 – 2008) (vgl. Abb. 3-4). Im Mittel beider Versuchsanlagen wiesen dabei die Fruchtfolgen mit Mais bzw. Sorghum (b. x s.) höhere Erträge als die getreide-dominierten Fruchtfolgen auf. Dies gilt sowohl für deren Anbau in Hauptfruchtstellung als auch für eine Nutzung als Zweitfrucht in Kombination mit einer vorausgehenden Winterzwischenfrucht. Die Fruchtfolge 9 erreichte ein ähnlich hohes Ertragsniveau wie die Fruchtfolgen 1 und 3, wobei die Sorghum-Sorte Lussi (b. x s.) in Zweitfruchtstellung im Mittel beider Anlagen den höchsten Einzelertrag erzielte.

Die im Jahr 2005 in der Fruchtfolge 4 etablierte Grasmischung A3 mit Rotklee erwies sich für den grundwasserfernen

Sandstandort Güterfelde als nicht geeignet. In der zeitversetzten Anlage 2006 wurde daher ein Luzernegrasgemenge ausgesät. 2007 erzielte dieses mit 114 dt TM/ha einen Mehrertrag von ca. 40 % gegenüber zweijährigem Klee gras. Diese deutlichen Ertragsvorteile des Luzernegrases sind am Standort Berge im Versuch „Ackerfutter“ ebenfalls ermittelt worden (vgl. Kap. 3.3.3). Während das Versuchsmittel der Jahre 2007/08 für Luzernegras mit 106 dt TM/ha über den Praxiserträgen lag, erreichte Klee gras 2006/07 in Güterfelde mit 64 dt TM/ha nur annähernd den Praxisdurchschnitt.

### Empfehlungen für die Praxis

Auf den zur Vorsommertrockenheit neigenden Standorten der Roggen-Kartoffel-Region weisen Mais und Sorghum die höchsten Biomasse- und Methangaser-

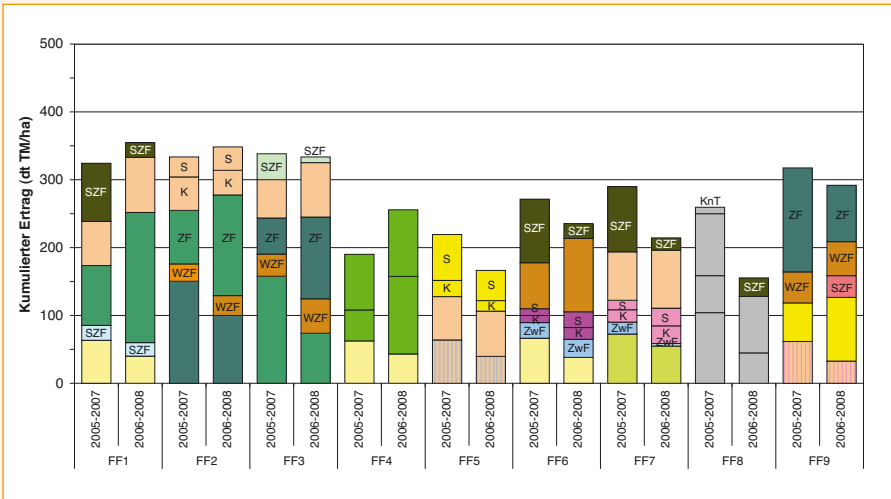


Abb. 3-4: Aufsummierte Trockenmasseerträge der getesteten Fruchtfolgen am Standort Güterfelde der ersten (2005 – 2007) und zweiten (2006 – 2008) Versuchsanlage.

träge auf. Der Zweitfruchtanbau erzielte bisher keine deutlich höheren Gesamterträge (Erstfrucht Getreide mit Zweitfrucht Mais bzw. Sorghum) als der Hauptfruchtanbau mit  $C_4$ -Pflanzen. Daher ist der Zweitfruchtanbau aus ökonomischer Sicht eher für Standorte mit gesicherter Wasserversorgung empfehlenswert.

Aus Sicht der Risikominimierung sind für die Gärsubstratbereitstellung unter den Standortbedingungen Brandenburgs Fruchtfolgen mit den Arten Mais, Sorghumhirsen, Getreide für die Ganzpflanzennutzung (insbesondere Roggen) sowie standortangepasste Ackerfuttermischungen in Kombination mit dem Marktfruchtanbau zu empfehlen. Winterraps, Sonnenblumen und Topinamburkraut sind auf Grund erhöhter Schwefel- bzw. Aschegehalte sowie niedriger TM-Gehalte zur Ernte für die Vergärung eher ungeeignet.

### 3.2.4 Trossin (Sachsen): Roggen-Kartoffel-Region

#### Standortbeschreibung

Trossin liegt im Landkreis Nordsachsen (Dübener Heide) auf einer Höhe von 120 m über NN und ist charakterisiert durch eine Jahresdurchschnittstemperatur von 8,7 °C und ein langjähriges Niederschlagsmittel von 596 mm (1961 – 1990). Der Fruchtfolgeversuch wurde auf einer Bänderparabraunerde mit der

Bodenart mittelschluffiger Sand (Su3) und der Ackerzahl 31 angelegt. Der Versuchsstandort ist nicht nur durch relativ geringe Niederschläge, sondern auch durch eine geringe Wasserspeicherkapazität des Bodens geprägt.

#### Ergebnisse

Als leistungsstärkste Anbausysteme erwiesen sich die Fruchtfolgen 1 (300 in der ersten/370 dt TM/ha in der zweiten Versuchsanlage), 2 (310/330 dt TM/ha)<sup>4</sup>, 3 (430/380 dt TM/ha) und 7 (400/340 dt TM/ha). Die ertragreichsten Fruchtfolgeglieder waren Energiemais, Sorghumhirsen, Wintergetreideganzpflanzen und Kartoffeln. Deutlich schwächer schnitten die Fruchtfolgesysteme ohne Mais und Sorghumhirsen ab (Fruchtfolge 4, 5, 6 und 8).

Die Ertragsanalyse macht deutlich, dass sowohl die auf Hanf und Sonnenblume zur Ganzpflanzennutzung basierende Fruchtfolge 8 als auch die Fruchtfolge 6, die vorwiegend Futtergräser und Sommergetreide enthält, relativ niedrige Trockenmasseerträge von 240 – 280 dt TM/ha erzielten. Den geringsten Biomasse-Gesamtertrag erbrachte Fruchtfolge 5 (150/160 dt TM/ha)<sup>5</sup>, welche zu ca. 50 % aus Marktfrüchten besteht. Weiterhin ist zu bemerken, dass der mehrjährige Luzerne-Klee-Anbau (Fruchtfolge 4) zu den Mais-Sorghumhirsebetonten Systemen ebenfalls nicht konkurrenzfähig ist (250/260 dt TM/ha).

<sup>4</sup> 320 bzw. 370 dt TM/ha inkl. Stroh.

<sup>5</sup> 170 bzw. 210 dt TM/ha unter Berücksichtigung des Strohs.

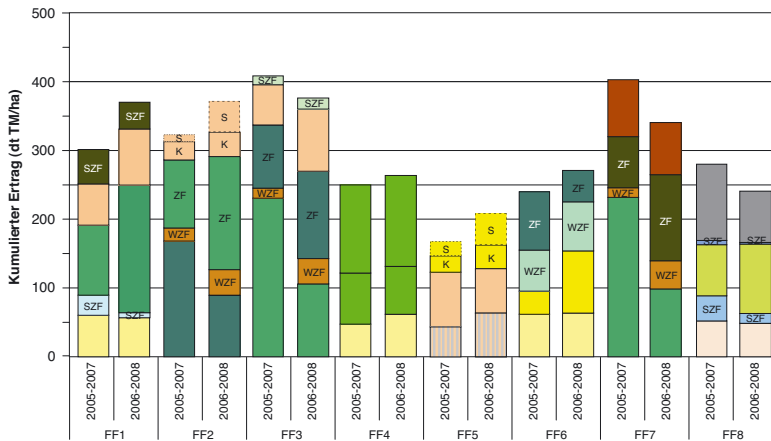


Abb. 3-5: Aufsummierte Trockenmasseerträge der getesteten Fruchtfolgen am Standort Trosin in der ersten (2005 – 2007) und zweiten (2006 – 2008) Versuchsanlage.

### Empfehlungen für die Praxis

Die Untersuchungen zum Energiepflanzenanbau in speziellen Fruchtfolgen zeigen, dass sich auf leichten Böden in niederschlagsarmen Regionen Mitteldeutschlands hohe Erträge von bis zu 430 dt TM/ha im dreijährigen Anbau realisieren lassen. Als ertragsstarke und -stabile Kulturen haben sich neben Getreideganzpflanzen und Kartoffeln vor allem die C<sub>4</sub>-Pflanzen Mais und Sorghumhirsen bewährt. Aufgrund des, im Vergleich zum Mais, höheren Bodenwasserausschöpfungsvermögens und der guten Trocken- bzw. Hitzetoleranz ist Sorghum in der Lage auch in sehr warmen und niederschlagsarmen Jahren zuverlässige Ernteausbeuten zu erreichen. (vgl. auch Ergebnisse des Projektes „Anbau und Nutzung von Energiehirse als Alternati-

ve für ertragsschwache Standorte in Trockengebieten Deutschlands“). Mais und Sorghumhirsen können sowohl in Haupt- als auch in Zweitfruchtstellung in die Fruchtfolgen integriert werden, wobei der Anbau als Hauptfrucht ca. 20 % höhere Erträge erzielte. Für den Zweitfruchtanbau sind frühräumende Vorfrüchte, wie beispielsweise Grünschnitttrogen zu empfehlen.

Bei der Eingliederung von Getreideganzpflanzen in die Anbausysteme sind winteranuelle Arten den Sommerkulturen vorzuziehen (ca. 16 % Mehrertrag). Eine mehrjährige Nutzung von Leguminosen, wie Luzerne und Klee gras, bietet sich hauptsächlich für leichte, diluviale Böden mit sehr niedrigen Humus- und Stickstoffsalden an.

### 3.2.5 Dornburg (Thüringen): E-Weizen-Region

#### Standortbeschreibung

Der Versuchsstandort Dornburg liegt auf einer Höhe von 250 – 270 m über NN und zeichnet sich durch ein Temperaturmittel von 8,8 °C und ein Niederschlagsmittel von 596 mm aus. Der Standort ist durch eine Lössauflage auf Muschelkalk charakterisiert und gehört mit seiner Randlage am Thüringer Becken zu den Lössstandorten in den Übergangslagen. Bei der vorherrschenden Bodenart handelt es sich um stark tonigen Schluff ( $U_{t_4}$ ), die Ackerzahl liegt bei 65. Im Rahmen des Verbundprojektes soll der Standort repräsentativ für die E-Weizen-Standorte der ostdeutschen Lössböden sein.

#### Erträge der einzelnen Fruchtarten (Mittel der Anlagen)

Die vorliegenden mittleren Ergebnisse der beiden zeitversetzten Versuchsanlagen verdeutlichen, dass mit Mais in Hauptfruchtstellung im Durchschnitt der Fruchtfolgen 1 und 3 ein Trockenmasseertrag von 162 dt TM/ha erzielt wurde, wohingegen der dreijährige Maisanbau in Fruchtfolge 7 einen mittleren Jahresertrag von 176 dt TM/ha erreichte. Auf Grund der Witterungsverhältnisse wurde in Fruchtfolge 7 im Jahr 2007 der höchste Ertrag von 247 dt TM/ha ermittelt. Im Vergleich dazu erreichte der Mais in Zweitfruchtstellung nur einen um 100 dt TM geringeren Ertrag. In Kombination mit der vorausgehenden Winterzwischenfrucht Grünschnittroggen ergab sich ein Ertrag von 209 dt TM/ha. Mit Sorghum (b. x s.) in Hauptfruchtstellung



(146 dt TM/ha) konnte ein TM-Ertrag realisiert werden, welcher dem Mais in Zweitfruchtstellung entspricht. In Zweitfruchtstellung erreichte Sorghum (b. x s.) einen Ertrag von 125 dt TM/ha. In Kombination mit Grünschnittroggen wurde ein Ertrag von nur 186 dt TM/ha erzielt. Zur Alternative Grünschnittroggen - Mais in Zweitfruchtstellung ergab sich somit ein Minderertrag von 23 dt TM/ha. Der mehrjährige Anbau von Topinambur erzielte einen durchschnittlichen Trockenmasseertrag von 158 dt TM/ha an oberirdischer Biomasse, lag somit 19 dt TM/ha unter den Maiserträgen (HF) der Fruchtfolge 7. Die Knollen wurden aufgrund der Neigung zu Verschmutzung durch Erdanhaftungen nicht in die Bewertung als Biogassubstrat einbezogen. Am Standort wurde ein Ertrag von 133 dt TM/ha Knollen erreicht.



Bei den angebauten Getreidearten wird ersichtlich, dass mit dem Sommergetreide (Sommergerste, Hafer, Hafer-sortenmischung) Erträge von durchschnittlich 92 dt TM/ha erzielt wurden, wohingegen mit dem Wintergetreide (Wintertriticale und Artenmischung) mit durchschnittlich 135 dt TM/ha um etwa 43 dt TM/ha höhere Erträge möglich waren. Das angebaute Luzernegras (FF 4) erreichte zwischen 42 dt TM/ha (Ansaat-jahr) und 132 dt TM/ha (Durchschnitt der Folgejahre). Als Sommerzwischenfrüchte wurden Sorghum (b. x b.), Ölettrich und Einjähriges Weidelgras in die Fruchtfolgen integriert. Sorghum (b. x b.) erzielte 38 dt TM/ha und das Einjährige Weidelgras 24 dt TM/ha. Der Ölettrich er-

reichte einen sehr niedrigen Ertrag (21 dt TM/ha) und wurde entgegen der ursprünglichen Planung nicht als Bio-gassubstrat geerntet, sondern verblieb als Gründüngung auf der Fläche. Mit dem Anbau von Grünschnittroggen (FF 2 und FF 3) wurde ein Ertrag von 62 dt TM/ha erreicht. Für die Kornnutzung wurden Wintertraps (40 dt/ha) und Wintertriticale (81 dt/ha) in die Fruchtfolgen integriert. Auch hier wurden standorttypischer Erträge erzielt.

Mit Blick auf die Gesamterträge der Fruchtfolgen wurde der höchste Ertrag mit dem dreijährigen Maisanbau ermöglicht (528 dt TM/ha), wobei zu beachten ist, dass im Jahr 2007 ein besonders hoher

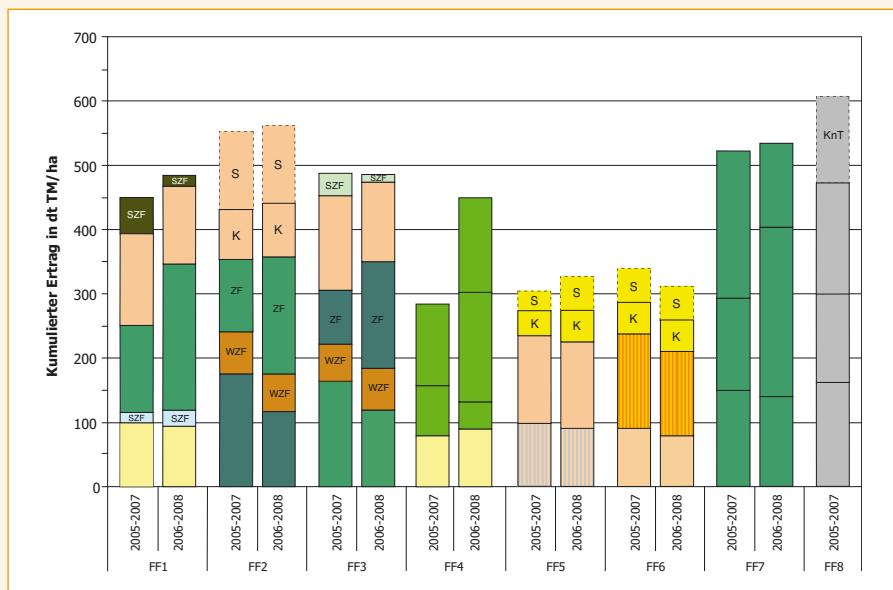


Abb. 3-6: Aufsummierte Trockenmasseerträge der getesteten Fruchtfolgen der ersten (2005 – 2007) und zweiten (2006 – 2008) Versuchsanlage am Standort Dornburg.



Ertrag (247 dt TM/ha) erzielt wurde. In der Fruchtfolge 3 betrug der Biomasseertrag 505 dt TM/ha bei einem Energiepflanzenanteil von 83 %. Wird bei der Fruchtfolge 8 (dreijähriger Topinamburanbau) nur die oberirdische Biomasse in die Betrachtung einbezogen, so erreichte diese einen Ertrag von 473 dt TM/ha.<sup>6</sup> Die Differenz zur Fruchtfolge 3 beträgt somit 32 dt TM/ha. Bei den Fruchtfolgen 1 und 2 lag der Energiepflanzenanteil bei 66,6 % bzw. 60 %. Mit der Fruchtfolge 1 wurde ein Gesamtertrag von 467 dt TM/ha und mit der Fruchtfolge 2 von 436 dt TM/ha<sup>7</sup> erzielt. Deutlich geringere Erträge wurden in den Fruchtfolgen 4, 5 und 6 ermittelt. Insgesamt wurde in Fruchtfolge 4 ein Ertrag von 367 dt TM/ha erreicht. Die beiden Getreide-Raps-Fruchtfolgen 5 und 6 erzielten mit 270 und 262 dt TM/ha die geringsten Biomasseerträge.<sup>8</sup>

### Empfehlungen für die Praxis

Die Ergebnisse verdeutlichen, dass unter diesen Standortbedingungen die leistungsfähigsten Fruchtfolgevarianten kumulierte Trockenmasseerträge von 439 bis 528 dt TM/ha erreichten. Die Fruchtfolgeglieder Mais, Wintertriticale, Sorghum (b. x s.) und Topinamburkraut bestimmten dabei wesentlich den Gesamtertrag. Sinnvoll ist es, Mais und Sorghum (b. x s.) sowohl in Haupt- als auch in Zweitfruchtstellung in die Fruchtfolgen

<sup>6</sup> Zu berücksichtigen sind allerdings die nur geringen Methanausbeuten von Topinamburkraut (vgl. Tab. 5-2).

<sup>7</sup> 558 dt TM/ha unter Hinzurechnung des Strohs.

<sup>8</sup> 314 (FF 5) bzw. 304 (FF 6) dt TM/ha unter Hinzurechnung des Strohs.

zu integrieren. Bei der Eingliederung von Ganzpflanzengetreide in die Energiefruchtfolgen sind die Wintergetreidearten (Wintertriticale, Artenmischung) den Sommergetreidearten (Sommergerste, Hafer) vorzuziehen. Die Eingliederung von Luzerne-Gras bietet für den Nährstoff- und Humushaushalt Vorteile. Günstig ist eine zweijährige Nutzung. Für den Zwischenfruchtanbau sind als Winterzwischenfrucht Grünschnittroggen und als Sommerzwischenfrucht Sorghum (b. x b.) und Einjähriges Weidelgras einsetzbar. Sowohl bei Luzerne-Gras als auch bei den Zwischenfrüchten ist mit starken Ertragsschwankungen in Abhängigkeit von den jährlichen Aufwuchsbedingungen zu rechnen.

### 3.2.6 Ascha (Bayern): Ackerfutter-Wintergersten- Region der Vor- und Mittelgebirge

#### Standortbeschreibung

Der Versuchsstandort Ascha liegt im Vorderen Bayerischen Wald auf 430 m über NN. Das langjährige Mittel des Jahresniederschlags beträgt 807 mm bei einer Jahresdurchschnittstemperatur von 7,5 °C. Der Boden mit einer Ackerzahl von 47 wechselt zwischen Braunerde und Pseudogley, wobei lehmige Sande die Bodenart bestimmen. Damit repräsentiert dieser Standort die Produktionsbedingungen der Verwitterungsböden der Vor- und Mittelgebirgslagen.

#### Ergebnisse

Beim Vergleich der Fruchtfolgen fallen

große Unterschiede in der Ertragsleistung auf. Fruchtfolgen mit einem hohen Anteil an C<sub>4</sub>-Pflanzen wie Mais und Sorghumhirsen erreichten die höchsten Trockenmasse-Erträge. Dabei schwankten die Maiserträge zwischen 160 und 260 dt TM/ha (2007) im Hauptfruchtanbau. Als Zweitfrucht erreichte Mais im Mittel 150 dt/ha, wobei hier die Trockensubstanzgehalte unter 25 % lagen. Im Vergleich dazu lieferte Sorghumhirse bei einem Saattermin zwischen Ende Mai und Mitte Juni Erträge zwischen 110 und 160 dt TM/ha. Aufgrund der niedrigen Wärmesumme war jedoch die Abreife bei Sorghumhirse nicht ausreichend, so dass das Erntematerial nur Trockensubstanzgehalte von 18 bis 23 % erzielte. Das Klee gras in Fruchtfolge 4 konnte eine gute und stabile Ertragsleistung mit einem über die Hauptnutzungsjahre gemittelten Ertrag von 130 dt TM/ha bei drei Schnitten aufweisen. Winterroggen zeigte Erträge von bis zu 135 dt TM/ha und war damit ähnlich produktiv wie Wintertriticale und Winterweizen in der Ganzpflanzennutzung. In ungünstigen Jahren (langer, kalter Winter; zu feuchtes Frühjahr) können Erträge dieser Fruchtfolgliedern allerdings deutlich niedriger liegen (70 dt TM/ha bei Winterweizen in 2006). Winterroggen, der für die zeitige Saat einer Zweitfrucht ca. 3 bis 4 Wochen früher geerntet wurde, zeigte mit 80 dt TM/ha entsprechend geringere Erträge. Als frühräumende Erstkultur vor Mais erreichte er jedoch zeitig ausreichende Trockensubstanzge-



halte und zeigte sich hier anderen Kulturen überlegen. Die Sommergetreide Hafer und Sommergerste lieferten nur bescheidene Ganzpflanzenerträge von ca. 65 dt TM/ha.

Durch die Abfolge von Winterroggen -Mais bzw. -Sorghum (b. x s.) wurden etwas höhere Trockenmasse-Erträge erzielt als in der Hauptfrucht-Nutzung von Mais. Es zeigte sich jedoch, dass eine Saatverzögerung bei der Bestellung der Zweitkulturen Mais oder Sorghum (b. x s.) hohe Ertragseinbußen durch die nicht mehr vollständig ablaufende Bestandesentwicklung verursacht. Die niedrigen Trockensubstanzgehalte bei der Ernte führen zudem zu höheren Transportkosten bei der Ernte sowie bei der Ausbringung der Gärreste. Bei Aussaatterminen ab Mitte Juni bieten sich stattdessen Futtergräser wie Einjähriges Weidelgras als Sommerzwischenfrucht an.

### Empfehlungen für die Praxis

In den bisherigen Ergebnissen zeigt sich hinsichtlich der Ertragsleistung deutlich die Überlegenheit von Mais. Deshalb soll-

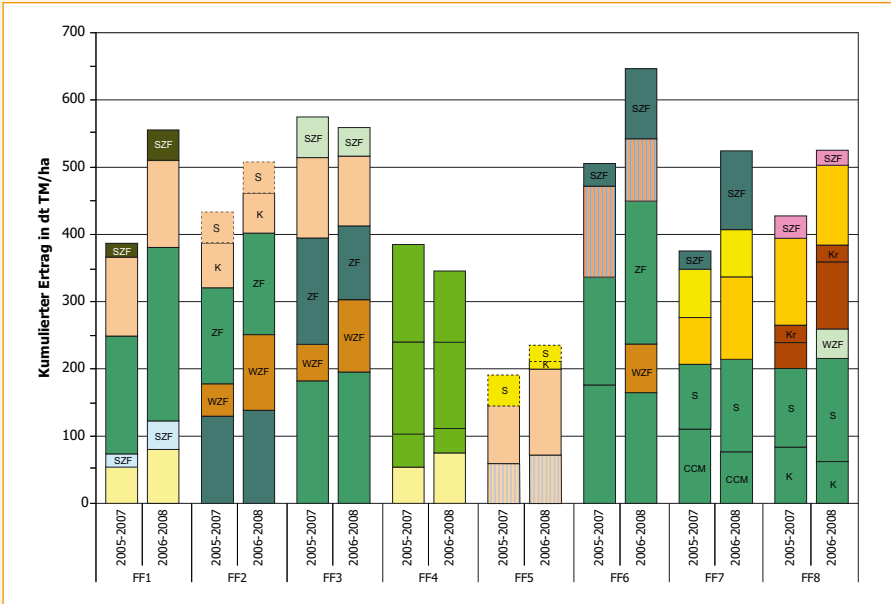


Abb. 3-7: Aufsummierte Trockenmasseerträge der getesteten Fruchtfolgen am Standort Ascha der ersten (2005 – 2007) und zweiten (2006 – 2008) Versuchsanlage.

te Mais auch in Zukunft eine tragende Rolle in der Fruchtfolgegestaltung im Energiepflanzenanbau in Bayern spielen. Ein Anbau als Zweitfrucht ist jedoch aufgrund der kurzen Vegetationszeit und der deswegen in kühlen Jahren späten Abreife in Ackerbauregionen der Vorgebirge nicht zu empfehlen.

Auch wenn Mais die wichtigste Kultur für die Biogasproduktion ist, sollte ein Fruchtfolgeanteil von über 50 % aufgrund der starken Humuszehrung dieser Kultur vermieden werden. In der ersten Fruchtfolgerotation hat sich die Fruchtfolge 3 (Mais - Winterroggen - Sorghum (b. x.s.) - Wintertriticale - Weidelgras)

durch ein hohes und stabiles Ertragsniveau bewährt. Die Kombination von Sommerungen und Winterungen mit unterschiedlichen Ernte- und Aussaatterminen bietet neben der Risikostreuung auch arbeitswirtschaftlich große Vorteile.

Neben Mais liefert auch mehrjähriges Klee gras hohe und stabile Methanhektarerträge. Insbesondere in höheren Lagen und auf hängigen Flächen, die erosionsgefährdet sind, sollten deswegen Ackerfuttermischungen verstärkt angebaut werden. Der Leguminosenpartner in diesen Mischungen kann in der Fruchtfolge dazu beitragen, Kosten für mineralische Stickstoffdünger zu verringern. Winter-

raps zeigte sich am Versuchsstandort in Ascha weder zur Körnerernte noch zur Ganzpflanzennutzung geeignet. Sorghumhybriden verfügen zwar über ein hohes Biomassebildungspotential, jedoch erreichen die aktuell verfügbaren Sorten meist keinen für die Silierung ausreichenden Trockensubstanzgehalt. Wer dennoch zur Risikominimierung diese trockenheitstolerante Kulturart in seine Fruchtfolge integrieren möchte, sollte auf frühreifende Sorten zurückgreifen.

### 3.2.7 Ettlingen (Baden-Württemberg): Körnermais-Sonnenblumen-Region

#### Standortbeschreibung

Der Versuchsstandort Ettlingen liegt in der Vorbergzone des nördlichen Schwarzwaldes im Landkreis Karlsruhe 170 m über NN in unmittelbarer Nähe zum Rheintal. Die Fläche ist als guter Lössstandort anzusprechen und weist eine terrassierte Hanglage mit deutlichen Ero-

sionsspuren auf. Der Standort ist prädestiniert für den Anbau von Mais zur Silo- bzw. Kornnutzung. Ackerzahlen über 60 und langjährige Durchschnittstemperaturen von 10 °C bzw. durchschnittliche Jahresniederschläge von 750 mm bieten nahezu optimale Klimabedingungen, um neben dem Anbau etablierter C<sub>4</sub>-Arten (v. a. Mais) neue, wärmeliebende und wassereffiziente Arten wie die verschiedenen Sorghumarten zur Biomasseerzeugung zu prüfen.

#### Ergebnisse

Die vorliegenden Ergebnisse zu den Trockenmasseerträgen der neun Fruchtfolgen bestätigen die Vorzüglichkeit der Sommerungen (Sommergetreidearten ausgenommen) hinsichtlich der Nutzung als Ganzpflanzensilage. Im Durchschnitt der Fruchtfolgen und Versuchsjahre erzielte Mais als Haupt- bzw. Zweitfrucht die höchsten TM-Erträge (211 dt). Sorghumhirschen können mit einem Ertrag von durchschnittlich 125 dt TM/ha in Zweikultur-Nutzung und Maximalerträgen als Hauptfrucht von 210 dt TM/ha (FF 6, 2005) als Alternative bzw. Ergänzung zum Maisanbau angesehen werden. Als Vorrucht bieten sich die Winterformen der Getreidearten Triticale und Roggen an, wobei der Erntezeitpunkt eine erhebliche Rolle hinsichtlich des TM-Ertrages spielt. Wintertriticale als Hauptfrucht (FF 1 und 3) erzielte Erträge von bis zu 125 dt TM/ha, wohingegen bei früheren Ernteterminen der beiden Kulturen (als Winterzwischenfrucht) Erträge zwischen 30 und 70 dt TM/ha erreicht wurden. Zusammen mit den darauf folgenden Zweikulturen (v. a. Mais, Sorghumhirschen)





konnten somit bis zu 271 dt TM/ha geerntet werden (2. Anlage FF 2, Winterroggen + Mais). Als Hauptfrucht realisierten Sonnenblumen bis zu 167 dt TM/ha und zeigten somit ebenfalls ein hohes Ertragspotenzial, auch wenn die jahresbedingten Schwankungen mit einer Halbierung des Ertrags im Folgejahr zu beachten sind. Die niedrigsten TM-Erträge als Hauptfrucht wurden von Sommergerste und Hafer (79 bzw. 85 dt TM/ha) und als Zweitfrucht von Hafer und Einjährigem Weidelgras (50 bzw. 43 dt TM/ha) im Mittel der Anlagen erreicht.

Insgesamt müssen bei der Fruchtfolge-Bewertung die großen witterungsbedingten Schwankungen zwischen den einzelnen Versuchsjahren beachtet werden. So konnten beispielsweise begünstigt durch ausreichend und optimal verteilte Sommerniederschläge im Jahre 2007 bis zu 255 dt TM/ha Mais geerntet werden, während im Jahr 2006 lediglich ein Maximalertrag von 178 dt TM/ha erreicht wurde, der jedoch im Vergleich zu den anderen Kulturen immer noch als hoch einzustufen ist.

Betrachtet man die kumulierten Erträge der Fruchtfolgen so erreichte die Fruchtfolge 7, die sowohl Silomais als auch Sorghum (b. x b.) und Wintertriticale beinhaltet, vor dem abschließenden Fruchtfolgeglied Winterweizen einen TM-Ertrag von 606 dt TM/ha in der Erstanlage. In der um ein Jahr versetzten

Rotation der Fruchtfolge erreichte die gleiche Fruchtfolge aufgrund vergleichsweise niedriger Sonnenblumen- und Maiserträge im Jahr 2006 und 2008, lediglich 475 dt TM/ha. Die hohen Maiserträge des Jahres 2007 spiegeln sich dagegen in den hohen Gesamterträgen der Fruchtfolgen 1 mit 553 dt TM/ha und 2 mit 462 dt TM/ha<sup>9</sup> in der Doppelanlage wider. Im Vergleich zu den hohen jahresbedingten Schwankungen der C<sub>4</sub>-Pflanzen-basierten Fruchtfolgen war der kumulierte Ertrag des Luzernegrasanbaus und der getreidebasierten Fruchtfolge (FF 5) zwischen den zeitversetzten Anlagen konstant, wenn auch auf sehr niedrigem Niveau, bei 350 dt TM/ha bzw. 215 dt TM/ha.<sup>10</sup>

Im Mittel der beiden Anlagen konnten die Fruchtfolgen 1 (Sommergerste, Ölrrettich, Mais, Wintertriticale, Sorghum (b. x b.)) und 7 (Sonnenblume, Wintertriticale, Sorghum (b. x b.), Mais) bzw. 8 (Mais, Winterroggen, Körnermais, Mais) die höchsten Trockenmasse-Erträge in Höhe von 540 dt TM/ha erzielen.

Einerseits bestätigen sich somit die Vorteile, Mais an diesem Standort zur Biomasseerzeugung anzubauen, andererseits werden aber auch Alternativen aufgezeigt, um mit einer abwechslungsreich gestalteten Fruchtfolge hohe Erträge zu erzielen. Vorteile einer mannigfaltigen Fruchtfolgegestaltung wären die größere Risikostreuung und die Möglichkeit Gärreste zu unterschiedlichen Zeitpunkten in der Vegetation auszubringen und somit Lager- und Siloraum zu optimieren. Ökologische Vorteile ge-

<sup>9</sup> 518 dt TM/ha unter Berücksichtigung des Stroh.

<sup>10</sup> Ca. 250 dt TM/ha unter Berücksichtigung des Stroh.



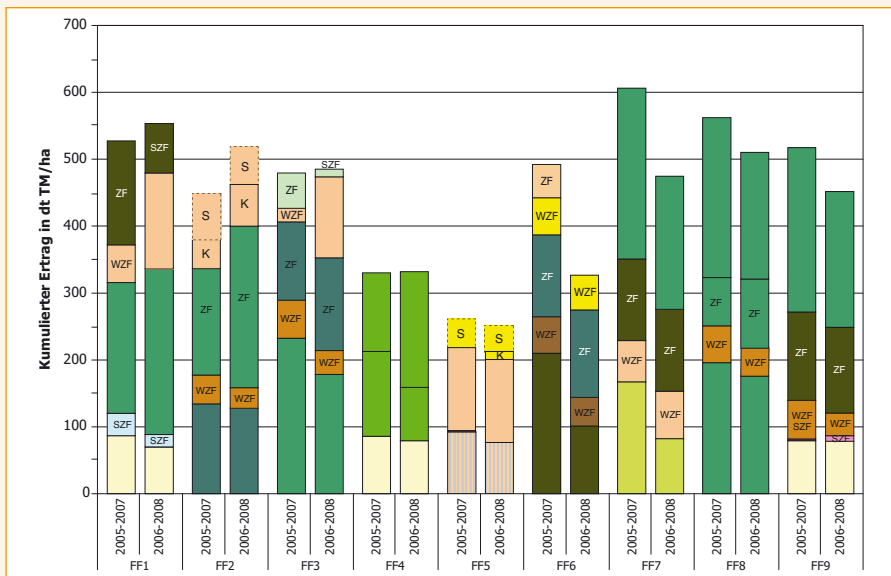


Abb. 3-8: Aufsummierte Trockenmasseerträge der getesteten Fruchtfolgen der ersten (2005 – 2007) und zweiten (2006 – 2008) Versuchsanlage am Standort Ettlingen.

hen ebenfalls mit abwechslungsreichen Fruchtfolgen einher, wie zum Beispiel eine ganzjährige Bodenbedeckung oder eine höhere Biodiversität auf der landwirtschaftlichen Nutzfläche (vgl. Kap. 6). Inwieweit diese Vorteile die eventuellen ökonomischen Nachteile, die durch mehrere Bearbeitungsgänge entstehen, ausgleichen können, muss von Fall zu Fall in die langfristigen Überlegungen zur Fruchtfolgegestaltung mit einfließen.

### Empfehlungen für die Praxis

Generell ist auf warmen Standorten mit guten Böden und ausreichender Wasserversorgung der Anbau von Mais zur Biomasseproduktion zu empfehlen. Darüber hinaus weisen die Ergebnisse der einzel-

nen Fruchtfolgen im Mittel der Rotationen auf die Ertragsstärke anderer C<sub>4</sub>-Arten (Sorghumhirsen) hin. Der Vorruchanbau einer Wintergetreideart kann neben der Steigerung der Erträge sowohl zum Erosionsschutz als auch zur Steigerung der Biodiversität beitragen. Diese Zweikultur-Nutzung ist jedoch nur bei



ausreichenden Niederschlägen (oder gegebener Bewässerungsmöglichkeit) zur Aussaat der Zweitfrucht ertragreicher als der Anbau einer Sommerung in Hauptfruchtstellung. Aus betriebswirtschaftlicher Sicht ist durch die höheren Kosten bei zwei Kulturen pro Jahr in den meisten Fällen die Hauptkultur-Nutzung der Zweikultur-Nutzung vorzuziehen. Unter Berücksichtigung dieser zentralen Ergebnisse kann für warme und mit ausreichend Wasser versorgte Anbaugelände geschlussfolgert werden, dass eine über die Jahre stabile Biomasse-Produktion durch den nachhaltigen Anbau einer C<sub>4</sub>-Pflanzen-basierten Fruchtfolge mit Auflockerungen durch Vorfrüchte und alternativen Kulturen sichergestellt werden kann.

### 3.3 Standortübergreifende Betrachtung

#### 3.3.1 Fruchtfolgeerträge und -wirkungen auf das Abschlussfruchtfolgeglied

Eine über die Standorte gemittelte Übersicht der kumulierten Erträge zeigt die unterschiedlichen Ertragspotenziale der Fruchtfolgen 1 bis 5 (vgl. Abb. 3-9).

Im Mittel beider Versuchsanlagen liegt der Gesamttrockenmasseertrag der C<sub>4</sub>-Pflanzen-betonen Fruchtfolge 3 über dem der Fruchtfolgen 1 und 2 und deutlich über dem der mehrjährigen Nutzung von Luzerne- bzw. Klee gras (Fruchtfolge 4). Die geringsten Biomasseerträge erreich-

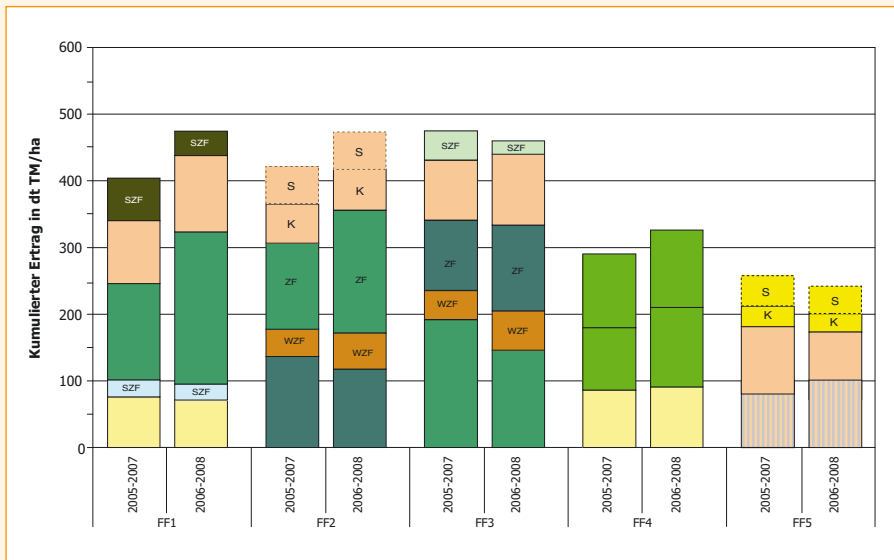


Abb. 3-9: Gesamttrockenmasseerträge der im Fruchtfolgeversuch einheitlich angebauten Fruchtfolgen im Mittel aller Standorte, erste (2005 – 2007) und zweite Versuchsanlage (2006 – 2008).

te die Ganzpflanzengetreide-Raps-betonte Fruchtfolge 5. Dabei ist hervorzuheben, dass diese Fruchtfolge mit Raps ein Fruchtfolglied aufweist, welches auf Maximierung der gewinnbaren Ölmenge und deren Qualität, nicht auf Maximierung des Gesamt-Biomasseertrages ausgerichtet ist.

Neben den unterschiedlichen Ertragspotenzialen fallen die Ertragsschwankungen der unterschiedlichen Fruchtfolgen bzw. auch die zugrunde liegenden Jahresschwankungen der Einzelerträge auf. Während Fruchtfolge 3 ihre Spitzenposition vor allem aufgrund eines vergleichbar hohen Ertragsniveaus in beiden Versuchsanlagen erreichte, zeigten Fruchtfolgen 1 und 2 deutliche Unterschiede in den Versuchsanlagen. Zu erklären ist dies insbesondere durch die witterungsbedingten Ertragsschwankungen von Mais (vgl. Abb. 3-13).

Dabei ist darauf zu verweisen, dass **Fruchtfolge 3** diejenige der deutschlandweit einheitlich untersuchten Standardfruchtfolgen war, die auf allen Standorten als ertragsstark charakterisiert wurde. Der Vergleich zwischen den Standorten zeigt daher auch die Spanne der Ertragspotenziale, die in Deutschland unter den verschiedenen bodenklimatischen Bedingungen zu erzielen ist. So reicht die Spanne von 336 dt TM/ha am trocken-sandigen Standort Güterfelde bis hin zu 560 bzw. 570 dt TM/ha in Gülzow bzw. Ascha. Verglichen mit den Erwartungen vor Beginn des Projekts überrascht insbesondere das hohe Ertragspotenzial des Vorgebirgsstandortes Ascha, wobei ein Er-

klärungsansatz in den gegenüber dem langjährigen Mittel deutlich erhöhten Temperaturen der Versuchsjahre liegt.

Unter den einzelnen Fruchtfolgliedern erreichte Mais an allen Standorten den höchsten Ertrag. Die für den Maisanbau ungünstigen Witterungsbedingungen des Jahres 2006 spiegeln sich vor allem an den am stärksten von der Trockenheit betroffenen Standorten in Ostdeutschland wider, an denen jedoch im Folgejahr gute Erträge der Kombination Grünschnittroggen - Sorghum (b. x s.) einen Ausgleich bewirken konnten. Sorghum und Wintertriticale (GPS) realisierten meist ähnliche Erträge. Einjähriges Weidelgras konnte an den verschiedenen Standorten kaum erntewürdige Ergebnisse bieten. Nur an den Standorten Werlte und Ascha bzw. in den Jahren, in denen ausreichende Niederschläge zur Verfügung standen (2007), lagen die Erträge dieser Zwischenfrucht oberhalb von 50 dt TM/ha.

In den **Fruchtfolgen 1 und 2** war die Spanne der kumulierten Erträge zwischen Standorten mit mittlerer bzw. hoher Bodengüte und den trocken-sandigen Standorten vergleichbar mit der von Fruchtfolge 3. Bei dem Vergleich der Versuchsanlagen stechen insbesondere die Ertragsschwankung von Mais, sowohl in Hauptfruchtstellung als auch nach Grünschnittroggen zwischen den Jahren 2006 und 2007 heraus. Alle anderen Versuchsglieder, insbesondere die Getreidearten, weisen keine derartigen Schwankungen auf. Mit der Kombination Mais und Wintertriticale (GPS) konnten an den einzelnen Standorten gute Erträge, zwischen

213 und 280 dt TM/ha erzielt werden. Der Anbau von Sommerzwischenfrüchten lieferte keine zufrieden stellenden Erträge. Ölrettich als Sommerzwischenfrucht erreichte Erträge zwischen 18 und 32 dt TM/ha. Wegen des niedrigen Ertrages und des geringen Trockensubstanzgehaltes verblieb die Zwischenfrucht zur Humusreproduktion auf der Fläche. Auch der als Sommerzwischenfrucht Ende Juni/Anfang Juli gedrillte Sorghum (b x b) konnte weder zufrieden stellende Ertragsergebnisse noch zur Silierung ausreichende TM-Gehalte erreichen.

Im Rahmen der **Ganzpflanzengreide-Raps-Fruchtfolge (FF 5)** führte das Fehlen von massestarken C<sub>4</sub>-Pflanzen und die entgegen der Erwartungen geringen Ganzpflanzenerträge der Hafer-sortenmischung zusätzlich zur Einbindung der Marktfrucht Raps zu einem geringen Biomasseertrag. Raps konnte andererseits als hochwertige Marktfrucht an den besseren Standorten Ostdeutschlands mit guten Kornerträgen punkten.

In **Fruchtfolge 4** zeigte der Versuch, Klee- bzw. Luzernegras als Untersaat in Sommergetreide zu etablieren, an den verschiedenen Standorten unterschiedliche Erfolge. An den besser wasserversorgten Standorten war die Etablierung erfolgreich und es konnte bereits im Etablierungsjahr ein nutzbarer Schnitt erfolgen. Dennoch lagen die Ergebnisse an allen Standorten unter denen der Fruchtfolgen 1 – 3, aber auch unter den Ergebnissen des Satellitenversuches „Ackerfutttermischungen“ (vgl. Kap. 3.3.3).

### Regionalfruchtfolgen

Zur Abrundung des Fruchtfolgeversuches wurden neben den fünf einheitlichen Standardfruchtfolgen, je Standort drei bis vier Regionalfruchtfolgen (vgl. Anlage 1; S. 113 – 114) angebaut. Diese dienen zur Prüfungen von Fruchtartenkombinationen, die aus den Erfahrungen der Versuchsansteller besonders an die speziellen Standortverhältnisse angepasst sind, zur Beantwortung spezieller Fragestellungen oder zur Schaffung einer Referenzbasis zur Bewertung der anderen Fruchtfolgen (z. B. FF 7 in Thüringen mit Mais in reiner Selbstfolge über drei Jahre, siehe unten). Verglichen mit der Standardfruchtfolge 3 konnten in Werlte, Ascha, Dornburg und Ettlingen mit einzelnen Regionalfruchtfolgen höhere Erträge erzielt werden.

Besonders ertragreich war die am Standort Werlte untersuchte mehrjährige Kombination aus Mais und Grünschnittroggen (Fruchtfolge 6), die mit ca. 600 dt TM/ha, d. h. durchschnittlich 200 dt TM je Hektar und Jahr, das höchste Ertragsniveau aller im EVA-Verbund getesteten Fruchtfolgen entwickeln konnte.

Dass ein aus ökologischer und langfristiger auch aus pflanzenbaulicher Sicht (Humusbilanz, Schaderregerproblematik) problematischer, überproportional hoher Maisanteil in den Fruchtfolgen nicht an allen Standorten einen deutlichen Ertragsvorteil gegenüber gemischten Fruchtfolgen haben muss, zeigt hingegen der Vergleich von Fruchtfolge 7 (Mais - Mais - Mais) und Fruchtfolge 3 am Standort Dornburg. In Ettlingen

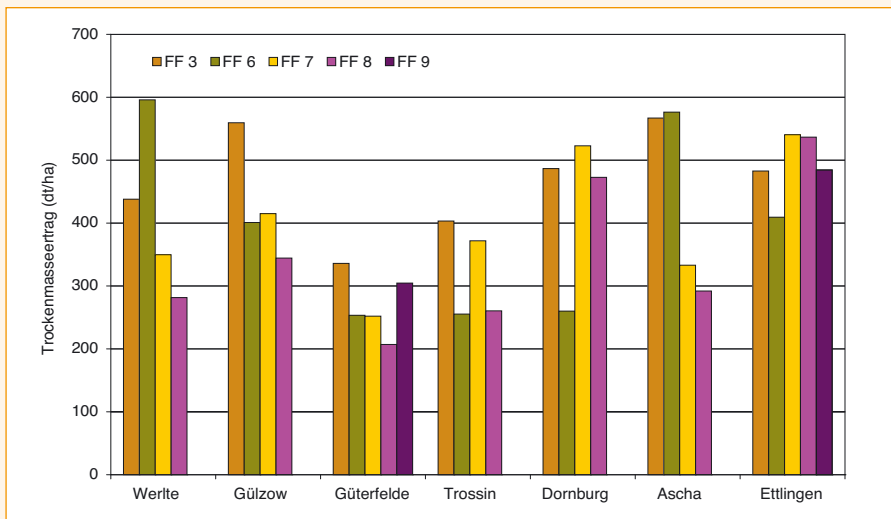


Abb. 3-10: Vergleich der Gesamttrockenmasseerträge der Fruchtfolge 3 zu den Regionalfruchtfolgen an den einzelnen Standorten, Mittel aus erster und zweiter Versuchsanlage (A I/A II).

konnte neben der stark maisbetonten Fruchtfolge 8 auch eine Kombination aus Sonnenblume, Wintertriticale, Sorghum und Mais (Fruchtfolge 7) maximale Erträge erzielen.

#### Winterweizen- und Winterroggenerträge

Alle Fruchtfolgen wurden mit Winterweizen bzw. Winterroggen (Güterfelde, Trossin) als Marktfucht abgeschlossen, um unter anderem Fruchtfolgeeffekte hinsichtlich Ertrag und Qualität herauszustellen. In Abbildung 3-11 sind die Kornerträge an den einzelnen Standorten im Mittel der Jahre 2008 und 2009 dargestellt. Eine Wirkung der Vorfrucht auf den Ertrag ist vor allem in Dornburg und Ascha, aber auch in Güterfelde und Gülzow zu erkennen.

Nach Wintertraps wurde der höchste Kornertrag erzielt, was sich mit der guten Vorfruchtwirkung erklären lässt, wohingegen nach Wintertriticale (Korn) ein Ertragsrückgang zu erkennen war, welcher auf eine mögliche Krankheitsübertragung hindeutet.

Bislang sind auf Basis der ersten Rotation nur eingeschränkte Aussagen über die Wirkung der gesamten Fruchtfolgen möglich. Anhand der Ergebnisse deutet sich jedoch eine direkte Wirkung der unmittelbaren Vorfrucht an. Im Durchschnitt der Standorte war festzustellen, dass nach Fruchtfolge 5 ein um 8,7% höherer Ertrag gegenüber dem Mittel der anderen Fruchtfolgen vorliegt. Nach Wintertriticale als Marktfucht waren die Er-



träge geringer als in den anderen Fruchtfolgen. So erzielte der Weizen in Fruchtfolge 2 gegenüber dem Mittel der anderen Fruchtfolgen einen Minderertrag von fast 10 %. Der gegenüber Fruchtfolge 3 und 4 leicht geringere Ertrag in Fruchtfolge 1 ist statistisch nicht gesichert. Es deutet sich allerdings an, dass Sorghum als Sommerzwischenfrucht nicht geeignet ist, um Krankheitsketten, beispielsweise von Fusarien, zu unterbrechen.

Diese noch vorläufigen Ergebnisse müssen über einen weiteren Durchlauf der Fruchtfolgen abgesichert werden. Zur phytosanitären Wirkung der Fruchtfolgegestaltung erfolgt eine Zusammenarbeit mit dem von der Universität Rostock koordinierten Verbundvorhaben „Untersuchungen zu Fruchtfolgen mit Energiepflanzen als ein Beitrag zur Reduktion des Pflanzenschutzmitteleinsatzes im Ackerbau“, das ebenfalls im Rahmen des

Förderprogramms Nachwachsende Rohstoffe umgesetzt wird.

### 3.3.2 Artenvergleich

#### Nährstoffentzüge

Durch Pflanzenanalysen lassen sich die je nach Kulturart unterschiedlichen Entzüge der Elemente Stickstoff, Kalium, Kalzium, Phosphor, Magnesium und Schwefel aus dem Boden bestimmen (vgl. Abb. 3-12). Klee gras, Einjähriges Weidelgras, Luzernegras und Ölrettich entziehen dem Boden alle aufgeführten Nährstoffe in hohem Maße. Die bei fast allen Elementen höchsten Entzüge je kg gebildeter Trockenmasse liegen bei der Sommerzwischenfrucht Ölrettich vor.

Topinamburkraut entzieht dem Boden im Vergleich der Kulturarten die größte Menge Magnesium. Durch hohe Entzüge

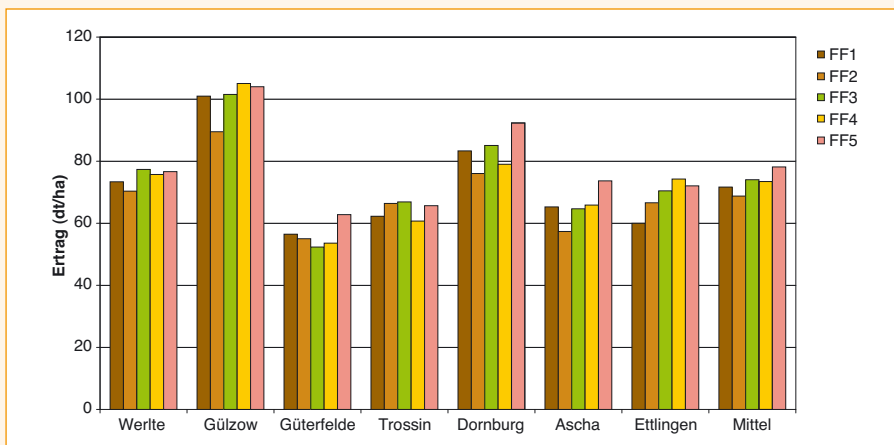


Abb. 3-11: Kornserträge Winterweizen bzw. Winterroggen. Dargestellt ist das Mittel der Abschlussfruchtfolgeglieder beider Versuchsanlagen 2008 und 2009. 86 % TM

der Nährstoffe Kalzium und Magnesium fällt ebenfalls die Sonnenblume auf. Mais kann in Bezug auf alle Nährstoffe durch niedrige Entzüge punkten.

Für die Versorgung der am Gasbildungsprozess beteiligten Bakterien ist die Zufuhr von Mineralstoffen, wie z.B. Kalzium notwendig. Zu hohe Gehalte im Substrat können aber auch mit Problemen verbunden sein: Beispielsweise können hohe N-Gehalte zu einer Hemmung des Gärprozesses oder hohe Schwefelgehalte zur Bildung von korrosivem Schwefelwasserstoff führen.

### Mais und Sorghumarten in Hauptfruchtstellung

Anhand der vorliegenden Ergebnisse wird deutlich, dass Mais die ertragsstärkste der in EVA untersuchten Kulturpflanzen für die Biogasproduktion ist. In Gülzow, Ettlingen und Ascha wurden mit > 200 dt TM/ha die höchsten Maiserträge

erzielt. Werlte, Dornburg und Trossin befinden sich mit 160 dt TM/ha auf einem ähnlichen Ertragsniveau. In Güterfelde lag das Ertragsniveau bei 140 dt TM/ha. Vor allem im Versuchsjahr 2007 wurden hohe Erträge an den Standorten erzielt.

Eine umfangreich diskutierte und auch bereits recht erfolgreich in die Praxis eingeführte Alternative zu Mais stellen die Sorghumarten dar, von denen im Versuch Sorghum (*bicolor x sudanense*) zum Anbau kam. Abbildung 3-13 zeigt eine Gegenüberstellung der erzielten Erträge beider Fruchtarten in Hauptfruchtstellung. Für die Jahre 2005 und 2006, in denen ein direkter Vergleich möglich war, wird ersichtlich, dass Sorghum (b. x s.) besonders im Jahr 2006 an dem trockenen Standort Güterfelde eine Alternative zur Biomasseproduktion darstellte. Auch für die Standorte Trossin und Dornburg ist Sorghum als mögliche Ergänzung zum

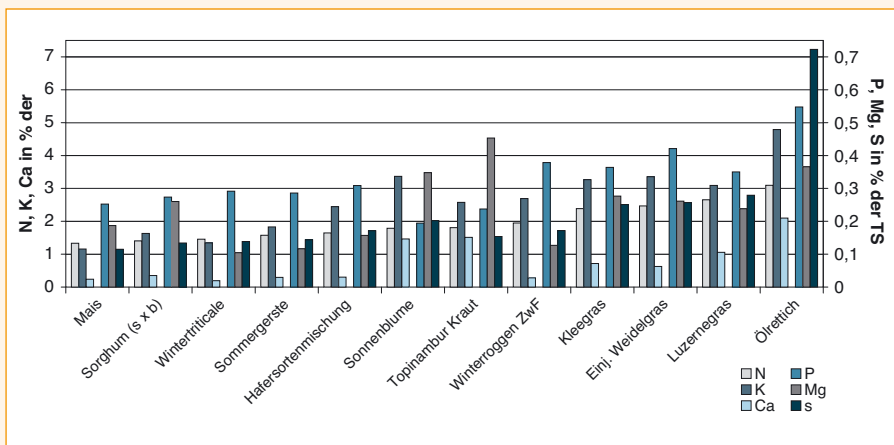


Abb. 3-12: Nährstoffgehalte der Pflanzen in % der Trockenmasse verschiedener im Fruchtfolgeversuch angebaute Kulturarten.

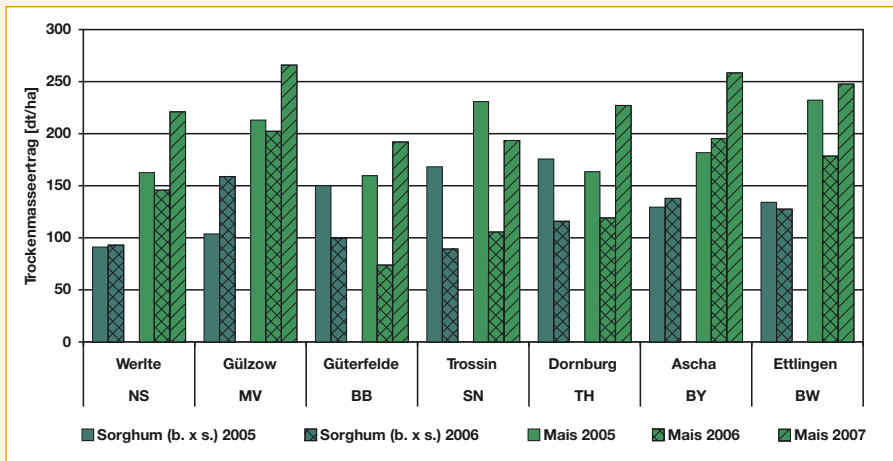


Abb. 3-13: Trockenmasseertrag von Mais und Sorghum (*bicolor x sudanense*) in Hauptfruchtstellung an den verschiedenen Standorten.

Mais einzustufen. Dabei ist auf die stark ausgeprägten witterungsbedingten Mindererträge bei Mais im Jahr 2006 auf Standorten der Roggen-Kartoffel-Region zu verweisen.

Hinsichtlich der Interpretation der Ergebnisse ist insgesamt auch zu berücksichtigen, dass Silomais über Jahrzehnte hinweg in umfangreichen Züchtungsprogrammen optimiert wurde. Die Standortreignung der Maissorten kann über das Reifegruppendesystem abgeschätzt werden. Die Nutzung von Sorghumarten für die Produktion von Ganzpflanzensilagen wird hingegen erst seit wenigen Jahren praktiziert und die kommerzielle Züchtung zu Sorghum befindet sich noch in den Anfängen. Insofern fehlen Informationen und Erfahrungen zur Standortreignung des Sortenmaterials. Hier besteht erhebliches Optimierungspotential. Er-

gänzend werden daher in thematisch ähnlich gelagerten BMELV-Projekten sowohl Sorghumhirsen als auch weitere Kulturen geprüft, die als Maisalternative herangezogen werden können. Als ein sehr vielversprechendes Beispiel aus der vom BMELV über die FNR geförderten Forschung, sind die von der Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft koordinierten Aktivitäten zur Durchwachsenden Silphie (*Silphium perfoliatum* L.) zu nennen.

#### Kombination von Winterzwischenfrucht Grünschnittroggen und Mais bzw. Sorghumarten als Zweitfrucht

Neben dem Anbau von Mais und Sorghum in Hauptfruchtstellung erfolgte im Versuch auch der Anbau in Zweitfruchtstellung (ZF) nach Grünschnittroggen. Der Grünschnittroggen wurde zum Zeitpunkt des Grannenspitzens (BBCH 49)

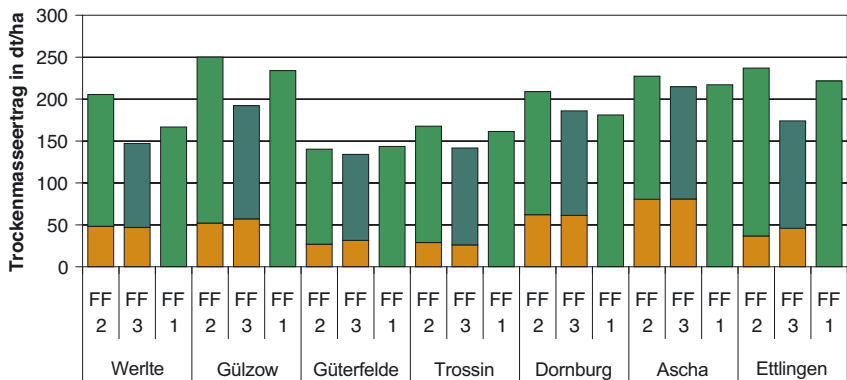


Abb. 3-14: Gegenüberstellung der Trockenmasseerträge der Kombination Grünschnittroggen-Mais (FF 2), Grünschnittroggen-Sorghum (s. x b.) (FF 3) und Mais (Hauptfrucht), Mais Mittel der Jahre 2005 und 2006.

bzw. zu Beginn des Ährenschiebens geerntet und zur Verwertung angewelkt.

Die zweijährigen Ergebnisse verdeutlichen, dass mit Mais in Zweitfruchtstellung an allen Standorten höhere Erträge als mit Sorghum (b. x s.) erreicht wurden (vgl. Abb. 3-14). Die Ertragsdifferenzen in Güterfelde (6 dt TM/ha) und Ascha (13 dt TM/ha) fielen am geringsten aus. Größere Unterschiede waren in Werlte und Gülzow (jeweils 58 dt TM/ha) und Ettlingen (63 dt TM/ha) zu verzeichnen. Die viel zitierte Spätsaatverträglichkeit von Sorghumarten war in den vorliegenden Untersuchungen für diese Anbaukombination nicht eindeutig nachweisbar. Deutlich wurde auch, dass nur in wenigen Fällen mit der Kombination Grünschnittroggen und Sorghum (b. x s.) höhere Gesamterträge als mit Mais in Hauptfruchtstellung erreicht werden konnten. Während am Standort Güter-

felde auch mit der Kombination Grünschnittroggen – Mais gegenüber Mais in Hauptfruchtstellung keine Ertragssteigerung realisiert werden konnte, liefert die Kombination an gut wasserversorgten Standorten (Werlte) und Standorten mit hoher Feldkapazität (Dornburg) Mehrererträge.

### Ganzpflanzengetreide

Neben Mais und Sorghumhybriden waren verschiedene als Ganzpflanzen nutzbare Getreidearten ein wichtiger Bestandteil in den untersuchten Fruchtfolgen. So wurden Sommergerste, Sommerroggen, Hafersortenmischung und Wintertriticale in die Fruchtfolgen integriert. Anhand der Ertragsdaten wird ersichtlich, dass mit Wintertriticale an allen Standorten höhere Erträge als mit den Sommergetreidearten erzielt werden konnten. Insgesamt betrachtet erreichten die Winte-



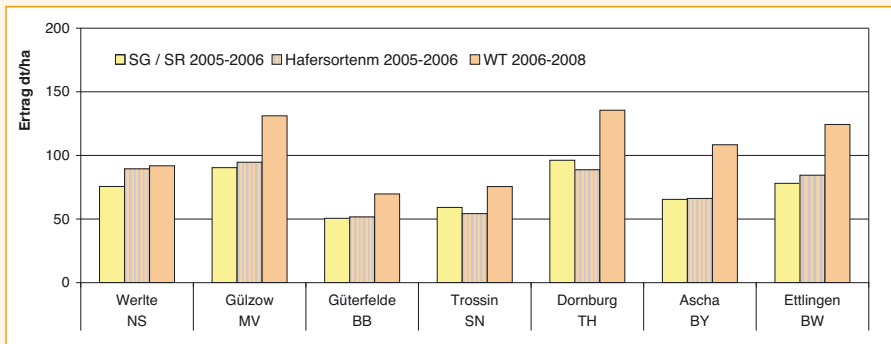


Abb. 3-15: Trockenmasseerträge von Ganzpflanzengetreide an den einzelnen Standorten. Sommergetreidearten Mittel aus 2005 und 2006, Wintertriticale Mittel aus 2006 bis 2008.

rungen in Gülzow, Dornburg und Ettlingen relativ hohe Ganzpflanzenerträge. Überrascht hat der starke Ertragsabfall auf den ostdeutschen Diluvialstandorten,<sup>11</sup> aber auch am Standort Werlte waren die Erträge eher unbefriedigend.

### Anbau von Sommer- und Winterzwischenfrüchten

In einzelne Fruchtfolgen wurden verschiedene Sommer- und Winterzwischenfrüchte integriert. Als Sommerzwischenfrüchte kamen Ölrettich, Sorghum (b. x b.) und Einjähriges Weidelgras zum Anbau. Insgesamt betrachtet, sind die Erträge der Sommerzwischenfrüchte gering ausgefallen und der optimale Trockensubstanzgehalt zur Silierung wurde in keinem Fall erreicht. Mit Ölrettich wurden im Abhängigkeit vom Standort Erträge zwischen 20 und 31 dt TM/ha bei einem TM-Gehalt von 8 bis 13 % erzielt. Es ist demzufolge sinnvoll, diesen als

Gründung zur Humusreproduktion auf der Fläche zu belassen. Mit 14 bis 54 dt TM/ha lagen die Erträge von Sorghum (b x b) als Zwischenfrucht in einer weiten Spanne und im Durchschnitt deutlich über dem Ölrettich, jedoch konnten auch hier nur TS-Gehalte zwischen 15 und 24 % realisiert werden. Ein ähnliches Bild ist bei dem einjährigen Weidelgras zu erkennen. Es wurden Erträge zwischen 23 und 52 dt TM/ha bei einem TM-Gehalt zwischen 14 und 24 % erzielt.

Mit der Winterzwischenfrucht Grünschnittroggen waren Erträge zu erreichen, die im Durchschnitt über dem Niveau von Sorghum als Zwischenfrucht lagen. Die Erträge variierten zwischen 27 und 81 dt TM/ha bei einem TM-Gehalt von 17 bis 30 %. Im Vergleich mit den geringen Trockenmasseerträgen und -gehalten der übrigen Zwischenfrüchte sind Gräser und Grünschnittroggen vorteilhaft, zu-

<sup>11</sup> Zu erwähnen ist die über den Anbau von standortangepassten Roggensorten in Trockenjahren um ca. 10 % höhere Ertragsersparnis gegenüber Wintertriticale.

mal sich hier die bei Zwischenfrüchten geringen Trockenmassegehalte durch Anwelken auf den für die Silierung erforderlichen Bereich steigern lassen.

### 3.3.3 Ackerfutter

Mit dem Anbau mehrjähriger Ackergräser wird im Rahmen des Verbundprojektes das Ziel verfolgt, die Eignung von Ackergrasmischungen und Leguminosen-Gras-Gemengen für die energetische Nutzung unter den unterschiedlichen regionalen Standortbedingungen zu ermitteln. Dazu wurden zusätzlich zum Fruchtfolgeversuch in Brandenburg (2 Standorte), Thüringen (4 Standorte) und Niedersachsen (4 Standorte) unterschiedliche Mischungen angesät, die in jeweils zwei unterschiedlichen Nutzungsregimen geprüft wurden. Zum Einen erfolgte eine intensive Nutzung mit

4 bis 5 Schnitten pro Jahr, zum Anderen wurden die Mischungen extensiver behandelt, indem nur 3 bis 4 Schnitte durchgeführt wurden. (vgl. Kap. 5.2.2). Während in Niedersachsen schwerpunktmäßig Weidelgras-betonte Mischungen mit vorwiegend kurzlebigen Arten wie z. B. Welschem Weidelgras ausgewählt wurden, dominierten in Thüringen und Brandenburg ausdauernde Ansaatmischungen. In allen Bundesländern ist lediglich die Mischung A3, bestehend aus Welschem Weidelgras, Bastardweidelgras und Deutschem Weidelgras, identisch. Sie fungiert als Referenzmischung bei der Beurteilung der einzelnen Standorte.

### Ergebnisse

Hinsichtlich der unterschiedlichen Mischungen liegen in den einzelnen Bundesländern erhebliche Ertragsunterschiede vor. Abb. 3-16 zeigt die Erträge der Vergleichsmischung A3 an den ver-

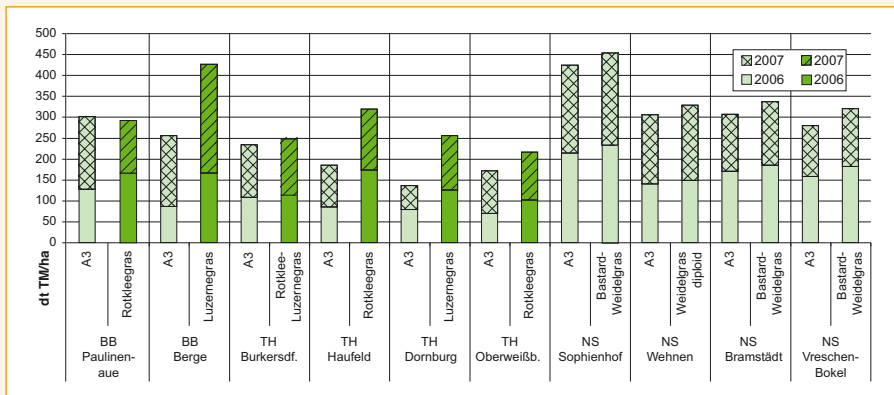


Abb. 3-16: Erträge der Ackerfutmischungen mit reduzierter Schmitthäufigkeit 2006 und 2007 an Standorten in Brandenburg, Thüringen und Niedersachsen; dargestellt ist die Vergleichsmischung A3 und die jeweils ertragsstärkste Mischung.



schiedenen Standorten und die jeweils ertragreichste Mischung im Vergleich. Während in Niedersachsen die Weidelgrasmischungen Vorteile aufweisen, schneiden in Brandenburg und Thüringen die ausdauernden Mischungen mit Luzerne- bzw. Rotkleeanteilen besser ab. Hinsichtlich der Nutzungsregime konnte durch eine reduzierte Schnitthäufigkeit (4 statt 5 Schnitte pro Jahr) auf fast allen Standorten und Mischungen ein mittlerer Mehrertrag von knapp 10 % erzielt werden; auf Einzelstandorten (Sophienhof, 2007) bis zu 27 %. Die veränderten Substrateigenschaften und deren Einfluss auf die Biogasausbeute sind allerdings entsprechend zu berücksichtigen (siehe Kap. 5.2.2).

#### **Empfehlungen für die Praxis**

Mit der Verwendung standortangepasster Ackerfuttermischungen lassen sich hohe Trockenmasseerträge je Hektar erzielen. Eine reduzierte Schnittfrequenz liefert höhere TM-Erträge als die intensive Schnittnutzung. Im maritimen Klima bieten weidelgrasbetonte Mischungen Vorteile, während die Luzernegrasmischungen eher auf trockenen Standorten

überzeugen. Mit der Einbindung von standortangepassten, kurzlebigen Ackerfuttermischungen in Energie-Fruchtfolgen gelingt es, die Vegetationszeit optimal zu nutzen und ökologische Aspekte, z. B. die Humusreproduktion, mit zu berücksichtigen. Dazu zählt auch der Sommer- und Winterzwischenfruchtanbau von Ackergräsern. Positive Erfahrungen durch die Einbindung von Gräsermischungen sind an einzelnen Standorten des Grundversuches (Fruchtfolge 4 in Bayern, Niedersachsen und Baden-Württemberg) erkennbar. Der Anbau ausdauernder Ackerfuttermischungen kann auf Standorten interessant sein, wo Sommerungen, wie Mais oder Hirse, ertraglich keine Vorteile bieten bzw. Abreife- und Ernteprobleme im Herbst bestehen. Bei steigenden Markterlösen auf ackerfähigen Standorten wird in bestimmten Regionen zudem die energetische Nutzung von Grasaufwüchsen von Dauergrünlandstandorten an Bedeutung gewinnen.

## **3.4 Alternative Anbausysteme**

### **3.4.1 Zweikultur-Nutzungssystem**

Die nachhaltige Substitution möglichst hoher Anteile an fossiler Energie durch nachwachsende Rohstoffe setzt voraus, leistungsfähige Sorten unserer Kulturpflanzen anzubauen und die verfügbare Fläche durch eine Frucht- bzw. Kulturartenfolge mit geringen Brachezeiten optimal auszunutzen, wobei ökologische Aspekte konsequent zu berücksichtigen sind.

Ein innovatives, auf Nachhaltigkeit ausgerichtetes Anbaukonzept ist das **Zweikultur-Nutzungssystem**. Dieses wurde in Anlehnung an das Konzept „Grünschnittroggen gefolgt von Silomais“ durch eine Verschiebung von Ernte und Saatzeiten entwickelt. Eine wichtige Zielstellung des Systems ist der Anbau einer breiten Palette von Kulturarten unter weitgehendem Verzicht auf den Einsatz von chemischen Pflanzenschutzmitteln.

Die Grundlage des Zweikultur-Nutzungssystems bildet der Anbau der Winterformen von Getreide, Raps, Rübsen, Körnerleguminosen bzw. von Gemengen als Erstkulturen, die in der generativen Phase nahe dem Maximum ihres Ertrages zur Silagebereitung geerntet werden. Unmittelbar darauf folgend werden nach flacher Bodenbearbeitung oder mittels Direktsaat als Zweikulturen verschiedene

Sommerungen, wie Mais, Sorghumhirsen, Sonnenblumen, Mais/Sonnenblumen-Gemenge, Hanf, Amarant oder ein Mais/Sonnenblumen/ Amarant-Gemenge, angebaut. Im Herbst werden diese wie die Erstkulturen zur Silagebereitung geerntet und danach direkt als Substrat zur Biogasbereitung eingesetzt. Ein weiterer möglicher Nutzungspfad ist die thermische Wandlung (Verbrennung, Vergasung, BTL). Hier kann der angestrebte möglichst niedrige Mineralstoffgehalt im Festbrennstoff durch eine mechanische Entwässerung der Silagen erreicht werden. Die verbleibende Flüssigphase kann für die Nährstoffversorgung auf die landwirtschaftlichen Flächen ausgebracht oder bei ausreichend hohem Energiegehalt auch als Substrat für Biogasanlagen dienen.

In dreijährigen Versuchen (2006 – 2008) an sieben Standorten im Bundesgebiet

Tab. 3-2: *Versuchsvarianten im Systemversuch mit Kulturarten und angestrebtem Entwicklungsstadium zur Ernte (BBCH-Code) [ \*] Senf als Sommerzwischenfrucht].*

Hauptfrucht-Nutzung	Zweikultur-Nutzung	
Haupt- und Zwischenfrucht	Erstkulturen	Zweikulturen
Senf* – Mais [BBCH 85]	Winterrübsen [ab BBCH 75]	Mais, Sorghum (b. x b.), Sonnenblumen, Mais-Sonnenblumen- Gemenge [BBCH 83]
Senf* – Sonnenblume [BBCH 85]	Winterroggen <sub>Grünschnitt</sub> [ab BBCH 75]	Mais, Sorghum (b. x b.), Sonnenblumen, Mais-Sonnenblumen- Gemenge [BBCH 83]
Winterroggen Energie [ab BBCH 81] – Senf*	Winterroggen <sub>Grünschnitt</sub> Wintererbsen-Gemenge [ab BBCH 75]	Mais, Sorghum (b. x b.), Sonnenblumen, Mais-Sonnenblumen- Gemenge [BBCH 83]
Winterroggen Brotgetreide [BBCH 92] – Senf*	Winterroggen <sub>Grünschnitt</sub> Wintergersten-Gemenge [ab BBCH 75]	Sorghum (b. x s.), Amarant, Hanf, Mais-Sonnenblumen-Amarant- Gemenge [BBCH 83]



(Dornburg [TH], Gülzow [MV], Haus Düsse [NRW], Rauischholzhausen [H], Straubing [BY], Werlte [NS] und Witzendahausen [H]) wurde das Zweikultur-Nutzungssystem eingehend geprüft, um Vorzüge und Grenzen des Konzeptes in Abhängigkeit von den Standortbedingungen ermitteln zu können. Das System wurde dazu mit der konventionellen Hauptfrucht-Nutzung, z. B. von Mais, Sonnenblumen und Winterroggen zur Silagebereitung bzw. von Roggen zur Nutzung als Brotgetreide verglichen, jeweils verbunden mit dem Anbau von Zwischenfrüchten (Tab. 3-2). Im Mittel der Standorte und Versuchsjahre lagen die Erntetermini der Erstfrüchte (zu BBCH 75) in der ersten Junidekade, also etwa drei Wochen vor der Ernte des Ganzpflanzen-Roggens in Hauptfruchtstellung (bei etwa BBCH 81). Die Saat der Zweikulturen erfolgte Anfang der zweiten Junidekade. Die Ernte der Zweitfrüchte Mais, Sonnenblume und Sorghum erfolgte Mitte Oktober, d. h. deutlich später als die Ernte der genannten Kulturen aus dem Hauptfruchtanbau (in der Regel Mitte September).

Die Versuchsstandorte unterscheiden sich deutlich in der Bodengüte (von Schluffsand mit 31 Bodenpunkten bis Tonschluff mit 80 Bodenpunkten) und in den klimatischen Kenngrößen (im mehrjährigen Mittel Jahrestemperaturen von 8,2–9,7 °C und Jahresniederschläge von 564–827 mm). Gleichzeitig waren in den drei Jahren deutliche Unterschiede in der Jahreswitterung zu verzeichnen.

**Allgemeine Erkenntnisse:** Die Zwei-

kultur-Nutzung konnte an allen Versuchsstandorten und in allen Jahren erfolgreich praktiziert werden und es konnten in der Regel höhere, teilweise deutlich höhere Jahreserträge an Biomasse im Vergleich zur Hauptfrucht-Nutzung mit diesen Kulturen einschließlich Zwischenfrüchte gewonnen werden. Die Ertragssteigerung beim Anbau von Sonnenblumen als Zweitkultur war größer als beim Anbau von Mais als Zweitkultur. Im Mittel der Jahre konnten mit den Sorghumhirsen als Zweikulturen vergleichbare Erträge realisiert werden wie mit Sonnenblumen als Zweitkultur (Abb. 3-17).

Als nachteilig zeigte sich, dass das Erntegut aller Zweikulturen einen TM-Gehalt deutlich unter 30 % hatte, was nicht nur die Silierfähigkeit vermindert sondern auch zu höheren Transportkosten führt, die auf der Basis des gewählten Kalkulationsansatzes den Deckungsbeitrag schmälern. In der Hauptfrucht-Nutzung hatte Mais die höchste Ertragsleistung vor Winterroggen-Ganzpflanzensilage. Der Winterroggen hatte im Mittel der Standorte und Jahre eine höhere, an einzelnen Standorten eine deutlich höhere Ertragsleistung als Sonnenblumen, die auch als Hauptfrucht meist einen noch zu geringen TM-Gehalt zur Ernte hatten, was in Verbindung mit den niedrigen Erträgen zu negativen Deckungsbeiträgen führte (vgl. Kap. 7, Tab. 7-3).

In der Zweikultur-Nutzung konnte aufgrund der zweimaligen Ernte und der niedrigen TS-Gehalte der Zweikulturen

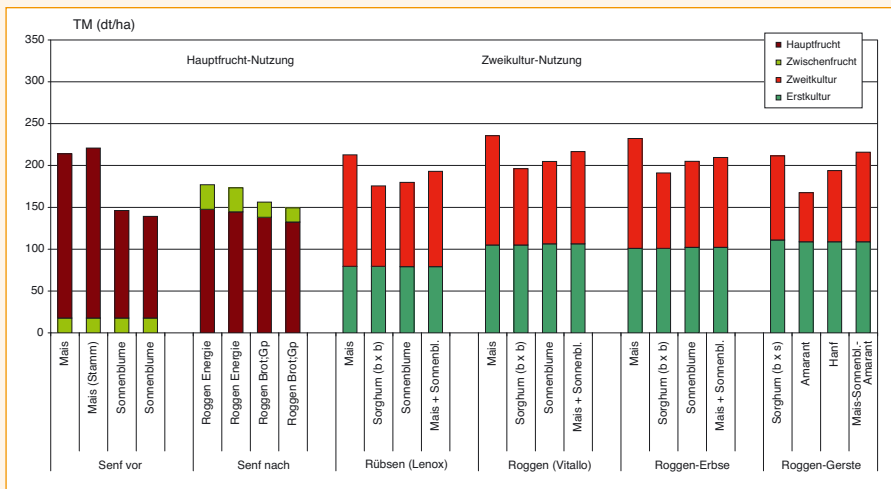


Abb. 3-17: Jahreserträge (Ertrag von Zwischenfrucht + Hauptfrucht; Erstkultur + Zweitkultur) in den Versuchsvarianten zur Hauptfrucht-Nutzung (links) und Zweikultur-Nutzung (rechts) im Mittel der sieben Versuchsstandorte und der drei Versuchsjahre.

zur Ernte nur der Roggen bzw. das Roggen/Erbesen-Gemenge gefolgt von Mais einen deutlich positiven Deckungsbeitrag erzielen, der aber niedriger war als der von Mais und Roggen in Hauptfruchtstellung. Hieraus wird abgeleitet, dass neben weiteren Ertragssteigerungen die TS-Gehalte der als Zweikulturen genutzten Kulturen (vornehmlich durch Züchtung) zu verbessern sind, um nicht nur ökologisch, sondern auch ökonomisch einen Gewinn mit der Zweikultur-Nutzung zu erzielen.

Die in der Zweikultur-Nutzung geprüften **Gemenge** von Winterroggen mit Wintererbse bzw. mit Wintergerste als Erstkulturen hatten vergleichbare Erträge wie Winterroggen im Reinanbau und hatten bei Verzicht auf Wachstumsregu-

latoren teilweise eine geringere Lagerneigung. Die Ertragsleistung des Mais/Sonnenblumen-Gemenges als Zweikultur entsprach nahezu dem Mittelwert der Ertragsleistung dieser Kulturen im Reinanbau und kann wie die Gemenge der Erstkulturen aus der Sicht der Artenvielfalt für den Anbau empfohlen werden.



Erwartet wurde, dass das Zweikultur-Nutzungssystem nur für diejenigen Standorte geeignet ist, die über eine ausreichende Wasserversorgung, insbesondere während der Sommermonate, verfügen. Diese These bestätigte sich in den Versuchen nicht. So führte das Zweikultur-Nutzungssystem gerade auf trockeneren Standorten zu größeren relativen Ertragssteigerungen gegenüber dem reinen Hauptfruchtanbau als auf den gut wasserversorgten Gunstandorten. Dennoch findet die Zweikultur-Nutzung auf sehr leichten Böden mit einer geringen Speicherfähigkeit für Wasser ihre Grenzen und ist auf ihnen nur noch unter Beregnung möglich, damit zunächst Keimung und Jugendentwicklung gesichert werden kann. Untersuchungen zum Einfluss der Bodenverhältnisse und der Witterung auf den Biomassertrag von Mais und Sonnenblumen zeigten, dass neben der Wasserversorgung auch die Summe der Lufttemperaturen über 6 °C von der Saat bis zur Ernte einen bedeutenden Einfluss auf das Wachstum hatte und hiermit in Einzelanalysen über 50 % der Ertragsunterschiede von Ort zu Ort und Jahr zu Jahr erklärt werden können.

**Standortsspezifische Aussagen:** In Verbindung mit den Einschätzungen der Versuchsansteller können aus den dreijährigen Versuchsergebnissen folgende Erkenntnisse und Empfehlungen abgeleitet werden:

Am **Standort Dornburg** nahe Jena (TH) [Parabraunerde, 65 Bp, 193 mm nFKWe, vgl. Abb. 2-2] hat neben Mais nach Senf [180 dt TM/ha] auch der Win-

terroggen in Hauptfruchtstellung ein hohes Ertragspotenzial [190 dt TM/ha] gezeigt, das von der Zweikultur-Nutzung mit Roggen gefolgt von Mais [210 dt TM/ha] übertroffen wurde. Durch hohe Erträge überzeugten auch Sonnenblumen und Sorghum (b. x. s.) als Zweikulturen. In Verbindung mit anderen Versuchen wird für Thüringen aber zunächst eine Präferenz für den Anbau von Mais und Sorghumhirsen, sowohl in Hauptfruchtstellung als auch in Zweitfruchtstellung ausgesprochen, ebenso wie die Bevorzugung von Wintergetreide gegenüber Sommergetreide bei der Bereitstellung von Ganzpflanzengetreide.

Am **Standort Gülzow** nahe Güstrow (MV) [Kolluvium-Pseudogley, 45 Bp, 159 mm nFKWe, Ø 559 mm, Ø 8,5 °C] war die Zweikultur-Nutzung von Winterroggen sowie Roggen/Erbsen-Gemenge gefolgt von Mais [220 und 230 dt TM/ha] am ertragreichsten und dem Mais in Hauptfruchtstellung um 50 dt TM/ha sowie Winterroggen um fast 70 dt TM/ha überlegen. In Verbindung mit der ökonomischen Analyse kann für diesen Standort der Anbau von Mais und Roggen in Hauptfruchtstellung sowie Mais und Sorghum (b. x. s.) nach Roggen/Erbsen- bzw. /Gersten-Gemenge empfohlen werden.

Am **Standort Haus Düsse** nahe Bad Sassendorf (NRW) [Haftpseudogley-Braunerde, 72 Bp, 190 mm nFKWe, Ø 872 mm, Ø 9,2 °C] konnten mit der Zweikultur-Nutzung von Roggen bzw. Roggen/Erbsen-Gemenge gefolgt von Mais sowie auch von Roggen/Gersten-

Gemenge gefolgt von Sorghum (b. x.s.) [jeweils 260 – 270 dt TM/ha] das gleiche Ertragsniveau wie mit Mais in Hauptfruchtstellung erzielt werden. Daher wird an diesem Standort der Hauptfruchtanbau mit Mais auch weiterhin bevorzugt werden. Aufgrund des hohen Ertragspotenzials der Sorghumhirsen wird zur Fruchtfolgeerweiterung und Stabilisierung der Erträge z. B. in Trockenjahren auch der Anbau dieser Kulturen verbunden mit weiteren Anbau- und Sortenversuchen empfohlen.

Am **Standort Rauschholzhäuser** nahe Gießen (H) [Parabraunerde Haftpseudogley, 65 Bp, 226 mm nFKWe, Ø 660 mm, Ø 9,6 °C] konnte mit der Zweikultur-Nutzung mit Mais nach Winterrüben, Winterroggen bzw. Roggen/Erbsen-Gemenge [230 dt TM/ha] rund 30 dt TM/ha mehr geerntet werden als mit Mais bzw. 80 dt TM/ha mehr als mit der Hauptfrucht Roggen. Demgegenüber kann mit Winterroggen sowie an zweiter Stelle mit Mais in Hauptfruchtstellung der höchste Deckungsbeitrag erzielt werden, gefolgt von Roggen und Mais in der Zweikultur-Nutzung, da hier die hohen Erntekosten das ökonomische Ergebnis verschlechtern. Dennoch sollten neben Mais sowie Roggen in Hauptfruchtstellung als früh räumende Frucht zur Realisierung artenreicherer Fruchtfolgen die Zweikultur-Nutzung praktiziert und Sonnenblumen und Sorghumhirsen angebaut werden, um weitere ökologische Leistungen zu realisieren.

Am **Standort Straubing** (BY) [Parabraunerde, 76 Bp, 157 mm nFKWe, Ø 682

mm, Ø 8,7 °C] hatte Mais in Hauptfruchtstellung [280 dt TM/ha] den höchsten Jahresertrag, auch aus ökonomischer Sicht, gefolgt von der Zweikultur-Nutzung mit Mais [270 dt TM/ha] sowie Roggen in Hauptfruchtstellung [190 dt TM/ha]. In die Fruchtfolge integriert werden könnte an diesem Standort auch der Anbau von Sorghum (b. x.s.). Dennoch besteht noch Optimierungsbedarf durch Züchtung, da hier wie an den anderen Standorten die Zweikulturen zur Ernte zu geringe TS-Gehalte hatten.

Am **Standort Werlte** nahe Oldenburg (NS) [Parabraunerde Pseudogley, 31 Bp, 134 mm nFKWe, Ø 794 mm, Ø 9,9 °C] war die Zweikultur-Nutzung von Roggen mit Mais [200 dt TM/ha] nur geringfügig dem Mais in Hauptfruchtstellung überlegen und wie auch an den anderen Standorten konnte bei der Zweikultur-Nutzung mit Sonnenblumen [180 dt TM/ha] der Ertrag von Sonnenblumen als Hauptfrucht [110 dt TM/ha] deutlich übertroffen werden. An diesem Standort behält die Hauptfrucht-Nutzung von Mais auch aus ökonomischer Sicht ihren festen Anteil an der Fruchtfolge, ergänzt durch Roggen-GPS gefolgt von Gras sowie Mais als Zweikultur nach Roggen bzw. Gemengen mit Roggen.

Am **Standort Witzenhausen** nahe Kassel (H) [Haftnässe Parabraunerde-Braunerde, 80 Bp, 200 mm nFKWe, Ø 629 mm, Ø 8,2 °C] konnten in der Zweikultur-Nutzung mit Mais [bis zu 250 dt TM/ha] bzw. mit Sonnenblumen [210 dt TM/ha] nach Roggen und Roggen/Erbsen-Gemenge deutliche Ertrags-



steigerungen [30 – 60 dt TM/ha] im Vergleich zu diesen Kulturen in Hauptfruchtstellung erzielt werden. Aus ökonomischer Sicht ist auf der Basis des gewählten Kalkulationsansatzes Mais in Hauptfruchtstellung am wirtschaftlichsten, gefolgt von Winterroggen-GPS und der Zweikultur-Nutzung mit Mais und Sorghumhirsen.

### 3.4.2 Mischfruchtanbau

#### Zielsetzung

Mit dem Mischfruchtanbau sollen insbesondere auf weniger ertragreichen Standorten und bei einem niedrigen Intensitätsniveau höhere und vor allem stabilere Erträge als mit Reinsaaten erreicht werden. Begründen lassen sich diese Erwartungen mit dem unterschiedlichen Anpassungsvermögen der einzelnen Mischungspartner an die jeweiligen Umwelteinflüsse und geringerem Schader-

regerbefall. Zudem bilden Mischkulturen häufig dichtere Bestände mit etagenartigem Aufbau und erreichen somit eine gute Unkrautunterdrückung. Einen weiteren Vorteil für Gemenge aus Getreide, Leguminosen und Ölfrüchten verspricht die höherwertige Zusammensetzung der Inhaltsstoffe, wodurch die Methanausbeute optimiert werden könnte.

Im Satellitenprojekt „Mischfruchtanbau zur energetischen Nutzung“ an der Landesforschungsanstalt für Landwirtschaft und Fischerei Mecklenburg-Vorpommern (LFA) und dem Technologie- und Förderzentrum (TFZ) in Bayern standen folgende Aufgaben im Vordergrund:

- Prüfung von Sommer- und Winterkulturen auf ihre Eignung für den Mischanbau,
- Ermittlung und Vergleich der Leistungen von Sommer- und Winterkulturen im Mischanbau und in Reinsaat,



Wickroggen

- Prüfung „verloren gegangener“ Feldfrüchte mit hoher Biomasseleistung, die auf Grund spezifischer Eigenschaften für Sandböden geeignet sind.

#### Versuchsdurchführung und Standortbeschreibung

Die Gemenge wurden in Mecklenburg-Vorpommern und Bayern an jeweils zwei Standorten angebaut, wobei das Saatgut gemischt ausgedrillt wurde. Die Saatstärken der Mischungspartner wurden im Vergleich zu den Reinsaaten um 20 bis 80 % reduziert, so dass sich in der Summe für die Mischungen Saatstärken von 120 bis 150 % ergaben. In Gemengen mit Leguminosen wurde die Stickstoffdüngung um 20 bis 25 kg N/ha reduziert. Auf Herbizide wurde generell verzichtet.

Die zwei Standorte in Gülzow (Mecklenburg-Vorpommern) mit der Ackerzahl von 25 und 30 sind geprägt von relativ niedrigen jährlichen Niederschlagssummen (559 mm) und einer mittleren Jahrestemperatur von 8,5 °C. Es dominieren schwach-lehmige bis schwach-schluffige Sande. Die Standorte in Bayern liegen in der trockenen Donau-Aue (330 m über NN) und im Vorgebirge des Bayerischen Waldes (430 m über NN). Die jährlichen Niederschlagssummen betragen 658 bzw. 807 mm, die mittleren Jahrestemperaturen 8,3 bzw. 7,5 °C. Während in der Donau-Aue sandiger Lehm bei einer Ackerzahl von 45 vorherrscht, überwiegt an dem Standort des Vorgebirges lehmiger Sand (Ackerzahl 47).

#### Ergebnisse

Die Untersuchungen der Mischkulturen erstreckten sich über den Zeitraum von



2005 bis 2007. Bei den Sommerkulturen wurden in Mecklenburg-Vorpommern und Bayern eine Vielzahl, je nach Standort unterschiedlicher Reinsaaten und Gemenge getestet. Die Ertragsleistungen schwankten dabei stark zwischen den Jahren und den einzelnen Versuchstandorten. In Mecklenburg-Vorpommern erzielten auf dem einen Feld (AZ 25) über beide Versuchsjahre Mais und das Gemenge Mais-Steinklee (Bokharaklee) die höchsten Erträge vor Sommerroggen, Steinklee und dem Getreidegemenge Sommerroggen-Sommergerste-Hafer. Dagegen zeigte sich auf dem anderen Feld (AZ 30) auf einem insgesamt höheren Ertragsniveau das Gemenge Sommergerste-Lupine-Saflor nach Mais und Mais-Steinklee als relativ ertragsstark. Dies schnitt insbesondere im trockenen Jahr 2007 deutlich besser als die Reinsaat Sommergerste ab. In Bayern wurden die Sommerkulturen nur in der Donauaue getestet. Hier zeigte sich 2006 Sommergerste und das Gemenge Sommergerste-Leindotter überlegen, wobei letzteres trotz eines etwas geringeren Trockenmasse-Ertrags höhere theoretische Methan-Hektarerträge erbrachte. In 2007 dagegen waren nach der Frühjahrs-

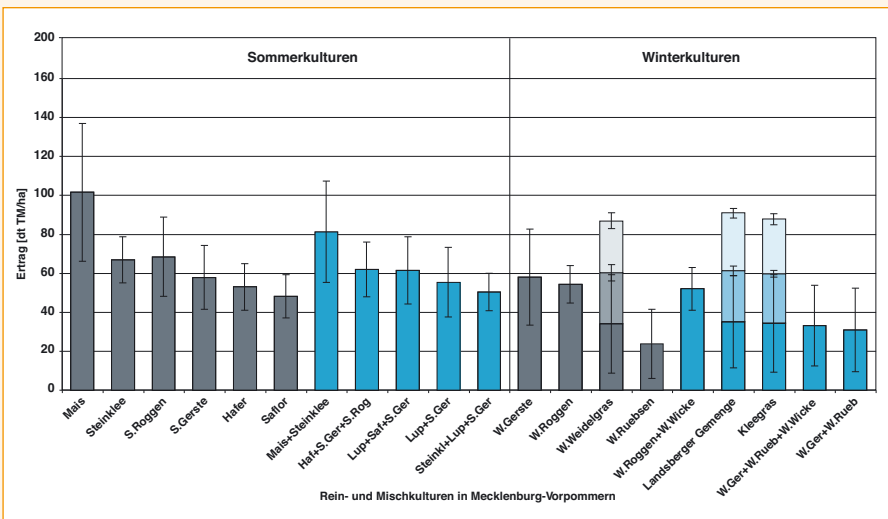


Abb. 3-18: Mittlere Trockenmasseerträge und Standardabweichung (2006/2007) von Rein- und Mischsaaten in Gülzow (MV).

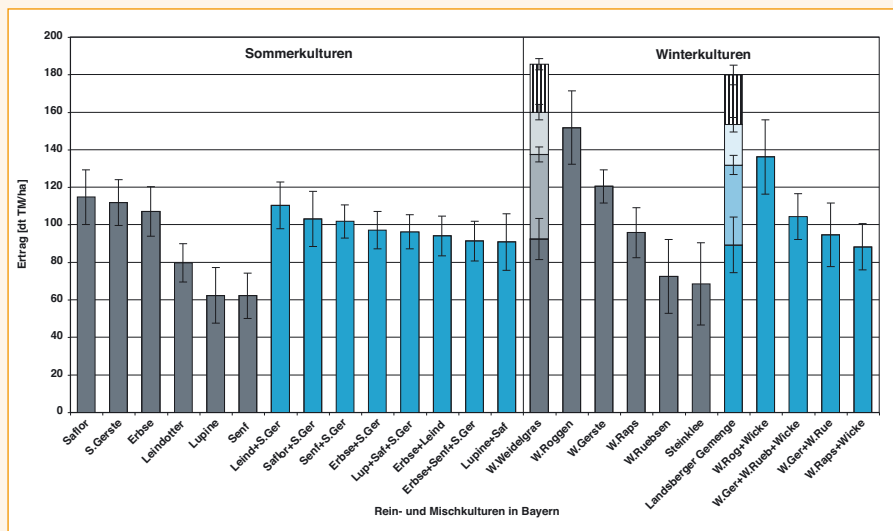


Abb. 3-19: Mittlere Trockenmasseerträge und Standardabweichung (2006/2007) von Rein- und Mischsaaten in Ascha und Aholzing (BY).



trockenheit die Reinsaat Saflor und Futtererbse der Sommergerste überlegen. Insbesondere die hohe Biogasausbeute von Saflor lässt diesen in trockenen Jahren als vorzügliche Alternative zu Sommergetreide erscheinen. Bei der Fruchtfolgeplanung ist jedoch zu berücksichtigen, dass Saflor erst spät das Feld räumt.

Bei den Winterkulturen wiesen die Winterkulturen Wintergerste und Winterroggen sowie die Gemenge Wickroggen und Roggen-Steinklee über alle Jahre und Standorte sehr hohe Erträge auf. Dabei zeigte sich die Wintergerste insbesondere auf dem Standort mit der Ackerzahl 30 in Gülzow als ertragreichste Kultur mit den höchsten Methan-Hektarerträgen.

Auf den bayerischen Standorten lieferten hingegen Winterroggen und Wickroggen die besseren Ertragsleistungen. Bei den Gemengen Wickroggen und Winterroggen-Steinklee ist zu berücksichtigen, dass diese Varianten trotz einer verminderten Stickstoffdüngung an die Erträge der Reinsaat heranreichten. Damit können sie bei steigenden Düngemittelpreisen gegenüber dem Winterroggen in Reinkultur an Vorzüglichkeit gewinnen. Die übrigen Gemenge blieben hinter den Ertragserwartungen zurück und auch im Hinblick auf die Ertragsicherheit konnten keine messbaren Vorteile festgestellt werden. Eine Ausnahme bildeten die Ackerfuttermischungen Landsberger Gemenge und Klee gras, die zusammen mit dem Welschen Weidelgras bei mehrmaliger Schnittnutzung in Verbindung mit hohen Niederschlagsum-

men 2007 die höchsten Gesamterträge lieferten. In 2006 konnte jedoch aufgrund der Sommertrockenheit nur ein einmaliger Schnitt erfolgen, was insbesondere auf den Standorten in Mecklenburg-Vorpommern zu erheblichen Ertragseinbußen führte.

### Empfehlungen für die Praxis

Der Mischfruchtanbau ist für die ausschließliche Maximierung der Biomasserträge nicht das geeignete Instrument. Als Extensivvariante in einseitigen Fruchtfolgen oder auf Grenzstandorten können leguminosenhaltige Gemenge hinsichtlich der Nährstoffversorgung der Folgekultur und hinsichtlich der Boden-sanierung zur Optimierung des gesamten Systems beitragen. Aus ökologischer Sicht ist neben dem Blütenangebot von Winterwicke, Saflor, Leindotter und anderen Kulturen auch die Erhöhung der Biodiversität in der Kulturlandschaft ein Gewinn.





## 4 Faktoroptimierung und Bewirtschaftungsstrategien

### 4.1 Bewässerung

Hohe und stabile Biomasseerträge sind eine wesentliche Voraussetzung für die Wirtschaftlichkeit von Biogasanlagen. Auf Trockenstandorten und in niederschlagsarmen Jahren ist die Wasserversorgung für Ertrag und Ertragssicherheit von entscheidender Bedeutung. Bislang liegen kaum Erfahrungswerte vor zu Fragen der Bewässerung und des Wasserbedarfs von neuen Sortentypen (z. B. massereicher Energiemais), speziellen Anbausystemen für Energiepflanzen (Zweikultur-Nutzungssystem, Mischfruchtanbau) sowie neuen Rohstoffpflanzen (Sorghumarten, Topinambur u. a.). Deshalb wurden an drei Standorten

Braunschweig/Niedersachsen (B), Rhein-stetten-Forchheim/Baden-Württemberg (RF) und Müncheberg/Brandenburg (M) folgende Versuche durchgeführt:

1. Wasserbedarf von Energiemais mit unterschiedlicher Reifezahl (B)
2. Einfluss der Zusatzbewässerung auf Biomasseertrag und Substratqualität beim Mischfruchtanbau (B)
3. Ertragswirksamkeit der Bewässerung bei Hauptfruchtanbau und Zweikultur-Nutzung (B/M/RF)
4. Bewässerungswürdigkeit verschiedener Energiepflanzen (RF)

In den Versuchen 1, 3 und 4 wurden zwei Bewässerungsregime praktiziert: Intensiv und „extensiv“. Bei intensiver Bewässerung wurde die nutzbare Feldkapazität (nFK) während der gesamten Vegetationsperiode oberhalb 50 % gehalten. Die Variante extensiv war dagegen eine reine Notfallbewässerung zur Sicherung des Bestandes. Der Versuch 2 erfolgte in einem Folientunnel bei drei Bodenwassergehalten (15 – 30, 40 – 50 und 60 – 80 % nFK). Die Niederschläge im Jahr 2005 entsprachen den langjährigen Mittelwerten, das Jahr 2006 war ungewöhnlich trocken und das Jahr 2007 ausgesprochen feucht.

#### Wasserbedarf von Energiemais mit unterschiedlicher Reifezahl

Künftige Energiemaissorten werden voraussichtlich mehr vegetative Masse auf-



weisen und spätreifer sein als konventioneller Silomais. Bei den züchterisch angestrebten Erträgen von 250 – 300 dt TM/ha wird das Bodenwasser zusätzlich beansprucht. Es stellt sich die Frage, ob Energiemais aufgrund der größeren Blattfläche einen höheren spezifischen Wasserbedarf hat. In den Jahren 2005 bis 2007 wurden drei Maissorten mit stark divergierenden Reifezahlen bei unterschiedlicher Wasserversorgung verglichen (vgl. Tab. 4-1). Durch intensive Bewässerung erhöhte sich der TM-Ertrag im Sortenmittel im Jahr 2005 um 35 dt/ha (17 %), im Jahr 2006 um 77 dt/ha (51 %) und im Jahr 2007 um 14 dt/ha (6 %). Die Ertragsschwankungen in diesen drei Jahren waren bei extensiver Bewässerung wesentlich größer als bei intensiver Bewässerung (139 bis 234 versus 224 bis 253 dt TM/ha). Die ökonomische Analyse ergab, dass durch den Einsatz der Bewässerung der Gewinn im Trockenjahr 2006 um 246 €/ha (Mikado) bis 576 €/ha

(Flavi) zunahm. Einen positiven Gewinnbeitrag von 96 €/ha gab es im Jahr 2005 für Flavi, nicht jedoch für Mikado. Im Jahr 2007 lohnte sich die Bewässerung wegen der hohen Niederschläge bei keiner der untersuchten Sorten. Die Auswertung der Versuchsdaten mit einem Wasserhaushaltsmodell der Universität Kiel zeigte, dass Sorten mit höheren Reifezahlen auch die erwarteten höheren Werte für die Transpiration aufweisen. Allerdings war die im Mittel der beiden Wasserregime um 57 % längere Blattflächendauer der spätreifen und blattreichen Sorte Mikado gegenüber der deutlich früheren und blattärmeren Sorte Flavi mit einer um lediglich 9 % höheren Transpiration verbunden. Interessanterweise besaß die Sorte Mikado sowohl bei „extensiver“ als auch „intensiver“ Bewässerung den niedrigsten Evapotranspirationskoeffizienten und die höchste Wassernutzungseffizienz.

Tab. 4-1: Mittelwerte für TM-Gehalt und TM-Ertrag von drei Maissorten mit stark unterschiedlichen Reifezahlen bei zwei Wasserregimen in Braunschweig.

Sorte (Reifezahl)	Wasser- regime*	2005		2006		2007	
		TM- Gehalt (%)	TM- Ertrag (dt/ha)	TM- Gehalt (%)	TM- Ertrag (dt/ha)	TM- Gehalt (%)	TM- Ertrag (dt/ha)
Flavi (S250)	Extensiv	36,7	193	30,5	147	30,2	231
	Intensiv	30,0	234	36,8	231	31,2	240
PR36K67 (S370)	Extensiv	29,9	186	31,5	139	26,9	220
	Intensiv	29,7	229	33,0	224	28,6	245
Mikado (ca. S500)	Extensiv	26,2	231	27,4	169	25,2	234
	Intensiv	22,4	253	28,6	231	24,2	241
GD 5 %		3,6	23	2,7	12	1,2	12

\* Zusatzwassermenge bei extensiver/intensiver Bewässerung: 31/145 mm (2005), 41/184 mm (2006), 0/50 mm (2007).

### Einfluss der Bewässerung auf Biomassertrag und Substratqualität beim Mischfruchtanbau

Beim gleichzeitigen Anbau von zwei oder mehr Kulturen in Mischungen treten zwangsläufig Konkurrenzeffekte auf. Deshalb stellt sich beim Mischfruchtanbau die Frage, ob und gegebenenfalls wie sich ein unterschiedliches Wasserangebot auf Nährstoffzusammensetzung und Ertragsanteile der Mischungspartner und mithin auf die Qualität der Gärsubstratmischung auswirkt. Bei dem in den Jahren 2006 und 2007 in Braunschweig durchgeführten Mischfruchtanbau von Mais/Sonnenblume und Mais/Sorghum (b. x b.) in Doppelreihen hatte die unterschiedliche Wasserversorgung nur geringfügige Unterschiede in den Nähr-

stoffgehalten der Mischungspartner zur Folge. Eine bessere Wasserversorgung ging bei allen Fruchtarten mit tendenziell niedrigeren Rohfettgehalten und höheren Rohfasergehalten einher. Höhere Rohfasergehalte bedingen eine geringere Methanausbeute der Substrate. Verglichen mit dem spezifischen Einfluss der Kulturarten, die in den Mischungen verwendet wurden, ist der Einfluss der Bewässerung auf die Methanausbeute allerdings gering. (vgl. Kap. 5.1; Tab. 5.2).

Obleich sich die TM-Erträge der Mischungen mit zunehmendem Wasserangebot generell erhöhten, reagierten die einzelnen Mischungspartner unterschiedlich. Während der Mais in der 60 – 80 % nFK Variante in beiden Jahren signifikant höhere TM-Erträge erbrachte als in der 15 – 30 % nFK Variante, zeigte Sorghum (b. x b.) lediglich im Jahr 2006 und die Sonnenblume in keinem der beiden Jahre einen signifikanten Ertragsanstieg. Der Beitrag von Sorghum (b. x b.) zum TM-Ertrag der Mischung war mit 39 bis 44 % ähnlich (vgl. Abb. 4-1). Die Sonnenblume hatte bei mittlerer und hoher Wasserversorgung einen Ertragsanteil von etwa einem Drittel. Unter Trockenstress trug die Sonnenblume in den Jahren 2006 und 2007 hingegen 37 bzw. 54 % zum Ertrag der Mischung bei. Der Grund ist der, dass die Sonnenblume aufgrund ihrer rascheren Entwicklung im Frühjahr die Winterbodenfeuchte besser nutzen kann als der Mais. Bis es für den Mais mit seinem höheren Wärmebedarf warm genug ist, hat die Sonnenblume die Winterbodenfeuchte bereits weitgehend aufgebraucht.

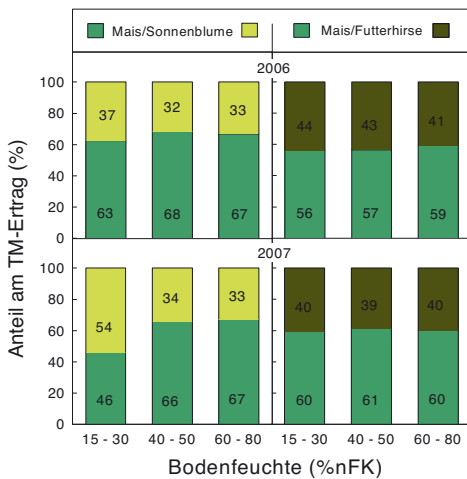


Abb. 4-1: TM-Ertrag sowie relative Anteile der Mischungspartner am TM-Ertrag beim Mischfruchtanbau von Mais mit Sonnenblume bzw. Sorghum (b. x b.) bei drei Wasserregimen in Braunschweig.

### Ertragswirksamkeit der Bewässerung bei Hauptfruchtanbau und Zweikultur-Nutzungssystem

Beim Zweikultur-Nutzungssystem werden innerhalb eines Jahres sowohl eine Winterung als auch eine Sommerung geerntet<sup>12</sup>. Im Vergleich zum Hauptfruchtanbau, mit nur einer Biomasseernte pro Jahr, werden nur dann höhere Erträge erzielt, wenn die Zweitfrucht rasch aufläuft und sich danach zügig weiterentwickelt. Voraussetzung dafür ist eine ausreichende Wasserversorgung insbesondere im Mai und Juni, die auf Trockenstandorten nur durch künstliche Bewässerung gewährleistet werden kann. In Braunschweig und Müncheberg wurde das Zweikultur-Nutzungssystem mit einem reinen Hauptfruchtanbau verglichen. Bei der Zweikultur-Nutzung folgten nach der Ernte von Grünschnittroggen und Welschem Weidelgras jeweils die drei Zweikulturen Mais, Sorghum (b. x b.) und Sonnenblume. Tabelle 4-2 zeigt die Zusatzmengen an Wasser, die für das jeweilige Bewässerungsregime erforderlich waren.

Tab. 4-2: Menge an Zusatzwasser (mm) für die geprüften Zweikulturen.

	Wasserregime	2005/2006	2006/2007
Braunschweig	Extensiv	21	–
	Intensiv	149 – 169	58
Müncheberg	Extensiv	39	–
	Intensiv	189 – 219	45 – 90

Unter den Zweikulturen lieferte der Mais in beiden Versuchsjahren die höchsten TM-Erträge, gefolgt von Sorghum (b. x b.) und Sonnenblume (vgl. Abb. 4-2). Im Trockenjahr 2006 war Sorghum (b. x b.) in Müncheberg bei extensiver Bewässerung im Zweikultur-Nutzungssystem dem Mais ebenbürtig. Im Jahr 2006 stiegen die TM-Erträge durch intensive Bewässerung in Braunschweig um 43 dt/ha (36 %) und in Müncheberg um 67 dt/ha (73 %) an. Die TM-Erträge beim Zweikultur-Nutzungssystem lagen in Braunschweig um durchschnittlich 59 dt/ha (44 %) und in Müncheberg um durchschnittlich 23 dt/ha (19 %) über denen des Hauptfruchtanbaus. Allerdings war bei extensiver Bewässerung in Müncheberg die Summe der TM-Erträge von Winterzwischenfrüchten plus Mais um 17 dt/ha niedriger als der TM-Ertrag von Mais im Hauptfruchtanbau. Im niederschlagsreichen Jahr 2007 fielen die bewässerungsbedingten Ertragssteigerungen deutlich niedriger aus. Hier stiegen die TM-Erträge durch intensive Bewässerung in Braunschweig im Mittel um lediglich 8 dt/ha (4 %) und in Müncheberg um 14 dt/ha (8 %). Der Mehrertrag bei Zweikultur-Nutzung betrug durchschnittlich 54 dt/ha (37 %) in Braunschweig und 56 dt/ha (39 %) in Müncheberg.

### Bewässerungswürdigkeit verschiedener Energiepflanzen

In den Jahren 2005, 2006 und 2007 wurden im Rheingraben Maissorten unter-

<sup>12</sup> In Abweichung zu dem im Kapitel 3.4.1 vorgestellten System der Kombination von Erstfrucht und Zweitfrucht, bei der beide Kulturen in etwa gleicher Höhe zum Jahresertrag beitragen sollen, wird in diesem Kapitel die Nutzung „Winterzwischenfrucht gefolgt von Zweitfrucht“ betrachtet (vgl. Abb. 2-1).



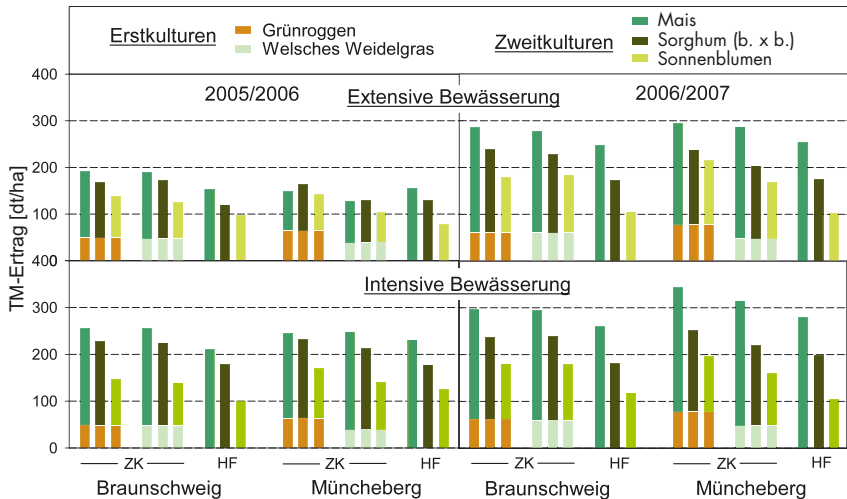


Abb. 4-2: TM-Ertrag bei Zweikultur-Nutzung (ZK) und Hauptfruchtanbau (HF) in Abhängigkeit vom Bewässerungsregime in der Vegetationsperiode 2005/2006 und 2006/2007 in Braunschweig und Muencheberg.

schiedlicher Siloreifezahl, Sorghumhirsen, Sonnenblume bzw. Sonnenblume/Mais Mischung sowie Topinambur und Futterrüben hinsichtlich ihrer Beregnungswürdigkeit untersucht. Die beiden späten Maissorten (Doge und Mikado) sowie die Futterrüben zeigten sowohl bei extensiver als auch intensiver Beregnung die höchsten TM-Erträge und konnten durch die Zusatzbewässerung im Mittel der Versuchsjahre absolute Ertragszuwächse von durchschnittlich 50 dt TM/ha realisieren (vgl. Abb. 4.3). Die größten relativen Ertragssteigerungen, wenngleich auf einem vergleichsweise niedrigen Ertragsniveau, wurden bei Topinambur, Sonnenblume und der Sonnenblume/Mais-Mischung festgestellt. Den gerings-

ten Ertragszuwachs durch die zusätzlichen Wassergaben hatten die wärmeliebenden Sorghumhirsen. Das Potenzial der Sorghumhirsen als Alternative bzw. Ergänzung zum Mais wurde in der minimal beregneten Variante deutlich, wo Sorghum (b. x s.) mit 173 dt TM/ha durchschnittlich 96 % des Maisertrages erzielte.

### Fazit

Die ursprüngliche Annahme, wonach Maissorten mit einer großen Transpirationsfläche unter Trockenheit eine besonders starke Ertragsdepression zeigen, wurde nicht bestätigt. Vielmehr erbrachte im Trockenjahr 2006 die massereiche und spätreife Sorte Mikado sowohl bei

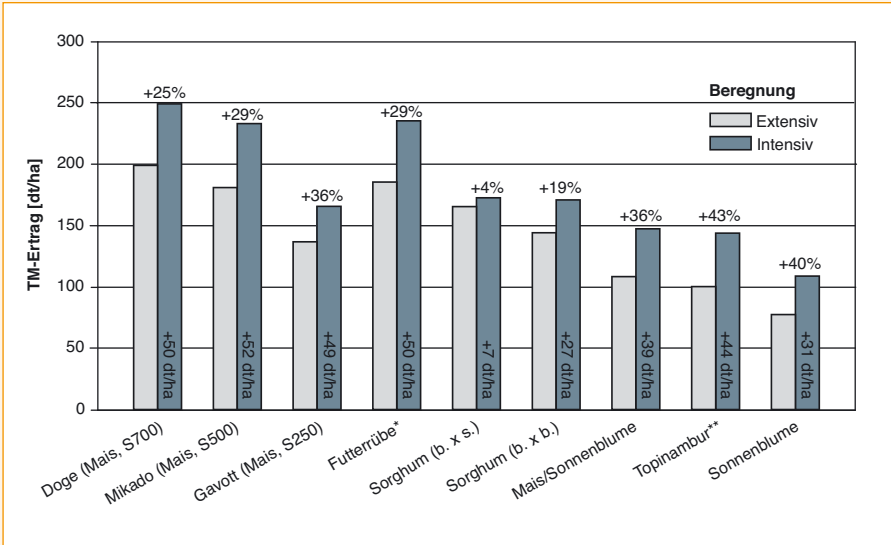


Abb. 4-3: Mittlere Trockenmasseerträge der untersuchten Kulturarten und Sorten bei extensiver und intensiver Beregnung in Rheinstetten-Forchheim. \* Rübe und Blatt; \*\* Nur Kraut.

extensiver als auch bei intensiver Bewässerung den höchsten Trockenmasseertrag. Beim Mischfruchtanbau von Mais/Sonnenblume und Mais/Sorghum (b. x b.) hatte selbst ein stark unterschiedliches Wasserangebot nur geringfügige Veränderungen bei den Methanausbeuten zur Folge. Da bei der Zweikultur-Nutzung die Winterbodenfeuchte durch die Erstfrüchte stark beansprucht wird, sind die Startbedingungen für die Zweitfrüchte oft weniger günstig als beim Hauptfruchtanbau. Sowohl die Wasserbedürftigkeit als auch die Bewässerungswürdigkeit sind deshalb bei der Zweikultur-Nutzung größer als beim Hauptfruchtanbau. Für die Höhe der relativen prozentualen Ertragssteigerungen der

untersuchten Energiepflanzenarten ergab sich folgende Reihenfolge: Topinambur und Sonnenblume > Futterrübe und Mais > Sorghum (b. x b.) > Sorghum (b. x s.). Durch intensive Bewässerung sind Mehrerträge von durchschnittlich etwa 30 % zu erwarten, wobei die Entscheidung zur Bewässerung von Energiepflanzen vor dem Hintergrund erheblicher jahres- und kulturartbedingter Unterschiede gefällt werden muss. Als Folge des Klimawandels wird von Experten erwartet, dass sich das Wetter in Deutschland in Richtung trocken-heiße Sommer und feuchtwarme Winter verändert. Wenn diese Prognose stimmt, wird die Beregnung ein zunehmend wichtigeres Instrument für die Gewährleistung der Ertragsicherheit.

## 4.2 Pflanzenschutzmittel und Düngung

Bei der Produktion von Biogassubstraten liegt die optimale Produktionsintensität aufgrund abweichender Qualitätsansprüche möglicherweise niedriger als im Nahrungs- oder Futtermittelbereich. Beispielsweise kann die Stickstoffdüngung im Vergleich zur Marktfrucht- oder Futtermittelproduktion reduziert werden, da bei Biogassubstraten keine hohen Rohproteingehalte erzielt werden müssen. Stattdessen werden im Energiepflanzenanbau im Allgemeinen niedrige Stickstoffgehalte im Erntematerial angestrebt, um eine Hemmung der Methanproduktion durch Ammonium zu vermeiden. Weiterhin können aufgrund des frühen Erntezeitpunkts spät schädigende Schadereger in einem höheren Maße toleriert werden. Hochwachsende Beikräuter, die meist vor der Samenreife vom Feld abgefahren werden, können bei der Bio-

gaserzeugung mitverwertet werden. Der Satellitenversuch zur Faktorminimierung am Standort Ascha sollte klären, ob ein reduzierter Produktionsmitteleinsatz im Energiepflanzenanbau aus pflanzenbaulicher Sicht vertretbar sowie wirtschaftlich und ökologisch von Vorteil ist.

Dazu wurde in drei ausgewählten Fruchtfolgen (FF 3, FF 6 und FF 8) die Produktionsintensität variiert. Im Vergleich zur standortüblichen optimalen Produktionsintensität wurde in Minimierungsvariante 1 die Stickstoffdüngung um 30 kg/ha reduziert. In Minimierungsvariante 2 wurde zusätzlich zur Stickstoffreduktion auf Pflanzenschutzmaßnahmen verzichtet. Besonderes Augenmerk wird auch auf die mittel- und langfristigen Folgen der Faktorminimierung gerichtet, wie z. B. eine Abnahme des pflanzenverfügbaren Stickstoffs im Boden und eine Veränderung der Beikrautflora.



## Ergebnisse

Nach der ersten Fruchtfolgerotation zeigte sich, dass sich über alle drei geprüften Fruchtfolgen betrachtet sowohl die reduzierte Stickstoffdüngung (Minimierungsvariante 1) als auch der Verzicht auf Pflanzenschutzmittel (Minimierungsvariante 2) auf die Ertragsbildung negativ auswirkten. Dabei reagieren die einzelnen Fruchtarten jedoch sehr unterschiedlich auf die Minimierungsvarianten. Mais und Sorghumhirsen zeigten sich aufgrund ihrer hohen Nährstoffeffizienz relativ unbeeinflusst von der geringeren Stickstoffgabe (120 statt 150 kg N/ha). Diese Kulturen konnten während der Versuchsjahre im Laufe ihres Wach-

tumszyklus sehr gut von der Stickstoffnachlieferung aus dem Bodenvorrat zehren, da die Zeiten höchsten Nährstoffbedarfs mit den maximalen Mineralisationsraten zusammenfielen. Bei Ganzpflanzengetreide und Weidelgras dagegen führte die niedrigere Stickstoffdüngung zu signifikanten Mindererträgen von 12 bzw. 7 dt/ha. Insbesondere bei frühen Ernteterminen traten hier ausgeprägte Ertragseinbußen auf.

Die Minimierungsvariante 2 (Verzicht auf Pflanzenschutzmaßnahmen) wies nur bei Mais einen signifikant ertragsmindernden Einfluss auf. Dieser war jedoch mit Ertragseinbußen von im Mittel über

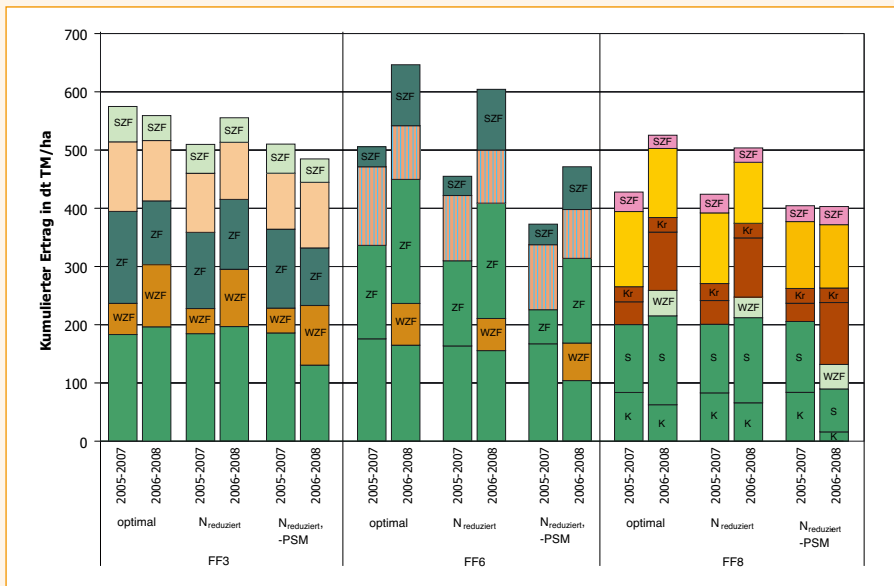


Abb. 4-4: Auswirkungen der Minimierungsvarianten auf die aufsummierte Trockenmasseerträge der Fruchtfolgen 3, 6 und 8 der ersten (2005 – 2007) und zweiten (2006 – 2008) Versuchsanlage.





30 % sehr ausgeprägt und zeichnete sich damit auch bei den Gesamterträgen der Fruchtfolgen sehr deutlich ab. Sorghumhirse war bei wüchsigen Bedingungen in der Jugendphase relativ konkurrenzstark gegenüber der Beikrautflora. Wenn jedoch kühle Witterungsbedingungen wie im Juni 2008 die Bestandsentwicklung verzögern, wird die Sorghumhirse von hochwachsenden Beikräutern wie Gänsefuß und Flohknöterich überwachsen. Eine durchwegs gute Unkrautkonkurrenz wiesen die Ganzpflanzengetreide und Weidelgras durch ihre dichten Pflanzenbestände auf, so dass hier auch ohne Herbizideinsatz keine Ertragseinbußen entstehen müssen. Dabei haben der standortabhängige Unkrautdruck und die Witterung einen erheblichen Einfluss.

Im abschließenden Fruchtfolgeglied Winterweizen der ersten Fruchtfolgero-

tation wiesen im Jahr 2008 beide Minimierungsvarianten signifikant niedrigere Erträge auf, obwohl alle Varianten einheitlich (= optimal) behandelt wurden. Möglicherweise war die Stickstoffnachlieferung aus dem Bodenvorrat durch die über die gesamte Fruchtfolge um 150 kg N/ha reduzierte Düngemenge in dem kühl-feuchten Frühjahr beeinträchtigt. 2009 dagegen wurden keine Auswirkungen der Minimierungsvarianten auf die Kornerträge beobachtet. Der Verzicht auf Pflanzenschutzmaßnahmen wirkte sich trotz eines erhöhten Beikrautbesatzes in keinem der beiden Jahren negativ auf die Kornerträge aus.

#### Empfehlungen für die Praxis

Zusammenfassend bleibt festzuhalten, dass die Entscheidung über einen reduzierten Produktionsmitteleinsatz fruchtartspezifisch getroffen werden muss. Bei Mais und Sorghumhirse wurden in den Versuchen auch bei moderater N-Düngung gleichbleibend hohe Erträge erzielt. Damit können einerseits Kosten für mineralischen Stickstoffdünger eingespart werden, andererseits werden auch Stickstoffausträge ins Grundwasser und in die Atmosphäre minimiert. Dagegen sollte bei Wintergetreide nicht an der N-Düngung gespart werden, hier ist eine frühe bedarfsgerechte Stickstoffdüngung (70 bis 80 kg N/ha) für die Ertragsbildung ausschlaggebend. Um die Nährstoffkreisläufe zu schließen und Kosten zu sparen, ist es dabei sinnvoll, vorrangig Gärreste einzusetzen. Langfristig sollte über die Fruchtfolgegestaltung auf eine ausgeglichene Stickstoffbilanz geachtet werden. Hinsichtlich des Pflanzenschutzes deu-

ten die bisherigen Ergebnisse daraufhin, dass Ganzpflanzengetreide und Ackergräser einen Verzicht auf Herbizidmaßnahmen ohne Mindererträge tolerieren können. Durch die Beikrautflora kann damit ein nicht unerheblicher Beitrag zur Erhöhung der Artenvielfalt in der Agrarlandschaft geleistet werden. Beim konkurrenzschwachen Mais jedoch ist eine erfolgreiche Unkrautkontrolle die Basis für einen hohen Flächenertrag.

### 4.3 Minimalbodenbearbeitung

Die Bodenbearbeitung hat in der Landwirtschaft verschiedene Aufgaben zu erfüllen. Unter anderem sollen die Bodenstruktur erhalten oder möglichst verbessert und Nährstoffe, Ernte- und Wurzelrückstände in den Boden eingearbeitet werden. Am Standort Dornburg wurde die Bodenbearbeitung in den 2005 angelegten Fruchtfolgeversuch als Faktor mit einbezogen, um untersuchen zu können, inwieweit durch die Intensität der Bodenbearbeitung die Ertragsentwicklung der einzelnen Kulturpflanzen beeinflusst wird und ob Auswirkungen hinsichtlich der Ausprägung von Schaderregern bei der Folgekultur Winterweizen zu erkennen sind.

Bei der konventionellen Bodenbearbeitung kam im Herbst der Pflug zum Einsatz. Diese Form der Bodenbearbeitung erfolgte auch an den anderen Versuchsstandorten. In der Minimalbodenbearbeitungsvariante wurde die Bodenbearbeitung hauptsächlich mit der Scheibenegge durchgeführt. In den

Fruchtfolgen und den verschiedenen Bearbeitungsvarianten wurde ein einheitlicher Pflanzenschutz durchgeführt.

#### Gesamtrockenmasseerträge der Fruchtfolgen

In Abbildung 4-5 sind die Trockenmasseerträge der Fruchtfolgen bei minimaler und konventioneller Bodenbearbeitung dargestellt. Den höchsten Gesamtrockenmasseertrag über die Versuchsjahre erreichte der mehrjährige Maisanbau in Fruchtfolge 7 (522 dt TM/ha vs. 523,3 dt TM/ha), dicht gefolgt von der Mais-Sorghum-betonten Fruchtfolge 3 mit 488 dt TM/ha bzw. 472,7 dt TM/ha. Mit der Fruchtfolge 1 wurde ein Gesamtertrag von 449,8 dt TM/ha bzw. 444,3 dt TM/ha erzielt, wohingegen die Erträge der Fruchtfolge 2 ohne Berücksichtigung von Stroh bei 431,5 dt TM/ha bzw. 419,6 dt TM/ha lagen. Deutlich geringere Gesamterträge erreichten die Fruchtfolgen 5 und 6. Bei der mehrjährigen Nutzung der Untersaat Luzernegrass in Fruchtfolge 4 ist darauf zu verweisen, dass erhebliche Probleme bei der Etablierung des Bestandes in der Pflugvariante vorlagen, welche zum Teil auf technische Probleme zurückzuführen waren. Daher ist zur weiteren Interpretation der Ergebnisse die zweite Rotation des Versuchs abzuwarten.

Die vergleichende Betrachtung der Bodenbearbeitungsvarianten ergab, dass sich die Erträge der Fruchtfolgen bei konventioneller Bodenbearbeitung nicht signifikant von der Minimalbodenbearbeitung unterscheiden.

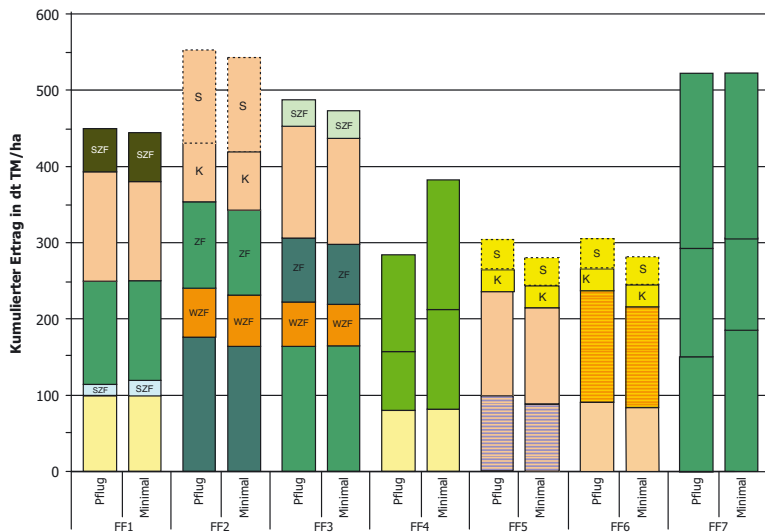


Abb. 4-5: Kumulierte Fruchtfolgeerträge bei konventioneller Bodenbearbeitung (Pflug) und Minimalbodenbearbeitung (2005 – 2008), Standort Dornburg (Die Pflugvariante entspricht der in Abb. 3-6 dargestellten ersten Versuchsanlage.)

### Winterweizenerträge

Bei einer Betrachtung der Erträge des Abschlussfruchtfolgeglieders wird zunächst ein deutlicher Einfluss der Vorfrucht auf den Ertrag ersichtlich (vgl. Abb. 4-6). In den Fruchtfolgen 5, 6 und 7 wurde bei konventioneller Bodenbearbeitung ein durchschnittlicher Ertrag von 114,4 dt/ha geerntet, dicht gefolgt von Fruchtfolge 3 mit 102,3 dt/ha und Fruchtfolge 8 mit 100,4 dt/ha. Fruchtfolge 8 erreichte trotz des hohen Durchwuchses von Topinambur, einen für den Standort repräsentativen Ertrag. Deutlich niedriger sind die Erträge bei den Fruchtfolgen 1, 2 und 4 ausgefallen. Im Durchschnitt wurde hier nur ein Ertrag von 83,8 dt/ha erzielt. Die

Bestände reiften schneller ab und insbesondere in der Fruchtfolge 2 ist davon auszugehen, dass von Wintertriticale (Kornnutzung) eine Krankheitsübertragung (Ährenfusarium) auf den Weizen stattgefunden hat.

Bei der Minimalbodenbearbeitung lagen die Kornerträge insgesamt niedriger. Besonders deutlich wird dies bei der Fruchtfolge 2 (70,1 dt/ha vs. 80,3 dt/ha), aber auch bei den Fruchtfolgen 6 (106,7 dt/ha vs. 117,5 dt/ha) und 7 (96,3 dt/ha vs. 110,9 dt/ha). Auch konnte bei der Minimalbodenbearbeitung in der Fruchtfolge 2 eine beschleunigte Abreife und ein Befall mit Ährenfusarium

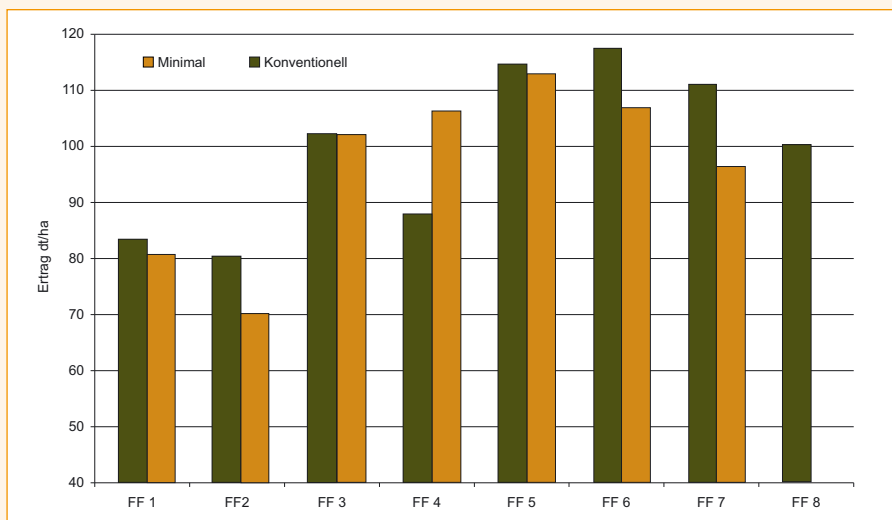


Abb. 4-6: Kornertag Winterweizen in Abhängigkeit von der Fruchtfolge und Bodenbearbeitung im Jahr 2008. 86 % TM

beobachtet werden. Vor dem Anbau von Marktfrüchten ist daher eine Unterbrechung der Befallsketten entweder durch eine angepasste und ggf. höhere Pflanzenschutzintensität oder den Einsatz von wendender Bodenbearbeitung zu gewährleisten.

Für die Praxis kann die vorläufige Schlussfolgerung gezogen werden, dass im Energiepflanzenanbau mit einer Minimalbodenbearbeitung eine Reduzierung der Kosten möglich ist. Zur Verifizierung der ertraglichen Wirkungen sind jedoch die weiteren Versuchsergebnisse abzuwarten. Bezüglich der ökologischen Vorteile der nicht wendenden Bodenbearbeitung in Bezug auf die Minderung von Erosionsrisiken wird auf die Darstellungen in Kapitel 6.1.3 verwiesen.

#### 4.4 Erntezeitpunkte

Mit dem Ziel, maximale Methanerträge zu erreichen, wurde der Fruchtfolgeversuch am Standort Güterfelde (vgl. Kap. 3.2.3) zusätzlich unter dem Aspekt der Optimierung des Erntezeitpunktes betrachtet. In Abhängigkeit vom Entwicklungsstadium und dem TM-Gehalt der einzelnen Fruchtarten sowie der Witterungssituation wurden zwei unterschiedliche Erntetermine gewählt. Neben dem im Projekt üblichen Standardtermin (Optimaltermin für Futternutzung nach Literatur) erfolgte eine etwa 7 – 14 Tage vorfristige Ernte. Grund für die Prüfung eines vorverlegten Erntetermins waren die nach dem Kenntnisstand zu Projektbeginn erwarteten höheren spezifischen Methangasausbeuten.



Wichtige Versuchsaspekte waren:

- das Erreichen von TM-Gehalten zur optimalen Silierung von 28 – 35 % und Optimierung von Methanausbeuten (vgl. Kap. 5.2)
- potenzielle Ertragszunahme zur Zeitspanne der Siloreife
- die Möglichkeiten einer früheren Saat der Nachfrucht.

Die Ertragszuwächse zwischen den beiden Terminen fielen bei den Fruchtarten unterschiedlich aus (vgl. Tab. 4-3) und waren beim Luzernegras (2007) mit ca. 40 dt TM/ha am höchsten. Deutliche Ertragszunahmen je Tag ( $> 1,5$  dt TM/ha) zeigten je nach Jahreswitterung Luzernegras (2007 und 2008), Klee gras (2007)<sup>13</sup>, Mais und Sorghum (b. x s.) in Hauptfruchtstellung sowie Grünschnittrögen als Winterzwischenfrucht. Im Ertragszuwachs ergaben sich für Sonnenblumen, Sorghum (b. x b.) und Einjähriges Weidelgras im Sommerzwischenfruchtanbau deutliche Unterschiede zwischen den Jahren (vgl. Kap. 3.2.3). Interessante Ergebnisse resultierten aus dem Vergleich zwischen den verschiedenen Sorghum-Sorten (b. x s.) im Zweitfruchtanbau. Während für die Sorte Susu (2006/2007) im Vergleich beider Erntetermine keine Ertragszunahme ermittelt wurde, wies die Sorte Lussi (2007/2008) deutliche Ertragszuwächse auf. Dieses Ergebnis in Verbindung mit dem Erreichen eines optimalen TM-Gehaltes von 28 – 35 % begründen eine besondere Eignung der Sorte *Lussi* als Zweitfrucht.

Die Jahreswitterung beeinflusst wesentlich das Erreichen des für die Silierung optimalen TM-Gehaltes (vgl. Tab. 4-3). So konnte bei beiden Ernteterminen 2007 die Spanne von 28 – 35 % besser eingehalten werden als 2006. Vor allem beim Ganzpflanzenge treide zeigten sich zwischen den einzelnen Jahren Unterschiede im Abreifeverhalten. Ein eindeutiger Zusammenhang zwischen BBCH-Stadien und TM-Gehalt kann daher auf leichten und trockenen Böden nicht hergestellt werden.

#### Empfehlungen zu Erntezeitpunkten

Neben der Betrachtung optimaler TM-Gehalte und einem optimalen Zeitpunkt für die Aussaat der Nachkultur sind bei der Gestaltung von innerbetrieblichen Erntezeitregelungen weitere Faktoren, wie die Entzerrung von Arbeitszeitspitzen, kleinräumige Witterungsextreme sowie Handlungsflexibilität bei schwankenden Preisen für Marktfrüchte und Energie substrate zu berücksichtigen.

Bei Mais ist eine Ernte zur Siloreife anzustreben. Nach Trockenphasen während der weiblichen Blüte können nicht nur Ertragseinbußen auftreten, sondern auch die Einhaltung des optimalen TM-Gehaltsbereiches und die Bestimmung des Erntetermins problematisch werden, wenn die Restpflanzen starke Trockenschäden aufweisen und ein schlechter Kornansatz vorhanden ist. Es empfiehlt sich die Beachtung von Erntezeitprognosen.

<sup>13</sup> Zu den Vorteilen einer reduzierten Schnitthäufigkeit in Ackerfuttermischungen vgl. auch Kap. 3.3.3.

Bei den Sorghumarten lässt sich die Reifeentwicklung am ehesten durch die Sortenwahl beeinflussen, mindestens werden jedoch 120 – 130 Tage von der Aussaat bis zur Ernte benötigt. Mindestwerte des TM-Gehaltes zur Ernte liegen bei 28 % für Sorghum (b. x s.) und 25 % für Sorghum (b. x b.).

Bei Ganzpflanzen-Getreide ist eine Ernte zwischen Milchreife und beginnender Teigrieffe anzustreben. Danach ist der Ertragszuwachs nur noch gering, so dass sich durch eine frühe Ernte die Nachfrucht zeitiger etablieren lässt, wodurch in der Summe beider Kulturen ein höheres Ertragsniveau je Flächeneinheit erreicht werden kann. Bei unzureichender Wasserversorgung ist in der generativen Phase eine noch frühere Ernte (Beginn Milchreife) anzustreben, da die unter diesen Bedingungen beschleunigte Abreife innerhalb von wenigen Tagen zu TM-Gehalten von > 40 % führen kann. Mehrjährige Ergebnisse zu „Erntezeitpunkten/Vegetationszeitausnutzung“ unter Berücksichtigung der Sortenwahl und unterschiedlicher Pflanzenschutzstrategien sind für die weitere Absicherung der Ergebnisse notwendig.



*Abb. 4-7: Maisbestand vor der Ernte am Standort Güterfelde; extreme Witterungsbedingungen 2006 führten zu Blattverlusten von ca. 40 %, zu einer inhomogenen Blüten- und Kolbenbildung (Wassermangel zur Blüte, Fingerkolbigkeit) und starkem Beulenbrandbefall; die Folge war eine differenzierte Abreife.*

Tab. 4-3: Vergleich der Erntezeitpunkte am Standort Güterfelde

Kulturart	vorfristiger Termin			Standardtermin			Differenz Ertrag	Differenz Tage	Ertragszu- nahme/d
	BBCH	Ertrag [dt TM/ha]	TM-Gehalt [%]	BBCH	Ertrag [dt TM/ha]	TM-Gehalt [%]			
Sommerroggen 2005	75	52	38	83	64	38	12	12	1,0
Sommerroggen 2006	71	38	40	83	40	48	2	12	0,2
Winterroggen 2007	73	62	25	81	68	28	6	6	1,0
Winterroggen 2008	71	105	38	77	108	46	3	6	0,4
Wintertriticale 2006	71	50	36	83	64	56	14	13	1,1
Wintertriticale 2007	75	59	27	81	65	28	6	6	1,0
Wintertriticale 2008	71	77	40	75	82	45	5	5	1,0
Mais HF 2005	77	144	25	85	158	35	14	15	0,9
Mais HF 2006 (Abb. 4-6)				85	85	25	18	14	1,3
Mais HF 2007	83	179	27	85	192	32	13	7	1,9
Mais ZF 2006	85	75	28	87	79	35	4	7	0,6
Mais ZF 2007	83	145	30	85	148	30	3	5	0,6
Sorghum (b. x s.) HF (Susu) 2005	69	119	20	83	150	25	31	15	2,1
Sorghum (b. x s.) HF (Susu) 2006	75	81	28	83	99	33	18	13	1,4
Sorghum (b. x s.) ZF (Susu) 2006	71	58	26	77	53	26	-5	13	-0,4
Sorghum (b. x s.) ZF (Susu) 2007	75	120	20	81	120	21	0	13	0,0
Sorghum (b. x s.) ZF (Lussi) 2007	73	131	28	75	153	29	22	13	1,7
Sorghum (b. x s.) ZF (Lussi) 2008	83	74	27	85	83	30	9	8	1,2
Sorghum (b. x b.) SZF 2007	53	74	17	59	89	20	15	7	2,1
Sorghum (b. x b.) SZF 2008	32	21	16	34	22	16	1	7	0,2
Grünschnittroggen 2006*	49	29	14	59	37	19	8	6	1,3
Grünschnittroggen 2007*	49	42	20	59	53	20	11	8	1,4
Grünschnittroggen 2008*	53	50	16	59	62	17	12	4	3,0
Kleegras 2006	+	33	18	+	46	20	13	14	0,9
Kleegras 2007	+	56	18	+	82	17	26	9	2,9
Luzerngras 2007	+	75	18	+	114	17	39	9	4,3
Luzerngras 2008	+	70	24	+	98	26	28	14	2,0
Sonnenblume 2005	61	43	16	77	72	15	29	18	1,6
Sonnenblume 2006	71	54	19	83	55	20	1	11	0,1

\* Grünschnittroggen und Ackerfutter sind anzuwelken, TM-Gehalte beziehen sich hier auf das Ausgangssubstrat; + je 4 Aufwüchse zu unterschiedlichen Entwicklungsstadien genutzt

Bewertung von Trockenmassegehalt und Ertragszuwachs: **positiv = grün, negativ = rot**

## 5 Substratqualität und Biogasausbeute

Neben optimaler Anbau- und Ernteverfahren sind Fragen der Konservierung und Lagerung qualitätsgerechter Substrate für einen kontinuierlichen und wirtschaftlichen Betrieb von Biogasanlagen von entscheidender Bedeutung. Da Schwankungen in der Substratqualität den Biogasprozess erheblich beeinflussen, ist eine gute Silier- und Lagerfähigkeit des Substrates bei geringen Verlusten ein Grundvoraussetzung für einen hohen Gasertrag.

Prinzipiell sind bei der Silagebereitung für die Biogaserzeugung die siliertechnischen Grundlagen zur Sicherung von Qualität und Stabilität von Silagen aus der Futtermittelkunde übertragbar. Das Ziel einer schnellen und weitgehenden Vergärbarkeit der organischen Substanz bei der Nutzung als Biogassubstrat bedingt einen hohen Anteil an wertgebenden Inhaltsstoffen wie leicht vergärbaren Kohlenhydraten, Fetten und Proteinen. Gleichzeitig sollte sich das Substrat durch einen geringen Gehalt an nicht oder schwer vergärbaren Bestandteilen wie Lignin bzw. komplexen Lignin-Cellulose-Verbindungen und Mineralstoffen auszeichnen. Die Qualität des Substrates und damit verbunden das Methanbildungspotenzial wird von einer Reihe von stofflichen und verfahrenstechnischen Einflussgrößen entlang der Bereitstellungskette zwischen Anbau und Lagerung bestimmt, die in Abbildung 5-1 dargestellt sind.

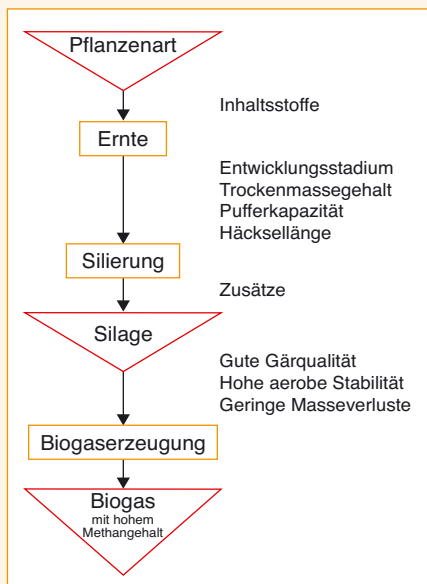


Abb. 5-1: Ausgewählte Einflussgrößen für die Bereitstellung qualitativ hochwertiger Silagen zur Biogaserzeugung.

### 5.1 Einfluss der Pflanzenart auf Siliereignung und Methanausbeute

Aufgrund der stofflichen Zusammensetzung und des Wassergehaltes sind Pflanzenarten unterschiedlich für die Silierung geeignet. Nach der Bestimmung von Trockenmasse- und Zuckergehalt sowie der Pufferkapazität lässt sich diese Eignung als Vergärbarkeitskoeffizient berechnen.



Tab. 5-1: Siliereignung in Abhängigkeit der Pflanzenart (Mittelwerte der Proben aus den Fruchtfolgeversuchen).

Pflanzenart	BBCH	TM-Gehalt [%]	mittelschwer bis leicht silierbar; TM > 35 %	mittelschwer bis leicht silierbar; TM < 35 %	schwer silierbar
Wintertriticale	71 – 83	40,2	X		
Hafer	77 – 83	40,7	X		
Sommergerste	83 – 85	38,9	X		
Sommerroggen	83 – 85	42,7	X		
Grasmischung	–	28,6		X	
Mais	83 – 87	28,4		X	
Topinamburkraut	39 – 61	29,6		X	
Sorghum	77 – 85	24,8			X
Grünschnittroggen	51 – 59	25,4			X
Luzerne/Gras	41 – 60	20,1			X
Sonnenblume	83	19,0			X

In Tabelle 5-1 wurden aus experimentell ermittelten Vergärbarkeitskoeffizienten abgeleitete Siliereignungsbewertungen zusammengestellt.

Mais, Getreide und Grasmischungen werden zu den mittelschwer bis leicht silierbaren Pflanzen gezählt. Pflanzen, die dagegen zum Zeitpunkt der Einsilierung einen geringen TM-Gehalt ausweisen, sind als schwer silierbar einzuordnen. Dazu zählt Sorghum, wobei zuckerreiche Sorghumarten eine bessere Silierbarkeit aufweisen als Varianten mit geringen Zuckergehalten. Weiterhin wurden Grünschnittroggen, Luzerne-Gras-Mischungen und Sonnenblumen aufgrund hoher Pufferkapazitäten und geringer TM-Gehalte zur Ernte als schwer silierbar bewertet. Bei Grünschnittroggen und Grasmischungen kann ein optimaler TM-Gehalt jedoch durch Anwelken erzielt werden. Bei Haupt- und Zweitfrüchten sind Tro-

ckenmasse- und Zuckergehalt durch Variation des Erntezeitpunktes zu beeinflussen (vgl. Kap. 5.2).

Für die Biomethanisierung geeignete Pflanzenarten zeichnen sich neben einer guten Silierfähigkeit auch durch möglichst hohe, auf den Inhaltsstoffen basierende spezifische Methanbildungspotenziale aus. Um die Pflanzenarten, die in den Fruchtfolgen des Verbundprojektes zum Anbau kommen, diesbezüglich bewerten zu können, wurden ausgewählte Proben in Batch-Gärtests nach VDI-Richtlinie 4630 untersucht. So konnte die Biomethanisierung des Pflanzenmaterials unter einheitlichen, optimierten Bedingungen analysiert werden, wodurch ein direkter Vergleich der untersuchten Substrate möglich wird (vgl. Tab. 5-2).

Künftig können auch mathematische Ansätze genutzt werden, um Methan-

Tab. 5-2: Pflanzenart und Methanausbeute.

\*angewelkt

Pflanzenart	Methanausbeute [l <sub>N</sub> /kg oTM]		Methanausbeute [l <sub>N</sub> /kg FM]		Methanengehalt [Vol-%]	
	Mittelwert	Spannweite	Mittelwert	Spannweite	Mittelwert	Spannweite
Grünschnittroggen*	388	339 – 427	78	56 – 101	60	57 – 61
Grasmischung, 1. Aufwuchs	368	277 – 418	86	38 – 146	57	53 – 61
Wintertriticale	360	327 – 416	127	91 – 163	56	54 – 57
Mais	344	312 – 408	95	78 – 122	55	53 – 58
Grasmischung, 2. Aufwuchs	343	298 – 392	93	43 – 132	58	55 – 61
Sommergerste	320	279 – 350	123	102 – 158	55	54 – 56
Sorghum	312	267 – 350	74	62 – 85	57	54 – 59
Luzerne/Gras	311	272 – 337	54	44 – 58	61	59 – 63
Sommerroggen	299	291 – 313	133	108 – 162	55	54 – 56
Hafer	293	260 – 307	115	97 – 133	55	54 – 57
Ölrettich (ZwF)	286	265 – 333	27	20 – 36	59	55 – 62
Sonnenblume	268	232 – 299	46	35 – 61	55	50 – 63
Topinamburkraut	234	232 – 299	59	49 – 68	54	52 – 57

ausbeuten von pflanzlichen Substraten zu bestimmen bzw. abzuschätzen. Hierzu liegen bereits einige vielversprechende Ansätze vor, deren Anwendungen jedoch im jetzigen Stadium noch keine zufriedenstellenden Ergebnisse erbringen, was in erster Linie an der nicht ausreichenden Parametrisierung für die verschiedenen Pflanzenarten liegt.

Neben Mais erzielten auch Grasmischungen, Grünschnittroggen, Wintertriticale, Sommergerste und Sorghum Methanausbeuten über 300 l<sub>N</sub>\*kg<sup>-1</sup> oTM. Allgemein war ein guter Zusammenhang zwischen der mittleren Methanausbeute der Silagen und dem mittleren Gehalt an

Lignin bzw. der Summe aus Lignin und Cellulose gegeben. Zu den Pflanzen mit den geringsten Methanausbeuten zählten unter anderem Proben von Topinamburkraut, Sonnenblume, Ölrettich und Hafer. Topinamburkraut wies mit im Mittel 12 % auch den höchsten Lignin-Anteil auf.

Die Höhe des zu erwartenden Methanhektarertrages wird sowohl durch den Biomassertrag der Pflanze je Hektar als auch durch den Methanertrag, der je Tonne Pflanze in der Biogasanlage erzeugt wird, bestimmt.

Für die Bewertung der fünf ausgewählten Fruchtfolgen wurden anhand der gemittelten Ertragsdaten<sup>14</sup> aller Standorte sowie der gemittelten Methanausbeuten der Jahre 2005 und 2007 der jeweiligen Pflanzenarten<sup>15</sup> die Gesamt-

<sup>14</sup> Ohne vorzeitige Erntetermine.

<sup>15</sup> Unter Berücksichtigung der Gärverluste bei der Silierung.

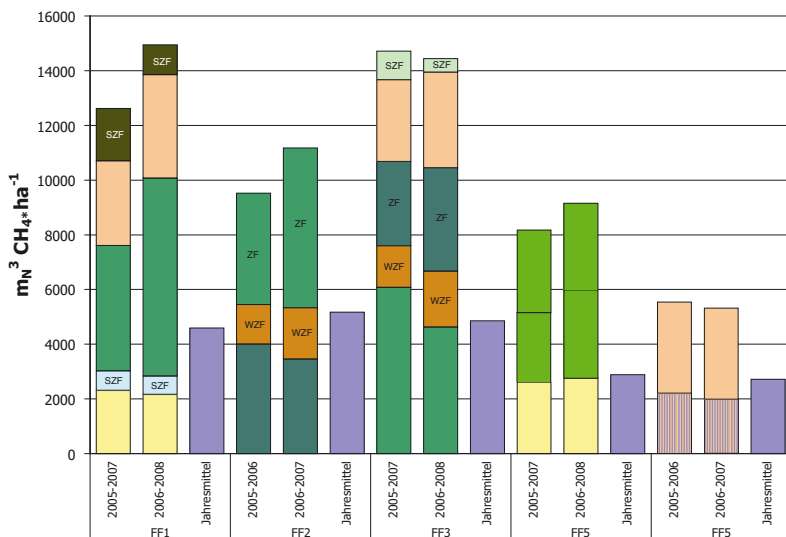


Abb. 5-2: Kumulierte Methanhektarerträge unterschiedlicher Fruchtfolgen im Mittel aller Versuchsstandorte und Jahresmittelwerte. In den Fruchtfolgen vorkommende Marktfrüchte wurden bei der Berechnung der Biogaserträge nicht berücksichtigt, so dass es sich bei den kumulierten Werten der Fruchtfolgen 2 und 5 nur um 2-jährige Ergebnisse handelt.

Methanhektarerträge berechnet (vgl. Abb. 5-2). Die Fruchtfolge 3 mit Mais und Wintertriticale als Hauptfrüchte, Grünschnittroggen und Weidelgras als Zwischenfrüchte und Sorghum als Zweitfrucht ist eine vorzügliche Fruchtfolge im Hinblick auf den Gesamt-Methanhektarertrag. Den höchsten Jahresmittelwert erzielte hingegen Fruchtfolge 2, die allerdings wie Fruchtfolge 5 einen geringeren Anteil an Fruchtfolgegliedern für die Nutzung als Biogassubstrat aufweist.

## 5.2 Einfluss des Erntezeitpunktes auf die Methanausbeute

Der Methanertrag wird nicht nur durch die Pflanzenart sondern auch durch den Erntezeitpunkt beeinflusst. Dies ist bei der Gestaltung von Anbausystemen (z. B. Zweikultur-Nutzung), Fruchtfolgen sowie Schnittregimen im Ackerfutterbau zu berücksichtigen. Zudem hat der Erntezeitpunkt einen bestimmenden Einfluss auf den maximalen Methanertrag pro kg oTM und auf die Silagequalität. Eine hohe Silagequalität und geringe Verluste

werden bei einem Trockenmassegehalt von 28 – 35 % des Pflanzenmaterials erreicht. Da eine Erhöhung des TM-Gehaltes des Siliergutes über ein Optimum hinaus zu Problemen bei der Verdichtung des Pflanzenmaterials im Silo und zu einem höheren Risiko der Nacherwärmung der Silage führt, ist ein Kompromiss hinsichtlich Pflanzenertrag (TM-Ertrag) und Pflanzenqualität zu schließen.

### 5.2.1 Erntezeitpunkte in den Fruchtfolgen

Auf Grundlage einer kombinierten Bewertung der Ergebnisse aus den pflanzenbaulichen Versuchen in Güterfelder (vgl. Kap. 4.3) und denen der Batch-Gär-

tests lassen sich Aussagen über den Einfluss unterschiedlicher Erntezeitpunkte ableiten.

Am Beispiel der 2006 und 2007 untersuchten Proben (vgl. Abb. 5-3) konnte gezeigt werden, dass sich die Methanausbeuten zu den beiden Ernteterminen nur gering voneinander unterschieden. Von dem 7 – 14 Tage vorfristigen Erntezeitpunkt (1. Erntezeitpunkt) bis zum Standarderntezeitpunkt (2. Erntezeitpunkt) nahmen die Methanausbeuten im Jahr 2006 überwiegend geringfügig zu, im Jahr 2007 jedoch grundsätzlich geringfügig ab. Im Mittel betragen die Unterschiede in der Methanausbeute zwischen den beiden Erntezeitpunkten nur etwa 3 %.

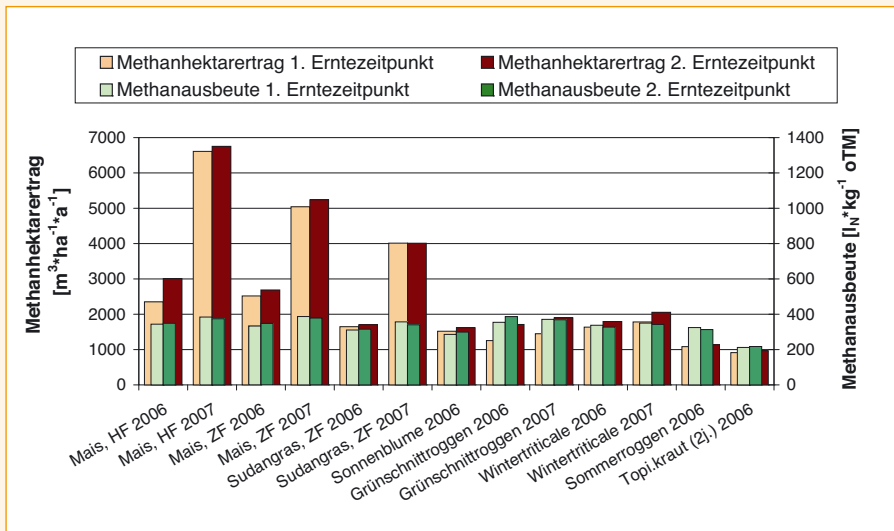


Abb. 5-3: Methanausbeuten und Methanhektarertrag verschiedener Ganzpflanzensilagen zu jeweils zwei Ernteterminen in den Jahren 2006 und 2007 am Standort Güterfelde ermittelt anhand von Batch-Gärtests.





Witterungsbedingt lagen die TM-Erträge zur Ernte im Jahr 2006 vergleichsweise niedrig, im Jahr 2007 hingegen insbesondere für Mais und Sorghum überdurchschnittlich hoch (vgl. Kap. 4.3). Entsprechend waren für diese Pflanzenarten im Jahr 2007 – verglichen mit dem Jahr 2006 – deutlich höhere Methanhektarerträge zu verzeichnen. Bei allen untersuchten Pflanzenarten und über beide Versuchsjahre konnten einheitlich für die zum Standarderntezeitpunkt geernteten Substrate höhere Methanhektarerträge ermittelt werden als bei vorfristiger Ernte, wobei zusätzlich zur Methanbildung Flächenenerträge sowie die Verluste bei der Silierung berücksichtigt wurden.

Sind frühere Ernten für die termingerechte Saat einer Nachfrucht notwendig, ist mit geringeren Methanhektarerträgen

sowie mit einer verminderten Siliereignung bei unzureichenden TM-Gehalten zu rechnen. Ein optimaler Verlauf der Konservierung sollte dann durch geeignete Maßnahmen, wie der Zugabe von Siliermitteln oder dem Anwelken des Erntegutes, sichergestellt werden. Da spätestens ab Ende der Teigreife die Lignifizierung der Pflanzen zu einer Abnahme des Methanbildungspotenzials führt und Probleme bei der Verdichtung des Erntegutes im Silo auftreten können, sind auch sehr späte Ernten und TM-Gehalte von deutlich über 35 % zu vermeiden.

## 5.2.2 Ackerfutter-Schnittregime

Auch bei den Versuchen zum Ackerfutter (vgl. Kap. 3.3.3) wurde der Einfluss verschiedener Schnittregime auf die Methanausbeute untersucht. Tabelle 5-3 zeigt die beiden untersuchten Schnittregime.

Dabei wurde unabhängig von den verschiedenen Mischungen deutlich, dass die Nutzung mit verminderter Schnittfrequenz insgesamt höhere TM-Erträge pro Hektar und Jahr liefert. Erste Ergebnisse zu Methanbildungspotenzialen (vgl. Abb. 5-4) deuten darauf hin, dass die

Tab. 5-3: Schnittregime der Ackerfuttermischungen.

Schnittregime	Anzahl Schnitte	Beschreibung
früh	4–5	1. Aufwuchs: Beginn Ährenschieben (ES 51) Folgeaufwuchs: Ende Schossphase (ES 39)
spät	3–4	1. Aufwuchs: Ende Ähren-/Rispen-schieben (ES 59) Folgeaufwuchs: Ende Schossphase/Beginn des Ähren-/Rispen-schiebens (ES 39 – 51)

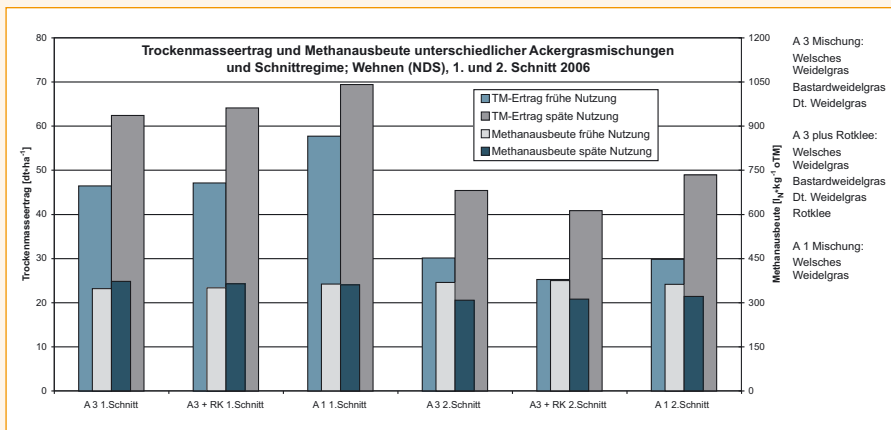


Abb. 5-4: TM-Erträge sowie gemessene Methanausbeuten der Silagen des 1. und 2. Schnittes, Standort Wehnen, 2006.

im frühen Stadium geschnittene Biomasse vor allem bei den Folgeaufwüchsen tendenziell höhere Methanausbeuten liefert. Dieses höhere spezifische Methanbildungspotenzial je kg oTM reicht jedoch nicht aus, um die Ertragsvorteile des reduzierten Nutzungsregimes zu kompensieren. Die in der Literatur oft vertretene Meinung, Ackergräser für die Biogasproduktion häufiger zu schneiden als bei der Futtermutzung, hat sich insofern nicht bestätigt.

### 5.3 Einfluss von Silierparametern auf die Methanausbeuten

#### Einfluss der Häcksellänge

Für die Biogasproduktion empfehlen sich zur Gewährleistung einer guten Silier-, Verdicht-, und Mischbarkeit kurze Häcksellängen für das Substrat. Allerdings

können minimale Häcksellängen aufgrund der Häckslerkapazität z. T. zur Leistungsminderung bei der Ernte führen. Weiterhin ist zu beachten, dass eine Reduzierung der Häcksellängen den Dieserverbrauch erhöht.

Auf der anderen Seite stellt das Zerkleinern des Pflanzenmaterials eine mechanische Aufbereitung dar. Neben der Vergrößerung der Partikeloberflächen werden Zellstrukturen aufgebrochen und dadurch extrazelluläre Substanzen freigesetzt. Dies führt zu einer erhöhten Verfügbarkeit von Nährstoffen und leistet einen Beitrag zur Verbesserung der Verdaulichkeit und zur Erhöhung der Energieausbeute, wobei jedoch erhöhte Sickersaftverluste zu vermeiden sind.

#### Einfluss der Silagequalität

Bei der Betrachtung der Zusammenhänge von Silierung und Methanausbeute ist

insbesondere der Einfluss der Silagequalität auf die Methanbildung von Interesse. Die Bewertung der Silagequalität, also des Konservierungserfolges der Milchsäuregärung, stammt aus der Futtermittelkunde und wird üblicherweise nach den DLG-Schlüsseln für die Grobfutterbewertung durchgeführt. Dazu werden Buttersäure- und Essigsäuregehalte in Verbindung mit TM-Gehalt und pH Wert durch Punkte bewertet und aus der Gesamtpunktzahl eine Note abgeleitet.

Ausgewählte Silagen mit verschiedenen, nach DLG-Schlüssel bewerteten Qualitätsstufen wurden auf ihr unterschiedliches Methanbildungspotenzial untersucht. Dabei wurden zunächst für die Silagen mit schlechter Qualität höhere Methanausbeuten gemessen als für die Silagen mit guter Qualität. Bei Einrechnung der Gärverluste, die bei den nicht optimal fermentierten Silagen deutlich höher waren als bei den „guten“ Silagen, wird jedoch offensichtlich, dass die Methanausbeute bezogen auf die oTM-Erntemenge mit abnehmender Silagequalität sinkt. So lagen die mittleren Methanausbeuten der als „sehr schlecht“ bewerteten Silagen unter Berücksichtigung der Verluste um bis zu 13 % niedriger als die Methanausbeuten der Silagen mit „sehr guter“ Gärqualität.

Bei einzelnen Untersuchungen an Praxis-silagen, die eine deutliche Buttersäuregärung bzw. aeroben Verderb aufwie-

sen, wurde durch diese Siliermängel eine Minderung der Methanausbeute bei Berücksichtigung der Silierverluste um 31 bzw. 16 % ermittelt. Fehlgärungen sind demzufolge vor dem Hintergrund erhöhter Masseverluste auch bei der Silierung von Pflanzen für die Biogaserzeugung bestmöglich zu vermeiden.

### **Einfluss von Siliermitteln**

Um den Anforderungen nach gesicherter Silagequalität, reduzierten Gärverlusten bei der Silierung und hohen Methanbildungspotenzialen von Ganzpflanzen für die Biogaserzeugung gerecht zu werden, können dem zu konservierenden Material Silierhilfsmittel zugesetzt werden. Im Rahmen der durchgeführten Untersuchungen wurden für Mais, Grünschnittroggen, Sorghum und Triticale jeweils ein angepasstes chemisches Siliermittel<sup>16</sup> sowie ein biologischer, speziell für die Biogasnutzung konzipierter Zusatz<sup>17</sup> hinsichtlich ihrer Wirkung auf Siliererfolg und Methanausbeute getestet.

Der Zusatz der chemischen Siliermittel bewirkte einen insgesamt geringeren Anteil an organischen Säuren und Alkoholen in den Silagen. Durch die verminderten Umsetzungsprozesse wurden geringere Gärverluste erzeugt. Der Zusatz des biologischen Siliermittels förderte entsprechend des Produktdesigns vor allem die Bildung von Essigsäure. Hohe Essigsäuregehalte waren mit geringeren Milchsäuregehalten in den Silagen ver-

<sup>16</sup> Wirkstoff Natriumbezoat und Natriumpropionat bei Mais bzw. Natriumnitrit und i-Hexamethylentetramin bei Grünschnittroggen, Sorghum und Triticale

<sup>17</sup> Homo- und heterofermentative Milchsäurebakterien.

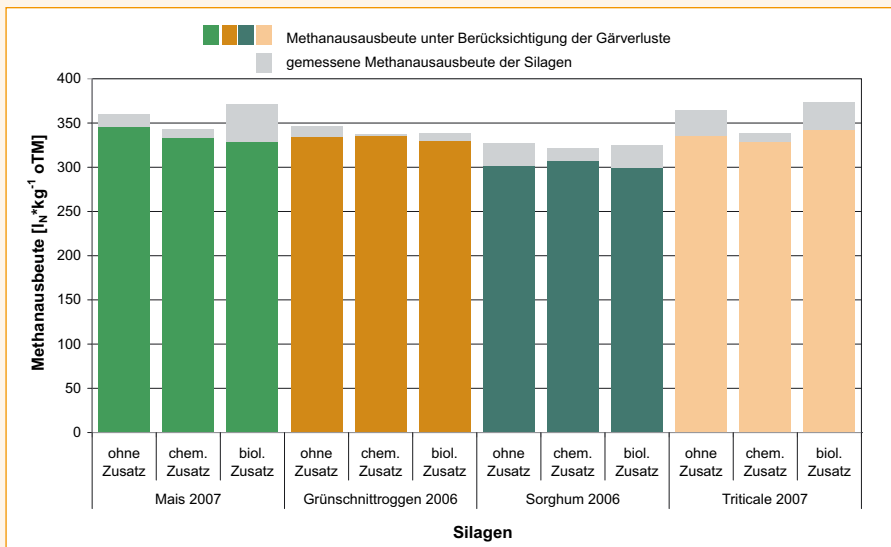


Abb. 5-5: Einfluss von Siliermittelzusätzen auf die Methanausbeute von Mais, Grünschnitttroggen, Sorghum und Triticale-GPS unter Berücksichtigung von Gärverlusten nach 90-tägiger Lagerdauer im Modellsilo.

bunden und führten teilweise zu Punktabzug bei der Bewertung der Gärqualität nach dem aktuellen DLG-Schlüssel. Ein erhöhter Essigsäuregehalt ist jedoch durch Applikation des Präparates beachtlich, da die Essigsäure ein direktes Ausgangssubstrat der Methanbildung im Biogasprozess darstellt und die aerobe Stabilität von Silage verbessert wird. Die Bildung der Essigsäure durch heterofermentative Milchsäurebakterien bei Zusatz des biologischen Siliermittels bedingte leicht höhere Gärverluste verglichen mit den übrigen Varianten.

Die Ergebnisse (Abb. 5-5) zeigen, dass bei Zusatz des chemischen Siliermittels überwiegend etwas geringere, bei Zusatz

des biologischen Siliermittels die höchsten Methanausbeuten im Gärtest gemessen wurden. Bei Berücksichtigung der fermentationsbedingten Trockenmasserverluste gleichen sich diese Unterschiede jedoch aus. Allein durch die Änderung des Gär säuremusters bei Zusatz der Siliermittel wurde demnach bei Berücksichtigung der Gärverluste keine deutliche Erhöhung der Methanausbeute erzielt. Werden jedoch mit Hilfe des Silierzusatzes Fehlgärungen oder hohe Verluste durch Nacherwärmung verhindert, ist von einem positiven Effekt des Einsatzes eines angepassten Siliermittels auszugehen. Hierbei kann einer deutlichen Abnahme der Methanausbeute durch Masserverluste entgegengewirkt werden.



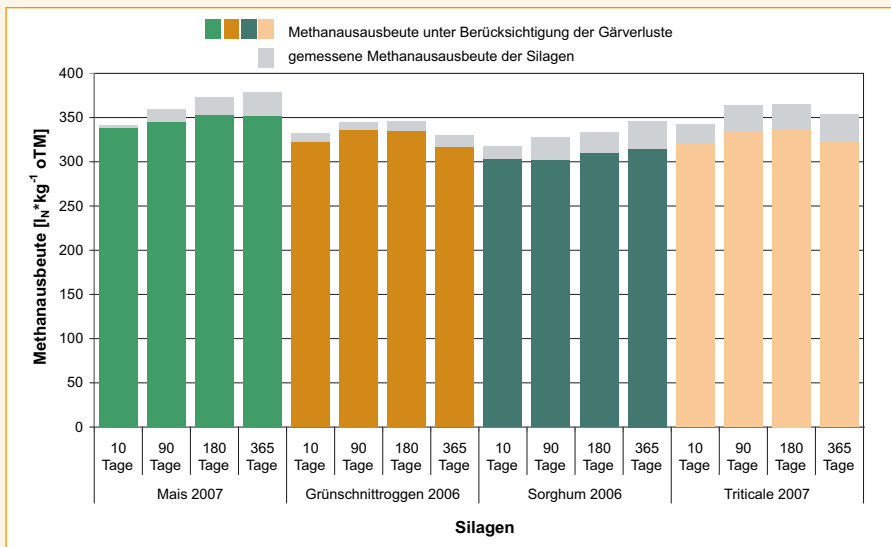


Abb. 5-6: Methanausbeuten von Mais, Grünschnittroggen und Sorghum-GPS nach unterschiedlicher Lagerdauer im Modellsilo.

### Einfluss der Silierdauer

Die Dauer der Lagerung einer Silage unter anaeroben Bedingungen hat Einfluss auf die für Fermentationsprozesse zur Verfügung stehende Zeit und damit auf die Menge an Gärprodukten und die Höhe der Verluste. An Silagen von Mais, Grünschnittroggen, Sorghum und Triticale wurden verschiedene Lagerungszeiten von 10 bis 365 Tagen untersucht. Wie zu erwarten, nahmen die Gärverluste bei der Silierung mit zunehmender Lagerdauer zu. Nach 365 Tagen wurden um 1,2 bis 6,4 % höhere TM-Verluste gemessen verglichen mit den 10-Tages-Silagen. Alle Silagen wurden mit „guter“ bis „sehr guter“ Gärqualität bewertet. Die höheren Verluste bei langer Lagerdauer hatten letztlich keine negativen Auswirkungen

auf die Methanausbeute (vgl. Abb. 5-6). Mit zunehmender Lagerdauer bis 180 bzw. 365 Tage wurden bei den untersuchten Pflanzenarten tendenziell sogar leicht steigende Methanausbeuten der Silagen gemessen. Werden die Gärverluste bei der Silierung in die Bewertung der Methanausbeute mit einbezogen, so gleichen sich jedoch höhere Methanausbeuten mit höheren TM-Verlusten aus (vgl. Abb. 5-6). Um eine stabile, reife Silage zu erzeugen, ist eine Mindestsilierdauer von 4 – 6 Wochen empfehlenswert. Eine lange Lagerdauer von Silagen mit guter Gärqualität ist ohne Minderung der Methanausbeute möglich, wenn die allgemein gültigen Silierregeln eingehalten werden und strikt anaerobe Bedingungen gewährleistet sind.

## 6 Ökologische Bewertung

Bei der Bewertung der Folgewirkungen des Energiepflanzenanbaus auf ökologische Zielgrößen ist zwischen den Effekten zu unterscheiden, die von Änderungen in der Landnutzung allgemein bzw. von speziellen Verfahren des Anbaus von Energiepflanzen hervorgerufen werden können. Nur die systemimmanenten Effekte des Energiepflanzenanbaus können durch die Verfahrensgestaltung direkt beeinflusst oder gesteuert werden. Zu den Besonderheiten der im Rahmen des EVA-Verbands geprüften Anbausysteme gehört die Kombination einer Vielzahl, zum Teil auch neuartiger sommer- und winterannueller Kulturarten, Sorten und Mischkulturen sowie der Anbau mehrjähriger Ackerfuttermischungen und der Zwischenfruchtanbau innerhalb verschiedener Fruchtfolgesysteme. Im Kontext einer Betrachtung verschiedener Fruchtfolgestellungen wird auch das Zweikultur-Nutzungssystem, als neues Anbausystem mit seinen veränderten Übergangsterminen zwischen Erst- und Zweitkultur, untersucht.



Im Vergleich mit der Nahrungs- und Futtermittelproduktion ist auch die im Zusammenhang mit der Biogasproduktion verbundene verstärkte Rückführung von Gärresten in die Betrachtung einzu-beziehen.

### 6.1 Auswirkungen auf Boden und Umwelt

Um den Energiepflanzenanbau in seiner Wirkung auf den Boden und die Umwelt zu bewerten, werden mit der Analyse des Stickstoff- und Humushaushaltes sowie der potenziellen Gefährdung durch Wassererosion, ausgesuchte Indikatoren untersucht werden.

Für die folgenden Berechnungen wird vereinfachend von einer ausschließlichen Vergärung der angebauten Energiepflanzen ausgegangen, der Gärrest wird gasdicht gelagert und im Rahmen der Fruchtfolge ausgebracht. Die Vergärung von Gülle aus der Tierhaltung wird aus Vereinfachungsgründen nicht betrachtet, zumal sie auch nicht Gegenstand des Forschungsverbundprojektes war.

#### 6.1.1 Humusbilanz

Der Humusgehalt des Bodens ist ein wesentlicher Faktor für die Fruchtbarkeit am Standort. Er beeinflusst die Speicherung und Umsetzung der Nährstoffe. Die Wasserhaltefähigkeit trägt zur Bildung und

$$\text{Humussaldo} = \text{Humus-Reproduktionsleistung organischer Substanzen} - \text{Humusbedarf anbauspezifisch}$$

Abschätzung der Veränderungen der Humusvorräte im Boden

- a) Menge und Qualität der organischen Primärsubstanzen: Stroh, Mist, Gülle, Gärrest, Kompost, Gründüngung  
b) Humusmehrende Früchte

Humuszehrende Fruchtarten, Bewertung in Abhängigkeit von Ernterückständen, Wurzelmasse, Rhizodeposition und Anbauverfahren

Abb. 6-1: Schema zur Berechnung der Humusbilanz, nach Hülsbergen u. Schmidt (2008), verändert.

Erhaltung einer günstigen Bodenstruktur bei und kann als CO<sub>2</sub>-Senke oder -Quelle wirken.

Das Prinzip der Humusbilanzierung besteht darin, dem *Humusbedarf* von humuszehrenden Fruchtarten wie Silomais und Getreide, die *Humuszufuhr* gegenüber zu stellen. Die Humuszufuhr erfolgt durch organische Düngung oder humusmehrende Fruchtarten wie mehrjähriges Ackerfutter und Zwischenfrüchte (vgl. Abb. 6-1). Der Humusbedarf einzelner Fruchtarten definiert die Menge an organischer Substanz, die dem Boden zugeführt werden muss, um den stattfindenden Humusabbau durch Mineralisation auszugleichen.

Derzeit existieren verschiedene Methoden zur Humusbilanzierung, beispielsweise die dynamische Humuseinheiten-Methode (HE-Methode) und das Verfahren nach VDLUFA. Erstgenannte berücksichtigt im Vergleich zum Schema in Abbildung 6-1 und zur VDLUFA-Me-

thode zusätzlich Ackerzahl, Ertrag und die Höhe der Stickstoffdüngung. Bei der Humusbilanzierung nach der HE-Methode, wurde vereinfachend von einer Stickstoffdüngung in Höhe der N-Abfuhr abzüglich der Frühjahrs-N<sub>min</sub>-Werte (0–90 cm) und eines anrechenbaren Anteils der atmosphärischen Deposition ausgegangen.

- Tabelle 6-1 zeigt den Humusbedarf ausgewählter Energiepflanzen. Die Humuswirkung der angebauten Energiepflanzen lässt sich demnach gliedern in
- Pflanzen mit sehr hohem Bedarf an Humus-C wie Mais,
  - Pflanzen mit mittlerem Bedarf wie Getreide oder Sorghumarten,
  - leichte Humusmehrer wie Zwischenfrüchte, dazu zählen: Grünschnittroggen, Weidelgras, Ölrettich, Senf,
  - starke Humusmehrer wie Klee- oder Luzernegras.

Quelle der organischen Substanz für die Humusproduktion im Energie-

pflanzenanbau für die Biogasproduktion sind an erster Stelle die zurückgeführten Gärreste. Mit Blick auf die untersuchten Fruchtfolgen sind an zweiter und dritter Stelle Stroh aus dem Marktfrucht- und Gründüngung aus dem Zwischenfruchtanbau zu nennen. Eine Einschätzung der Humuswirkung von Gärresten, d. h. der Menge des Kohlenstoffs in den Gärresten, der in Humus-C umgesetzt wird (Humus-Reproduktionsfaktor), ist jedoch aktuell noch in der wissenschaftlichen Diskussion. Nach aktuellem Stand des Wissens ist die Spanne von „wie unvergorene Gülle tierischer Herkunft“ (0,22)<sup>18</sup> bis zu „besser als Stallmist“ (0,40) denkbar.

Ohne Rückführung von Gärresten wären die Humusbilanzen der Standardfruchtfolgen (FF 1 – 5) im Median aller Standorte negativ, da die meisten der angebauten Haupt- und Zweitfrüchte zu einer Humuszehrung führen (vgl. Abb. 6-2). Eine Ausnahme davon bildet FF 4 mit mehrjährigem Klee- bzw. Luzernegras. Hier werden hohe, positive Humussalden auch ohne Gärrestausringung erzielt. Mehrjähriges Klee- oder Luzernegras eignet sich daher als Sanierungsfrucht für Fruchtfolgen mit stark zehrenden Früchten. Nimmt man einen mittleren Humusreproduktionskoeffizienten von 0,31 an, so liegen die Salden der Humusbilanzen bei vollständiger Rückführung der Gärreste auf die Anbaufläche in den Humusbilanzklassen B, C und D (Saldengruppen entsprechend Abb. 6-2). Die Salden sind damit als ausgleichend und nachhaltig zu bewerten.

<sup>18</sup>  $t \text{ Humus-C} / t \text{ C im Gärrest}$

In Abbildung 6-3 sind die Salden der Humusbilanzen für Fruchtfolge 3 (vgl. Tab. 2.1) in Abhängigkeit von der Stickstoffversorgung mit Gärrest dargestellt. Dabei entspricht eine Stickstoffversorgung von 72 % einer vollständigen Rückführung der Gärreste auf ihre Herkunftsfläche, da Stickstoffverluste bei der Silierung (15 %) und bei der Ausbringung (15 % von Gesamt-N) berücksichtigt wurden.

Dabei zeigt sich der Einfluss der standortspezifischen Faktoren, die nach der HE-Methode berücksichtigt werden, wie beispielsweise die Ackerzahl. Entscheidend ist, dass bei einem höheren Ertragsniveau mehr Gärreste und insofern auch mehr organische Substanz zur Humusreproduktion zur Verfügung steht. Die besseren Standorte Ettlingen, Dornburg, Gülzow und Ascha mit einer Ackerzahl über 47 erreichen daher bereits in der Variante mit 50 % Stickstoff aus Gärrest, Humussalden der Gruppe B – E. Die Humus-C-Salden der Standorte Güterfelde, Trossin und Werlte sind erst bei einer Stickstoffversorgung aus Gärresten von 72 % im Bereich der Gruppen B bis D. Zu berücksichtigen ist jedoch der Unsicherheitsbereich der Humusreproduktions-Faktoren (als Balken dargestellt).

### Humusbilanzmethoden im Vergleich am Beispiel Silomais

Die Werte für den Humusbedarf nach den unterschiedlichen Methoden weichen für Mais deutlich voneinander ab. Während die Methode nach VDLUFA nur eine standortspezifische Unterscheidung zwischen „unterem“ und „oberem“



Tab. 6-1: Anbaubedingte Änderung der Humusvorräte für ausgewählte Energiepflanzen nach der dynamischen HE-Methode und nach VDLUFA, Daten: A I, 2005 – 2008.

Fruchtart	Anz. Prüfglieder	TM-Ertrag Median	anbauspezifische Änderung des Humus-C	
			dyn. HE-Methode, Median	VDLUFA
	n	t/ha	kg/ha	kg/ha
Getreide (GPS), HF	56	8,1	-595	-280 bis -400
Silomais, HF, ZF	37	17,6	-969	-560 bis -800
Sorghum (b. x s.), HF, ZF	19	12,3	-609	–
Sorghum (b. x b.), HF, ZF	12	9,0	-592	–
Grünschnittroggen WZF	24	4,8	87	120 bis 160
Einjähriges Weidelgras SZF	8	3,7	81	100 bis 150
Klee- u. Luzernegras, Ackergras	15	10,9	829	600 bis 800
zum Vergleich: Getreide Korn	64	5,43	-542	-280 bis -400
Getreide Korn Stroh verbleibt auf dem Acker	64	5,43	-107	179 oberer Wert, 59 unterer Wert

Humusbedarf, ohne exakte Vorgabe der Kriterien ermöglicht, haben bei der HE-Methode Ertrag und Ackerzahl einen direkten Einfluss.

Nach VDLUFA liegen Vorgaben für die Einschätzung der Humusproduktion von Gärresten vor. Es werden derzeit aber auch andere Werte argumentiert (s.o.). Abbildung 6-4 zeigt links die Spannweite der möglichen Humusproduktion bei Verwendung unterschiedlicher Humus-Reproduktionskoeffizienten des Gärrestes. Der Gärrest wird bei Unterstellung eines Humusproduktions-Faktors von 0,31 (Höhe des Bal-

kens) und 0,4 (oberer Fehlerbalken), besser als nach VDLUFA bewertet. Bei Verwendung des Humusproduktions-Faktors von 0,22, „wie Gülle“ (unterer Fehlerbalken) wird die Humuswirkung ähnlich wie nach VDLUFA bewertet. Die Ergebnisse zeigen die Spannweite der Werte, die sich durch verschiedene Annahmen ergeben.

### Fazit

Ohne die Düngung mit Gärresten oder anderen organischen Düngern liegen die Humusbilanz-Salden der geprüften Fruchtfolgen in der Regel in der Gruppe A und sind damit nicht nachhaltig. Durch

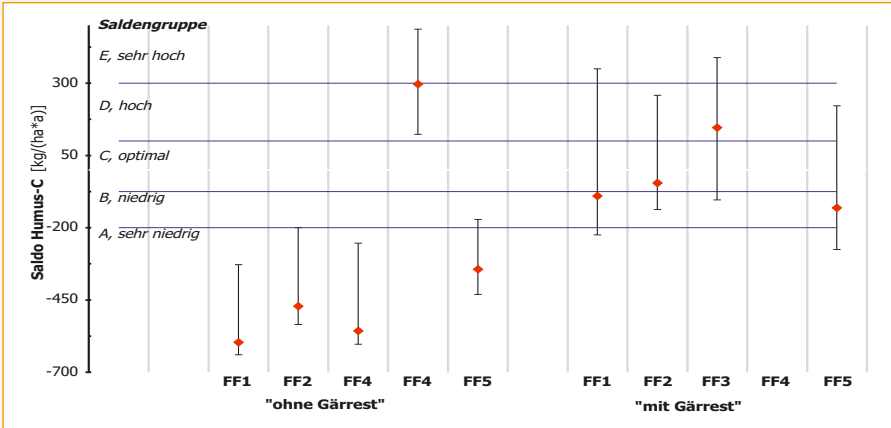


Abb. 6-2: Humussaldo der Standardfruchtfolgen (A I; 2005 – 2008) aller Standorte „ohne Gärrest“ und Szenario „mit Gärrest“. A, B, C, D, E kennzeichnen die Gruppen der Humussalden, Fehlerbalken zeigen die Spanne der Standorte, Fruchtarten nach dyn. HE-Methode (REPRO), Gärrest nach GUTSER u. EBERTSEDER mit Faktor 0,31 bewertet.

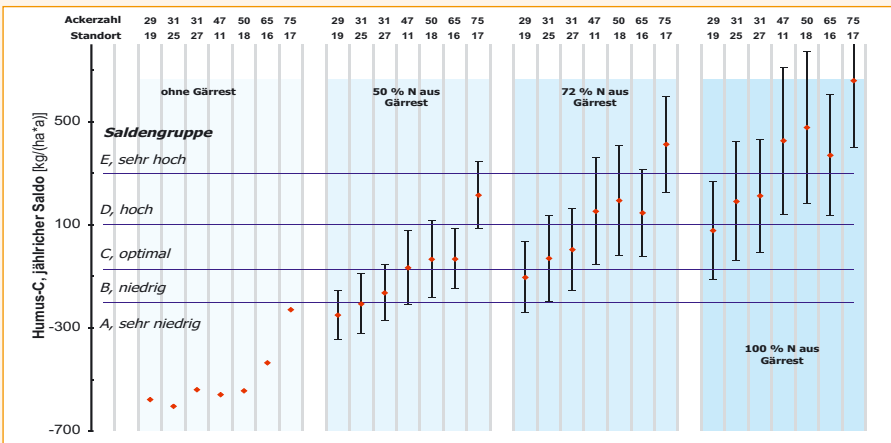


Abb. 6-3: Humussaldo der Fruchtfolge 3 an allen Versuchsstandorten „ohne Gärrest“ und „mit Gärrest“ Für: 11 – Ascha, 16 – Dornburg, 17 – Ettlingen, 18 – Gülzow, 19 – Güterfelde, 25 – Trossin, 27 – Werlte. A, B, C, D, E kennzeichnen die Gruppen der Humussalden, Fehlerbalken kennzeichnen den unsicheren Bereich des Saldos bei Verwendung von unterschiedlichen Humusreproduktions-Koeffizienten. Fruchtarten nach dynamischer HE-Methode, Gärrest nach Gutser u. Ebertseder. Daten A I, 2005 – 2008.

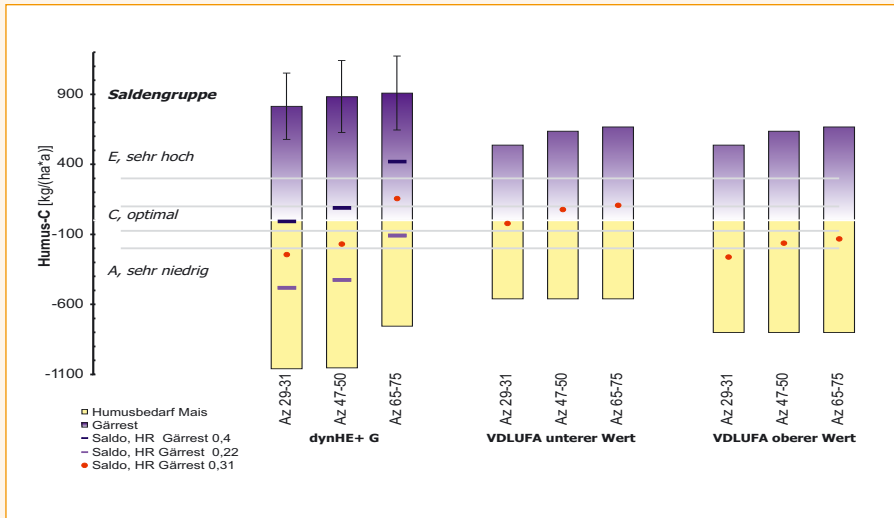


Abb. 6-4: Methodenvergleich: Humussaldo für Silomais a) dynamische HE-Methode (REPRO) mit Bewertung der Gärreste nach Gutser u. Ebertseder, b) VDLUFA-Methode mit unterem und oberem Wert. Fehlerbalken zeigen den Unsicherheitsbereich bei unterschiedlichen Humusreproduktions-Koeffizienten des Gärrestes. Mit Az – Ackerzahl, HR – Humusreproduktions-Koeffizient, dynHE+G- Fruchtarten nach dynamischer HE-Methode, Gärrest nach Gutser u. Ebertseder, V – VDLUFA, Mittelwerte aus 30 Versuchsgliedern.

die Ausbringung von Gärresten können ausgeglichene Humusbilanz-Salden erreicht werden. Für eine Absicherung der in den unterschiedlichen Modellen getroffenen Annahmen, d. h. die Bewertung des Gärrestes, des Humusbedarfes von „neuen“ Energiepflanzen, wie z. B. Sorghumarten oder unter Annahme veränderter Anbauzeiträume, besteht allerdings noch ein erheblicher Forschungsbedarf.

Sicher ist, dass auf Standorten mit leichteren Böden und geringeren Erträgen Humusbilanz-Salden durch eine geringere Rückführung von Gärresten nied-

riger sind. Durch den möglichen Export von Gärresten und Gärrestfraktionen oder die Erhöhung von Methanausbeuten kann eine weitere Senkung der Salden bewirkt werden.

Zusätzlich zur Gärrestrückführung kann der Humussaldo durch den Kohlenstoffimport über Futtermittel bei Viehhaltenden Betrieben, das Vergären von Grünlandaufwuchs und von betriebsfremden Ko-Substraten, den Ackerfutter- und Zwischenfruchtanbau so wie den Wechsel von Energiepflanzen mit Druschfrüchten, bei denen das Stroh auf dem Feld verbleibt, angehoben werden.

## 6.1.2 Stickstoffhaushalt

Das geltende Düngerecht gibt vor, dass die Düngung pflanzenbedarfsgerecht und unter Berücksichtigung der Belange des Naturhaushalts durchzuführen ist. Der Einsatz von Gärresten zur Düngung muss allen rechtlichen Vorgaben folgen. Insbesondere muss der Landwirt in die Lage versetzt werden, seine Nährstoffbilanzen zu erstellen, um die N-Obergrenze einzuhalten. Hierzu leistet eine qualifizierte Düngeberatung einen wichtigen Beitrag.

Bei der Produktion von Biogas besteht die Möglichkeit, betriebliche Nährstoffkreisläufe stärker zu schließen, da die Nährstoffe im Pflanzenmaterial (vgl. Abb. 3-12) nach der Vergärung als organischer Dünger zur Verfügung stehen. Gegenüber anderen Formen der organischen Düngung sind die Besonderheiten des Gärrestes zu berücksichtigen. So liegen beispielsweise die  $\text{NH}_4$ -Anteile am Gesamt-N und die pH-Werte gegenüber unvergorener tierischer Gülle höher.

Bei der Silierung, im Biogasanlagenprozess und bei der Ausbringung des Gärrestes entstehen für Stickstoff Verluste. Für den Silierprozess streuen diese zwischen 10 und 25 %; unter Annahme eine „Guten fachlichen Praxis“ sind 15 % realistisch. Für die Berechnung des bodenwirksamen Stickstoffs sind auch die Ausbringungsverluste zu berücksichtigen. Diese liegen im Bereich von 5 % bis weit oberhalb von 15 % des Gesamtstickstoffs im Gärrest. Durch Einsatz verlustmindernder Ausbringungsverfahren wie

der Injektionsdüngung, können die gasförmigen N-Verluste auf 5 % gesenkt werden.

Darüber hinaus wird der mit dem Gärrest ausgebrachte Stickstoff nicht in gleicher Weise wirksam wie Stickstoff aus Mineraldüngern. Untersuchungen zeigen, dass bei langfristiger Anwendung mit einem Mineraldüngeräquivalent (MDÄ) von 60 – 85 % zu rechnen ist. Unter Praxisbedingungen ist ein MDÄ von 70 % realistisch. Unter diesen Annahmen sind rund 50 % des Stickstoffs in der abgefahrenen Biomasse als mineraldüngeräquivalent zu bewerten. Dabei wird deutlich, dass die gasförmigen Stickstoffverluste und der nicht im gleichen Jahr pflanzenwirksame Stickstoff ökologische Relevanz haben. Für eine Anpassung der Stickstoffdüngung an den Bedarf der Pflanzen und eine Minimierung von Verlusten, ist daher eine Berücksichtigung des  $N_{\min}$ -Wertes im Frühjahr erforderlich. Sowohl dieser, als auch der Stickstoffgehalt der Gärreste sollte regelmäßig ermittelt werden.

Unter Berücksichtigung des jeweiligen N-Sollwertes, eventueller Zu- bzw. Abschläge (z. B. Ertragshöhe, Vorfrucht, organische Düngung, Leguminosen), dem  $N_{\min}$ -Gehalt im Boden und dem N-MDÄ der zur Verfügung stehenden Gärreste lässt sich somit der mineralische Düngbedarf ermitteln.

Für eine effiziente Nutzung der Gärreste sind auch die Zeitpannen des Nährstoffbedarfs der verschiedenen Kulturarten, in denen die Gärreste ausgebracht



werden, zu berücksichtigen. In diesem Zusammenhang sind die Forderungen der Düngeverordnung bezüglich einer Begrenzung der Ausbringung von Gärresten im Herbst (40 kg  $\text{NH}_4\text{-N}$ ) unbedingt einzuhalten, um das Risiko der Nitratverlagerung zu minimieren. Zur Gewährleistung einer bedarfsgerechten Düngung sollten bei der Auslegung von Biogasanlagen ausreichende Lagerkapazitäten (mind. 6 Monate) geplant werden.

Die Düngewirkung von Gärresten ist bei einer Vielzahl von Kulturen, d. h. auch bei Marktfrüchten, als sehr gut einzuschätzen, so dass bei deren Anbau mineralische Düngemittel substituiert werden können. Insbesondere bei zusätzlichen Nährstoffimporten in den Betrieb, z. B. über Futtermittel und bei hohen Energiepflanzen-Flächenerträgen, ist eine Nutzung von Gärresten auf Flächen, die neben der Biogas-Substratproduktion zur Verfügung stehen, dringend zu empfehlen. Es kann gerade dort, wo bei hohen Güllemengen aus Tierhaltung und Energiepflanzen keine ausreichenden Ausbringungsflächen zur Verfügung stehen, zu Konflikten kommen, wenn zu zusätzliche Mengen organischen Stickstoffs aus Energiepflanzen eingesetzt werden.<sup>19</sup>

Neben einer Begrenzung der Gärrestmengen je Flächeneinheit führt auch der Export von Gärresten (Separierung/Pelletierung) zu einer Verringerung der Auswaschungsrisiken. Mit dem Export von

humuswirksamer organischer Substanz können allerdings Zielkonflikte für die Humusbilanz entstehen (vgl. Kap. 6.1.1).

### **$N_{\min}$ -Werte nach Ernte**

Der  $N_{\min}$ -Wert erlaubt eine Momentaufnahme des verfügbaren mineralischen Stickstoffs im Boden. Er gestattet Rückschlüsse auf die Mineralisationsleistung des Bodens sowie eine erste Abschätzung potentieller Abwärtsverlagerungen von Nitrat mit dem Sickerwasser. Der  $N_{\min}$ -Wert nach Ernte ist ein Indikator für die Stickstoffversorgung des Pflanzenbestandes bzw. die Ausnutzung des gedüngten Stickstoffs.

Die  $N_{\min}$ -Werte nach der Ernte sind in Abb. 6-5 für ausgewählte Energiepflanzen dargestellt. Die Medianwerte liegen unter 40 kg/ha mit Ausnahme von Silomais. Für Silomais beträgt der Median in Hauptfruchtstellung 56 kg/ha, in Zweitfruchtstellung 42 kg/ha. Auffallend ist, dass Silomais und Sorghum (b. x s.) in Zweitfruchtstellung jeweils einen geringeren  $N_{\min}$ -Wert nach Ernte haben. Eine genauere Untersuchung der hohen  $N_{\min}$ -Werte nach Silomais zeigt, dass die oberen 25 % der  $N_{\min}$ -Werte (> 73 kg/ha), dann aufgetreten sind, wenn die Ertragsprognosen nicht erreicht wurden und somit geringere Stickstoffaufnahmen vorlagen. In diesen Fällen wäre folglich im Nachhinein betrachtet eine weniger optimistische Düngemittelplanung bzw. Ertragsprognose ökologisch und ökonomisch vorteilhaft gewesen.

<sup>19</sup> Für eine Darstellung der Stickstoffmengen im Erntegut und der in Kombination mit mineralischer Düngung entstehenden Stickstoffsalden bei einer isolierten Betrachtung der Flächen auf denen Biogassubstrat erzeugt werden, sei an dieser Stelle auf die erste Auflage dieser Broschüre verwiesen (Abb. 6-1).

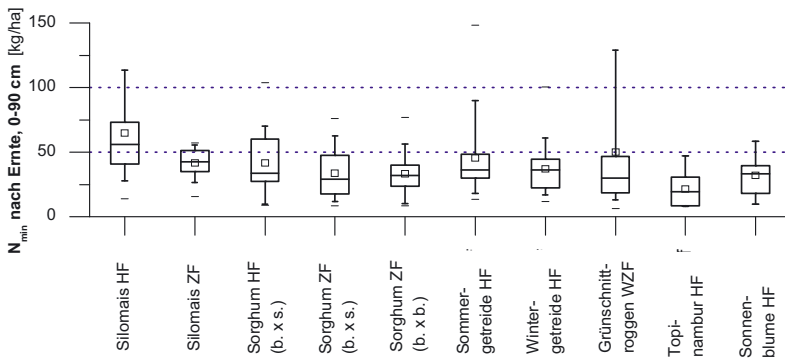


Abb. 6-5:  $N_{\min}$  nach Ernte in 0–90 cm Tiefe für ausgewählte Energiepflanzen. Daten: A I und A II, 2005–2007.

Die  $N_{\min}$ -Werte nach Getreide (Sommer- und Wintergetreide) in Hauptfruchtstellung betragen im Median 36 kg/ha und sind mit denen von Sonnenblume (33 kg/ha) sowie Sorghumarten vergleichbar. Winterroggen als Winterzwischenfrucht hat bei den oberen 25 % der Werte (4. Quartil) sehr hohe  $N_{\min}$ -Werte. Diese sind jedoch nicht auswaschungsgefährdet, da die nachfolgende Frucht den Stickstoff aufnimmt. Bei Topinambur im 3-jährigen Anbau wurden mit 19 kg/ha die niedrigsten  $N_{\min}$ -Werte gemessen.

Generell lagen die Nitratwerte in den Versuchen auf sehr niedrigem Niveau. Einschränkend muss bei der Bewertung dieser Messungen jedoch beachtet werden, dass die Feldversuche in der betrachteten Projektphase ausschließlich mineralisch gedüngt wurden und somit kein erhöhtes Mineralisierungspotenzial aus langfristiger organischer Düngung vorlag.

### 6.1.3 Wassererosion

Die standörtliche Gefährdung durch Wassererosion lässt sich über die allgemeine Bodenabtragsgleichung (DIN 19708) abschätzen:

$$A = R * K * S * L * C * P$$

- A - langjährig zu erwartender mittlerer Bodenabtrag
- R - Regen- und Oberflächenabflussfaktor
- K - Bodenerodierbarkeitsfaktor
- S - Hangneigungsfaktor
- L - Hanglängenfaktor
- C - Management- und Bedeckungsfaktor
- P - Faktor Erosionsschutzmaßnahmen.

Grundsätzlich gelten bei der Produktion von Energiepflanzen die gleichen Aussagen wie bei Anbausystemen für Nahrungs- und Futtermittelpflanzen. Entscheidende Größe für eine Gefährdung durch Wassererosion ist die Hangneigung. Je größer die Hangneigung, des-

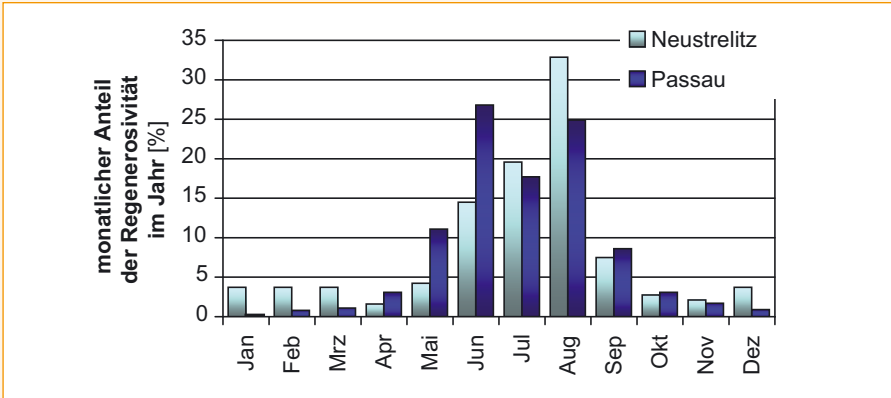


Abb. 6-6: Erosivität der Niederschläge an Standorten in Bayern (Passau) und Mecklenburg – Vorpommern (Neustrelitz).

to wichtiger ist die Bedeutung einer bodenschonenden Gestaltung von Fruchtfolgen und der Bodenbearbeitung.

Betrachtet man die in dieser Broschüre vorgestellten Anbausysteme und Fruchtfolgen, so liegen die durch den Energiepflanzenanbau bedingten Unterschiede der Bodenbewirtschaftung im wesentlichen in einer veränderten Kulturartenwahl so wie in einer Änderung von Anbauzeiten. Aus Sicht der Wassererosion verändert sich der in der Gleichung dargestellte Management- und Bedeckungsfaktor (C-Faktor). Dieser beinhaltet die Erosivität der Niederschläge und die Wirkung von Bodenbearbeitung und angebauter Fruchtart. Die Erosivität der Niederschläge nimmt im Juni stark zu und sinkt ab September rasch wieder ab (vgl. Abb. 6-6).

Besonders hoch ist die Erosionsgefährdung in der Phase von der Saatbett-

bereitung bis zu einer Bodenbedeckung von 50 %. Kritisch kann dies insbesondere beim Anbau von C<sub>4</sub>-Pflanzen sein, da bei diesen während dieser Zeit die Erosivität der Niederschläge bereits zunimmt. Somit spielt der Zeitraum der Etablierung einer Kulturart eine entscheidende Rolle.

Zur Veranschaulichung des C-Faktors wurde die Erosionsgefährdung exemplarisch für die Anbaufolge Winterweizen (Druschfrucht) - Silomais berechnet. Dabei wurde die Bodenbearbeitung variiert und der Anbau von Zwischenfrüchten untersucht. Die Ergebnisse (vgl. Abb. 6-7) zeigen, dass der Silomaisanbau mit nicht wendender Bodenbearbeitung die Gefährdung gegenüber wendender Bodenbearbeitung um ein Mehrfaches senkt. Wenn das Pflügen nach Weizen vom Herbst auf das Frühjahr verschoben wird, sinkt die Erosionsgefährdung über Winter erheblich. (Säulen A – C)

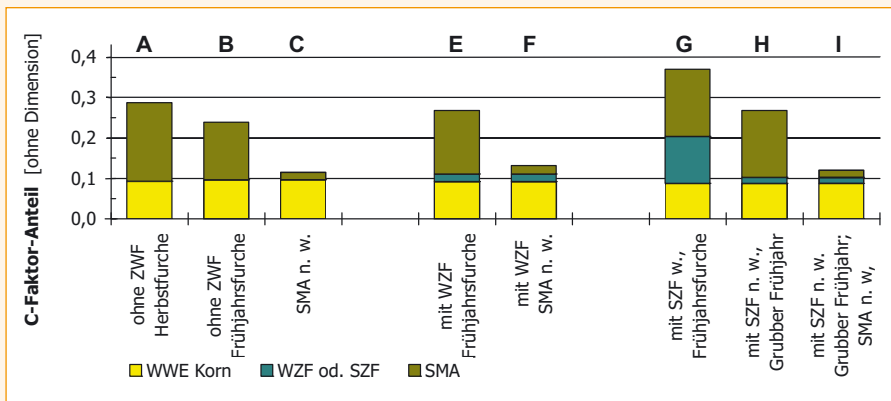


Abb. 6-7: Wassererosionsgefährdung für die Anbaufolge Winterweizen - Silomais mit unterschiedlicher Bodenbearbeitung und Zwischenfruchtanbau. Mit WWE – Winterweizen, ZWF – Zwischenfrucht, SMA – Silomais, w. – wendende Bodenbearbeitung, n. w. – nicht wendende Bodenbearbeitung. Standort Gülzow, Wetterstation Neustrelitz. Die Varianten A, B und F sind in der Praxis etablierte Verfahren. Die Anbaufolge F ist im EVA-Projekt untersucht worden, Erträge vgl. Abb. 3-14.

Der Anbau einer Winterzwischenfrucht vor Mais (Säule E und F) ist anfangs erosionsrisikobelastet, da die Vorfrucht umgebrochen werden muss. Die Jugendentwicklung liegt aber in einer Zeit geringerer Niederschlagserosivität. Wird die Folgefrucht Mais mit nicht wendender Bodenbearbeitung etabliert, ist es möglich, die Erosionsgefährdung gegenüber der Anbaufolge ohne Winterzwischenfrucht erheblich zu senken (Säule F im Vergleich zu A und B). Im Zweikultur-Nutzungssystem (vgl. Kap. 3.4.1) fällt die Maisentwicklung bis zu einer Bodenbedeckung von 50 % in die erosionsgefährdetere Zeit im Juni mit hoher Erosivität der Niederschläge<sup>20</sup>. Daher ist das Zweikultur-Nutzungssystem mit später Ernte

der Winterung in Bezug auf die Erosionsgefährdung ungünstiger zu bewerten als die Kombination von Mais mit einer Winterzwischenfrucht (Säule F), aber immer noch besser als der Maisanbau mit wendender Bodenbearbeitung (Säule A und B).

Die Etablierung einer Sommerzwischenfrucht führt, ähnlich wie bei Winterzwischenfrüchten, zu einer Erhöhung der Erosionsgefährdung. Allerdings ist die Erosionsgefährdung bei Verwendung von Sommerzwischenfrüchten nochmals erhöht, weil deren Etablierung in eine Phase mit hoher Niederschlagserosivität fällt.

Aus Sicht des Erosionsschutzes ist aufgrund der deutlich höheren Erosionsge-

<sup>20</sup> Mais ohne wendende Bodenbearbeitung.





fahr bei dem Anbau von Sommerzwischenfrüchten von wendender Bodenbearbeitung abzuraten (Säule G). Wird die Sommerzwischenfrucht hingegen mit nicht wendender Bodenbearbeitung etabliert (Säule H), ist die Erosionsgefährdung vergleichsweise niedrig. Die verbleibende hohe Erosionsgefährdung resultiert aus dem Maisanbau mit wendender Bodenbearbeitung. Dieses Anbauverfahren kann aus Sicht des Wassererosionsschutzes optimiert werden, indem der Maisanbau ebenfalls nicht wendend erfolgt (Säule I).

Für die Gestaltung von Anbausystemen und Bodenbearbeitung sind aus Sicht des Erosionsschutzes folgende Punkte festzuhalten:

- Generell sind Winterungen günstiger als Sommerungen zu bewerten, da im Winter eine schützende Pflanzendecke vorhanden ist. Bei  $C_4$ -Gräsern ist die späte 50 %-ige Bodenbedeckung kritisch zu beurteilen. Mehrjährige Fruchtarten, insbesondere Ackerfutter, bieten

den größten Erosionsschutz und sind auf hängigen Flächen zu empfehlen.

- Nicht wendende Bodenbearbeitung, Mulchsaat und Direktsaat führen zu einer erheblichen Reduktion der Wassererosionsgefahr gegenüber wendender Bodenbearbeitung. Nicht wendende Bodenbearbeitung ist besonders bei der Etablierung von Sommerzwischenfrüchten und späten Zweitfrüchten notwendig. Die Ergänzung von Mais mit einer Winterzwischenfrucht ist als sehr günstig zu bewerten, da der Mais besser ohne wendende Bodenbearbeitung etabliert werden kann.
- Bei Sommerungen ist die Frühjahrsfurche günstiger als die Herbstfurche zu bewerten, da der Boden durch Stoppeln und Wurzelverbauung der Vorfrucht geschützt ist. Kriterien der Phytohygiene durch auf dem Boden verbleibende Stoppelreste sind jedoch zu beachten.
- Der Zeitraum von der Saatbettbereitung bis zu einer 50 %-igen Bodenbedeckung durch die Kultur ist sehr erosionsgefährdet. Untersaaten sind in diesem Zusammenhang als sehr gut zu bewerten. Fällt die Aussaat in eine Zeit mit hoher Erosivität der Niederschläge wie z. B. in den August, hat dies einen wesentlichen Einfluss auf die Erosionsgefährdung. Werden die Kulturen mit nicht wendender Bodenbearbeitung etabliert, bleibt die Erosion aber im tolerierbaren Rahmen

Derzeit werden auf Landesebene verschiedene Erosionsschutzprogramme umgesetzt, die u. a. über die Landesinstitutionen im Anhang verfügbar sind.

## 6.2 Biodiversität

Landwirtschaftliche Produktion ist eng mit Natur und Umwelt verzahnt. Jede Änderung in der Bewirtschaftung, so auch die Ausdehnung des Energiepflanzenanbaus, wirkt sich zwangsläufig auf Umwelt und Natur aus. Ackerflächen werden von vielen Arten als Lebensraum genutzt. Auch Arten, die in angrenzenden Biotopen leben, nutzen die Ackerflächen regelmäßig als Futterhabitat bzw. besiedeln diese zeitweise. Die Bewirtschaftung der Ackerflächen hat deshalb eine große Bedeutung für die Biodiversität in den Agrarlandschaften insgesamt.

Die meisten Arten der Agrarlandschaften sind an die Besonderheiten der Ackerflächen als Lebensraum angepasst, d. h. sie können Störungen teilweise ausweichen, sind mobil und relativ flexibel in den Standortansprüchen. Ihre Häufigkeit und Populationsgröße wird wesentlich durch die Art und Weise der landwirtschaftlichen Nutzung, vor allem durch den Anbauzeitraum der Kulturpflanzen, ihrer horizontalen und vertikalen Vegetationsstrukturen sowie durch direkte Bewirtschaftungsmaßnahmen (z. B. Bodenbearbeitung, Pflanzenschutz)



bestimmt. Durch die Auswahl der zur Anwendung kommenden Anbausysteme bzw. -verfahren können Effekte auf die Biodiversität gesteuert werden.

### 6.2.1 Einfluss der Fruchtartenwahl und der Fruchtfolgegestaltung

Die Anzahl der auf den Ackerflächen vorkommenden Arten wird durch die angebaute Kulturart vor allem über die Länge ihres Anbauzeitraumes beeinflusst. In der Tendenz kommen im mehrjährigen Ackerfutter, im Mais und im Wintergetreide mehr Arten und Individuen vor als im Sommergetreide und in den Körnerleguminosen. Bei Betrachtung einheitlicher Zeitspannen wirkt sich die Fruchtartenwahl nur auf einzelne Organismengruppen aus: Die Anzahl der vorkommenden Beikraut- und Spinnenarten ist im Mais vergleichsweise geringer als in anderen Kulturpflanzen, im mehrjährigen Ackerfutter sind weniger Laufkäferarten zu finden, die meisten Blütenbesucherarten finden im Wintergetreide, die meisten brütenden Vogelarten im Ackerfutter und im Sommergetreide geeignete Habitatbedingungen.

Die Artenzusammensetzung der auf den Ackerflächen vorkommenden wildlebenden Pflanzen und Tiere wird von hohen Anteilen an flexiblen, d. h. an mehrere Kulturarten angepasste Arten (Ubiquisten) dominiert. Jede einzelne Kulturart bietet jedoch auch für eine Gruppe spezieller, an die einzelne Kulturart besonders angepasste Arten Lebensraum

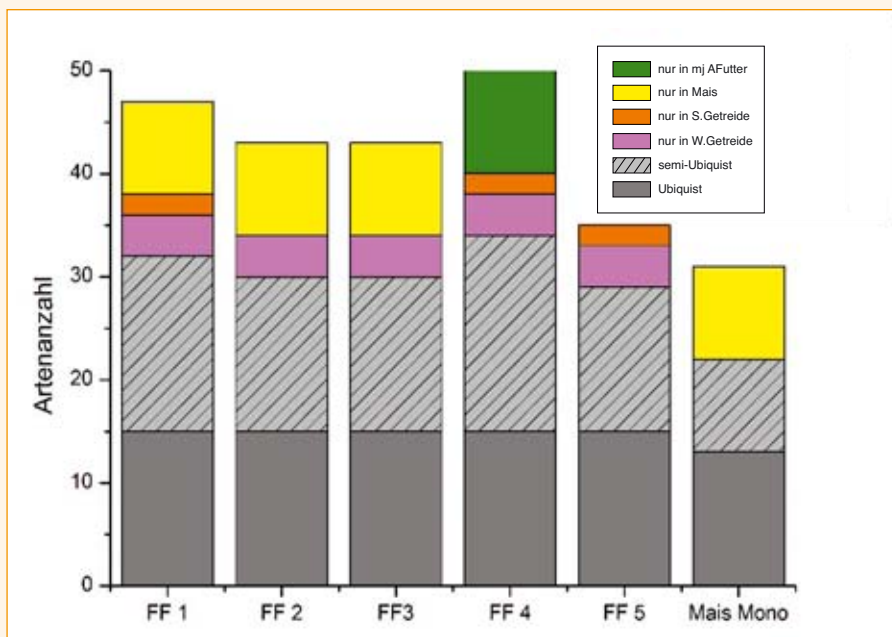


Abb. 6-8: Anzahl der in den unterschiedlichen Fruchtfolgen vorkommenden Beikrautarten im Vergleich zur Mais- und Winterweizenmonokultur (Basis: Erhebungsdaten Thüringen, 2005 – 2007, Kulturartenpräferenzen).

(vgl. Abb. 6-8): So bietet z. B. das Wintergetreide für auf dem Acker überwintrende, frühjahrsaktive Arten; Mais für wärme- und offenbodenliebende Arten mit Reproduktion im Sommer/Spätsommer; Ackerfutter für mehrjährige, Bodenruhe beanspruchende und feuchteliebende, geschlossene Bestände bevorzugende Arten gute Lebensraumbedingungen. Die Effekte der einzelnen Fruchtarten werden durch die Fruchtfolgegestaltung ausgeglichen oder verstärkt. Je nach lokalem Arteninventar bzw. bestehenden Nutzungskonflikten mit dem Naturschutz können die Effekte auf einzelne Organismen-

mengruppen durch die Kulturartenwahl und Fruchtfolgegestaltung maßgeblich beeinflusst werden.

## 6.2.2 Vielfältige Fruchtfolgen

Die Effekte der Fruchtfolgen auf die Diversität der vorkommenden Arten lassen sich nach folgendem Grundsatz zusammenfassen:

Je unterschiedlicher die Habitatbedingungen innerhalb der Fruchtfolge, desto mehr Arten finden geeignete Habitat-

bedingungen im Rahmen der Fruchtfolge. Diese Regel gilt relativ unabhängig von den in der Fruchtfolge konkret enthaltenen Fruchtarten.

Die Artenanzahlen aller im EVA-Projekt untersuchter Organismengruppen sind in den Fruchtfolgen, die zwei oder drei unterschiedliche Kulturartengruppen beinhalten, höher, als bei den artenreichsten einzelnen Kulturarten. In Monokulturen (Selbstfolge) ist die Anzahl der vorkommenden Arten im Vergleich zu Fruchtfolgen um mindestens ein Drittel reduziert. Fruchtfolgen mit drei unterschiedlichen Kulturartengruppen (z. B. Wintergetreide, Sommergetreide, Mais,

Fruchtfolge 1) erhöhen die Artenanzahlen in den einzelnen Organismengruppen im Vergleich zu Fruchtfolgen mit nur zwei Kulturartengruppen (z. B. Wintergetreide, Mais/Sorghum) noch einmal um 15 – 20 % (vgl. Abb. 6-9). Bei Fruchtfolgen mit nur zwei Fruchtartengruppen wirkt sich eine Kombination aus Mais und Wintergetreide stärker diversitätsfördernd aus als eine Kombination aus Sommer- und Wintergetreide.

Die Individuendichten der Organismengruppen werden durch die Anzahl der beteiligten Fruchtartengruppen innerhalb der Fruchtfolgen nicht beeinflusst. Fördernde oder einschränkende

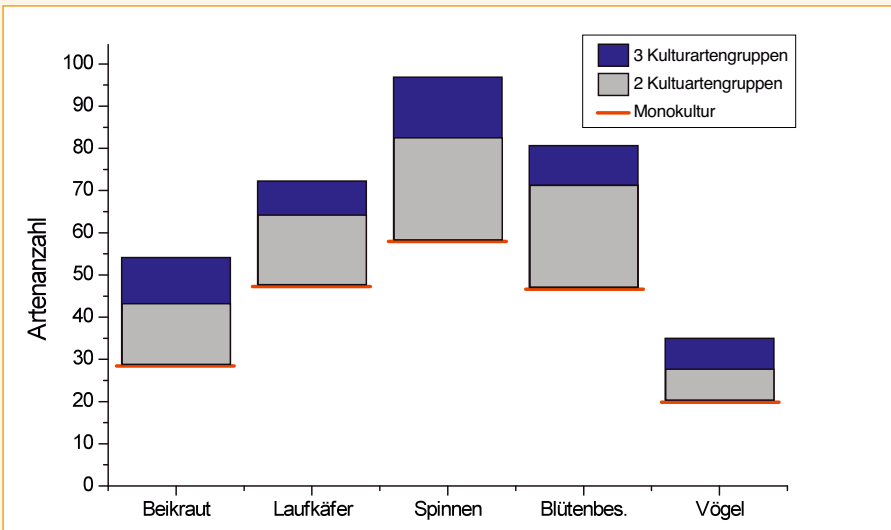


Abb. 6-9: Artenanzahlen in den untersuchten Organismengruppen in Abhängigkeit von der Zusammensetzung der Fruchtfolgen im EVA-Projekt (Basis: Erhebungsdaten Thüringen, Bayern, Mecklenburg-Vorpommern, 2005 – 2007, Fruchtfolgen mit 1, 2 oder drei unterschiedlichen Fruchtartengruppen, die Werte für Brutvögel basieren auf einer Expertenbefragung und sind um den Faktor 10 überhöht).



Effekte sind entweder auf einzelne spezielle Fruchtarten beschränkt (die Individuenanzahl von Spinnen und Vögeln wird z. B. durch den Anbau von mehrjährigem Ackerfutter gefördert, die von Laufkäfern und Blütenbesuchern durch den Anbau von Wintergetreide) oder die Unterschiede der Individuendichte sind fruchtartenunspezifisch (Beikrautflora). Der Fruchtartenwechsel innerhalb der Fruchtfolgegestaltung wirkt im ersten Fall ausgleichend auf die Effekte der einzelnen Kulturarten. Die Monokultur wirkt potenzierend bzw. kumulativ und führt zu einseitigen Zunahmen in der Abundanz einzelner Organismengruppen bzw. Untergruppen.

### **6.2.3 Maisanteile**

Aufgrund seiner entfernten Herkunft und der noch jungen Nutzungsgeschichte in Europa sind in Deutschland weniger Arten an den Maisanbau angepasst als vergleichsweise an den Getreideanbau. Nicht zuletzt deshalb gilt Mais als Kulturart mit der geringsten Biodiversität. Dennoch bietet der Mais Habitatbedingungen, die förderlich auf spezielle ökologische Gruppen wirken, vor allem auf Arten, deren Populationsentwicklung an den Spätsommer gebunden ist, z. B. Sommerblüher unter den Beikräutern, larvalüberwinternde Laufkäfer, sommeraktive Spinnen und Syrphiden (Schwebfliegen). Diese Effekte sind keine speziellen Effekte von Mais als Kulturpflanze, sondern der Tatsache geschuldet, dass die meisten anderen Kulturarten entweder im Frühsommer schon zu hohe Bestands-

dichten aufweisen oder ab Mitte Sommer keine anderen bestandsbildenden Kulturarten vorhanden sind. Die Kalkulationsergebnisse zeigen, dass der Maisanbau die Diversität fördert, wenn er im Fruchtwechsel mit anderen Kulturen eingebettet ist. Diese Effekte werden jedoch negativ, wenn der Maisanteil regional-spezifische Obergrenzen in der Fruchtfolge überschreitet oder gar in Monokultur angebaut wird. Es entstehen typische Glockenkurven in der Häufigkeit der Arten bzw. funktionalen Gruppen (vgl. Abb. 6-10). Dieses Phänomen hat zwei gleichzeitig wirkende Ursachen: 1.) die relativ geringe Diversität der meisten Organismengruppen im Mais und 2.) den gleichzeitigen Rückgang von Kulturarten mit deutlich höherer Diversität (z. B. Wintergetreide).

### **6.2.4 Mehrjähriges Ackerfutter**

Besondere Erwartungen werden aus Sicht der Biodiversitätsförderung und des Naturschutzes mit einer möglichen Renaissance des mehrjährigen Ackerfutters verbunden. Durch die Integration von mehrjährigem Ackerfutter in die Fruchtfolgen wird für alle untersuchten Organismengruppen eine Förderung des Artenreichtums erreicht. Dies ist darin begründet, dass spezielle, in anderen Kulturen selten vorkommende Arten, im mehrjährigen Ackerfutter ein geeignetes Habitat finden: hygrophile Arten, Arten, die an eine mehrjährige Bodenruhe gebunden sind, so z. B. Gräser generell, Rhizomarten und Hemikryptophyten unter den Beikräutern und auf den Ackerflä-

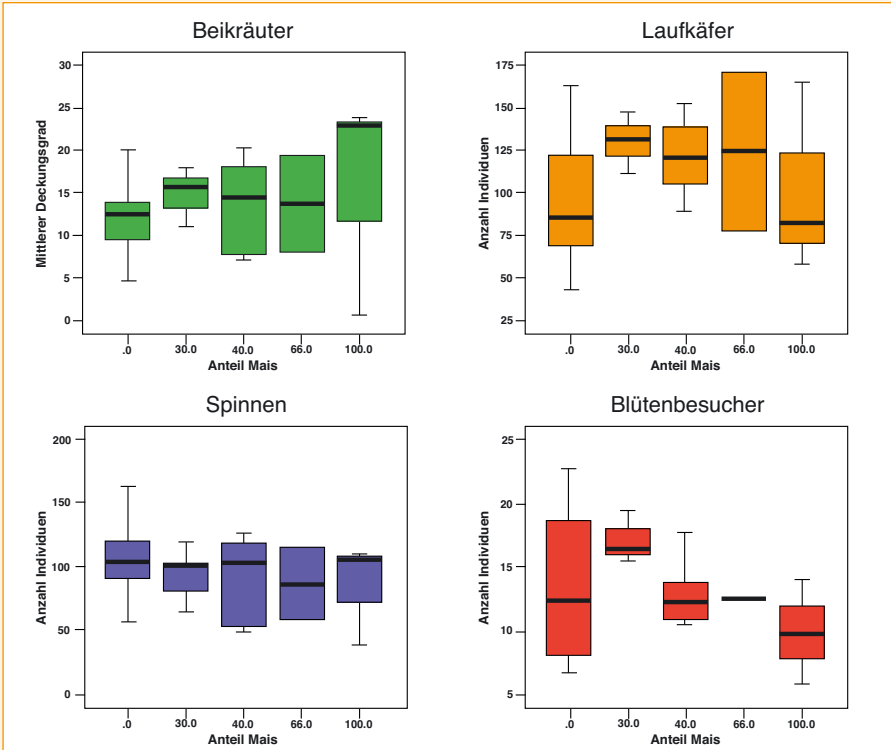


Abb. 6-10: Zusammenhang zwischen dem Anteil von Mais in den Fruchtfolgen und der Jahressumme der Abundanzen von vier untersuchten Organismengruppen auf Ackerflächen (die Boxplots basieren auf den Abundanzwerten aus Praxiserhebungen von 2005 – 2007, kalkuliert für 37 verschiedene Fruchtfolgen, mittlere Abundanzen je Boniturtermin, Durchschnitt aus 4 Jahren).

chen überwinternde Arten der Laufkäfer oder Spinnen. Ackerfutterbau wirkt auf die Individuenanzahlen der Laufkäfer insgesamt reduzierend, bei Spinnen dagegen führt er zu einer starken Zunahme. Unspezialisierte Bienen und Bienen mit endo- und hypergäischer oder parasitärer Nistweise finden im Ackerfutter förderliche Habitatbedingungen. Mehrjähriges

Ackerfutter hat einen besonders hohen Habitatwert für Offenlandvögel. Insgesamt 6 der 9 ausgewählten Indikatorarten nutzen das Ackerfutter als Bruthabitat, im Vergleich dazu nutzen Winterweizen nur drei und Mais zwei der untersuchten Arten. Die Nutzungsdauer als Futterhabitat übertrifft ebenfalls alle anderen Kulturarten deutlich. Nahezu alle

Indikatorarten der Agrarvögel nutzen das Ackerfutter temporär zur Futtersuche. Der Habitatwert des Ackerfutters für Agrarvögel kann allerdings durch hohe Schnitffrequenzen (4 Wochenabstand) für Brutvögel sehr stark vermindert werden.

### 6.2.5 Effekte vorgezogener Erntetermine im Getreide (Ganzpflanzenernte)

Wie im Rahmen des Verbundprojektes aufgezeigt wurde, existieren verschiedene Möglichkeiten, winter- und sommerannuelle Kulturarten zur Steigerung von

Biomasseerträgen zu kombinieren und somit zwei Ernten pro Jahr zu realisieren (vgl. z. B. Abb. 2-1). Durch die ganzjährige Bodenbedeckung wird auch die mögliche Habitatnutzungsperiode für die verschiedenen Organismengruppen verlängert. Das wirkt sich grundsätzlich positiv auf die vorkommenden Artenanzahlen und Abundanzen aus und trägt auch zur Minderung allgemein bestehender Defizite, z. B. dem Fehlen eines Futterhabitats für Vogelarten im Spätsommer bei. Entscheidend für die Bewertung ist jedoch die Frage, wie stark die verschiedenen Erntetermine und die Anbaupause bis zur Bestandesbildung der Zweitfrucht in

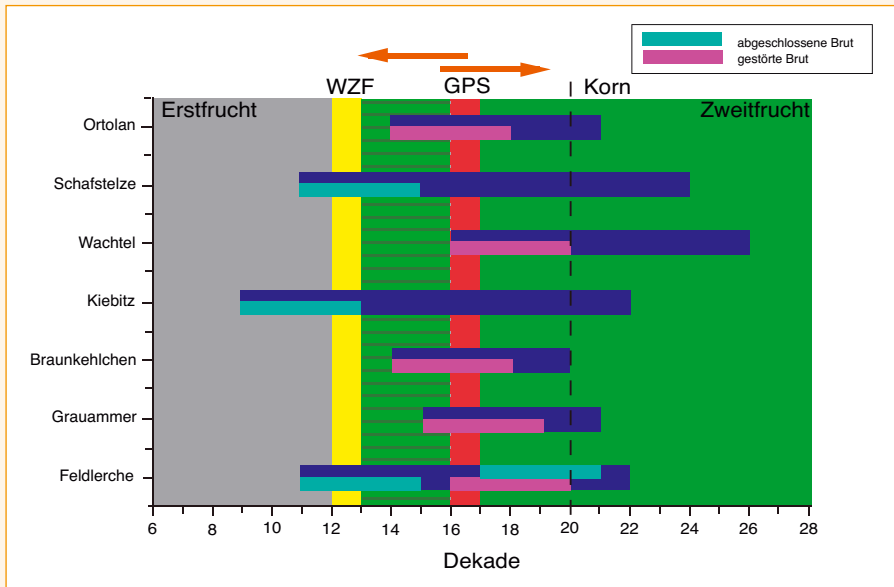


Abb. 6-11: Überschneidung der Erntetermine für Winterzwischenfrüchte (WZF), früher Ganzpflanzenernte (GPS), Kornernte und Zweitfruchtanbau mit den Brutperioden typischer Brutvögel auf Ackerflächen (die meisten Vogelarten haben mehrere Brutperioden pro Jahr, benötigen in dieser Zeit spezifische Bestandesdichten, Angaben Expertenbefragung).

Tab. 6-2: Habitateignung unterschiedlicher Kulturarten mit verschiedenen Nutzungszielen für die Brut typischer Vogelarten auf Ackerflächen unter Berücksichtigung der Bestandesdichten und -höhen der Kulturpflanzen (kalkuliert auf der Basis von Daten aus den Parzellenversuchen zu den Kulturarten und den Ansprüchen der Vogelarten auf Basis einer Expertenbefragung).

Kulturart	Nutzung	Feldlerche	Grauammer	Kiebitz
Winterweizen	WZF			
Winterweizen	GPS	x		
Winterweizen	K	x	x	
Winterweizen + Mais	WZF + ZF	x		x
Winterweizen + Senf	GPS + ZF	x		
Sommergerste	GPS	x		x
Sommergerste	K	x	x	x
Mais	HF	x		x
Mais	ZF	x		x
Erbsen	K	x	x	x
Kleegras (3 Schnitte)	HF	x		

die Reproduktionsperioden relevanter Artengruppen eingreifen.

Für die Gruppe der Laufkäfer und Spinnen ist der Zeitraum reproduktionsbiologisch nicht relevant, weshalb nur geringe, populationsbiologische Auswirkungen zu erwarten sind. Gleiches gilt für Blütenbesucher, die sich überwiegend außerhalb der Ackerflächen reproduzieren. Die deutlichsten Einschnitte sind bei Brutvögeln und Beikräutern zu erwarten. Während die Ernte als Winterzwischenfrucht nur wenige frühbrütende Vogelarten beeinflusst, kollidiert der Termin der Ganzpflanzenernte für Getreide in der Brutzeitspanne vor allem von Grauammer, Rotkehlchen, Wachtel und Ortolan

(vgl. Abb. 6-11). Besonders kritisch ist die Ganzpflanzenernte bei Sommergetreide und ein früher Schnittermin im Ackerfutter bzw. für die Grauammer im Wintergetreide (vgl. Tab. 6-2). Durch die Verschiebung des Termins der Ganzpflanzenernte können die Konflikte artbezogen gemindert werden. Erst ein Mahdtermin ab Mitte Juni schließt solche Effekte völlig aus (Dziewiaty & Bernardy, 2007). Für die sich ausschließlich über Samen vermehrenden Beikräuter fällt die Ganzpflanzenernte in die Blüh- und Reifezeit von 35 % der im Wintergetreide vorkommenden Therophyten und von 25 % der in Sommergetreide vorkommenden Blütenpflanzen.



Jede Veränderung in den Anbauverfahren modifiziert die Zusammensetzung der auf den Anbauflächen vorkommenden Lebensgemeinschaften. Diese Veränderungen sind nur in Zusammenhang mit den regionalen Artvorkommen und den jeweiligen ökologischen und naturschutzfachlichen Zielen zu bewerten.

Anbauverfahren, wie z. B. die vorgezogenen Erntetermine zur Ganzpflanzenernte wirken sich erst dann negativ aus, wenn regional vorkommende Ziel-

arten besonders betroffen sind und die Anbauverfahren jährlich wiederholt bzw. die gleichen Verfahren in hoher räumlicher Dichte angewendet werden. In den meisten dieser Fällen können die Anbauverfahren so angepasst werden, dass Probleme entschärft werden, beispielsweise bei der Gestaltung des Übergangstermins zwischen Winterung und Sommerung bei der Zweikulturnutzung. Die notwendigen Veränderungen hängen jeweils vom regionalen Arteninventar und der Gewichtung der ökologischen Ziele ab.



# 7 Ökonomische Bewertung

## Preisentwicklung

In den vergangenen Jahren ist die Volatilität der Preise für landwirtschaftliche Erzeugnisse und Betriebsmittel stark angestiegen. Dem enormen Anstieg der Produktpreise im Jahr 2007, in Abbildung 7-1 am Beispiel Winterweizen aufgezeigt, folgte der Einbruch der Erzeugerpreise im Jahr 2008. Die Betriebsmittelpreise sind im Jahr 2007 noch unterproportional angestiegen, haben ihren Preisanstieg jedoch im Jahr 2008 fortgesetzt und sind erst seit dem 3. Quartal des Jahres 2008 rückläufig (vgl. Abb. 7-1).

Die Preisschwankungen auf den Faktor- und Produktmärkten beeinflussen

auch den Anbau von Energiepflanzen, da diese mit der Produktion von Marktfrüchten als Rohstoffe der Lebensmittelherzeugung um dieselbe Fläche konkurrieren. Die Landwirte treffen ihre Produktionsentscheidung danach, welche Produktionsaktivität die beste Verwertung des knappen Faktors verspricht. Dies ist i. d. R. der Faktor Boden. Die entsprechende Vergleichsgröße, der Deckungsbeitrag pro Hektar, wird ermittelt, indem die variablen Kosten von den variablen Leistungen subtrahiert werden. Da Energiepflanzen als Substrate für Biogasanlagen nur regional gehandelt werden, bestehen in der Regel keine allgemeinen Marktpreise. Dies erschwert die Berechnung der variablen Leistungen

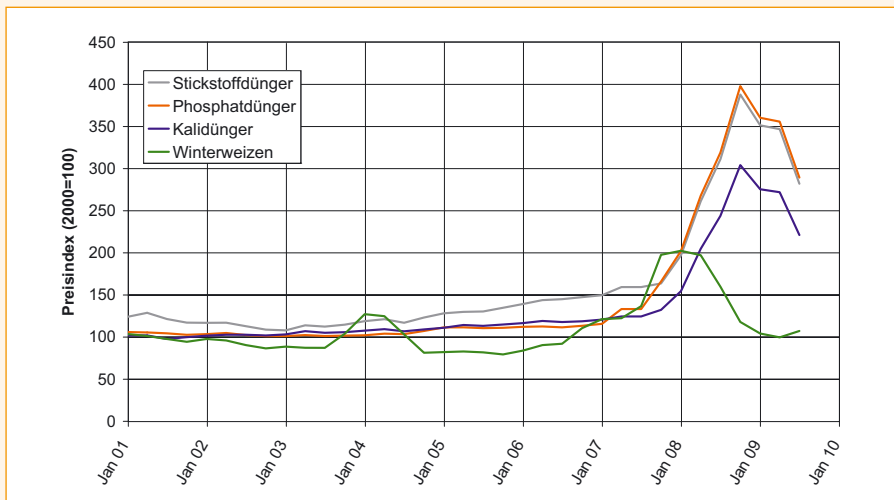


Abb. 7-1: Preisindizes von Winterweizen und Düngemitteln (2001 – 2009, 2000=100).  
Quelle: Statistisches Bundesamt

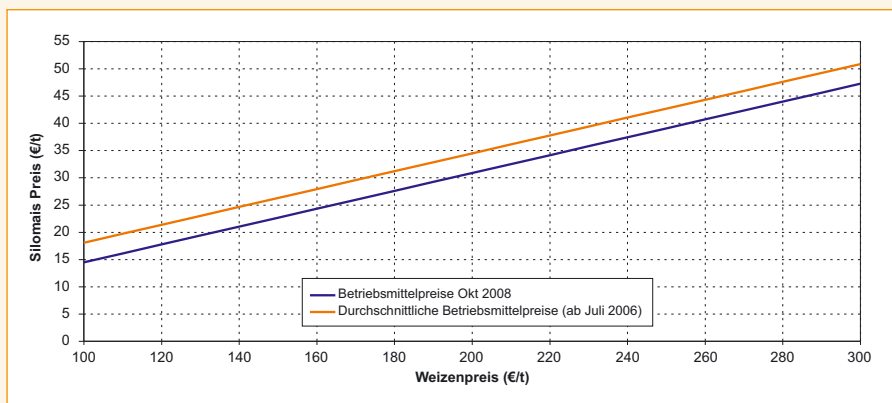


Abb. 7-2: Indifferenzpreise von Winterweizen und Silomais bei unterschiedlichen Betriebsmittelpreisen

und Deckungsbeiträge. Für ein bestimmtes Ertragsniveau und konstante Betriebsmittelpreise kann jedoch berechnet werden, ab welchem Produktpreis der Anbau von Energiepflanzen wettbewerbsfähig gegenüber alternativen Produktionsverfahren ist. Dafür wird dem Silomaisanbau der gleiche Deckungsbeitrag unterstellt wie der Produktion von Winterweizen. Von diesem Deckungsbeitrag wird „rückwärts“ gerechnet und so der Preis für Maissilage ermittelt. Der ermittelte Preis der Maissilage ist folglich abhängig von dem Winterweizenpreis, der zur Berechnung des Deckungsbeitrags verwendet wird (vgl. Abb. 7-2).

In Deutschland beträgt der Durchschnittsertrag von Winterweizen nach Kreisstatistik 7,27 t/ha, der Frischmasseertrag (32 % TM-Gehalt) von Silomais beträgt im Mittel 42,7 t/ha (Statistische Bundesamt, 2007; Auswertungszeitraum 1999 – 2005). Die orangefarbene Gerade

in Abbildung 7-2 zeigt den Indifferenzpreis zwischen Winterweizen und Silomais, wenn in der Berechnung durchschnittliche Betriebsmittelpreise (seit Juli 2006) unterstellt werden.

Da für die beiden Produktionsverfahren unterschiedliche Betriebsmittelmengen benötigt werden, ist der Preis, bei dem beide Produktionsverfahren den gleichen Deckungsbeitrag aufweisen, auch abhängig vom Preisniveau der Betriebsmittel (vgl. Abb. 7-2). Die blaue Gerade zeigt die Folgen eines Anstiegs der Betriebsmittelpreise auf das Niveau von Oktober 2008. Insbesondere aufgrund des höheren Mineraldüngereinsatzes in der Produktion von Winterweizen steigt die Wettbewerbsfähigkeit der Silomaisproduktion als Rohstoff für die Biogasproduktion bei höheren Nährstoffpreisen, was sich in einem niedrigeren Indifferenzpreis widerspiegelt.

Für die Berechnung der Arbeiterledigungskosten wurden die in den Versuchen durchgeführten Arbeitsverfahren mit den in der KTBL-Betriebsplanung<sup>21</sup> für einen 10 ha Schlag und eine Hof-Feld-Entfernung von 5 km sowie eine Mechanisierung mit 120 kW ausgewiesenen Maschinenkosten bewertet. Die bei der Berechnung getroffenen Annahmen und eine detaillierte Vorgehensbeschreibung sind im Abschlussbericht der ersten Projektphase des EVA-Projekts zu finden<sup>22</sup>.

Für den Betrieb einer Biogasanlage ist die den Wert bestimmende Eigenschaft der Gärsubstrate das Methanbildungsvermögen. Der Preis alternativer Gärsubstrate, die weniger häufig auf Märkten gehandelt werden, kann daher über deren Methanbildungspotential bestimmt werden. Hierfür wird zunächst der auf oben beschriebene Weise ermittelte Preis je Tonne Silomais durch das Methanbildungspotential pro Tonne Mais dividiert. Dieser „Preis“ für einen Kubikmeter Methan wird anschließend mit dem Methanbildungspotential der jeweiligen alternativen Rohstoffe multipliziert. Auf diese Weise können die Leistungen und Deckungsbeiträge unterschiedlicher Fruchtarten und Fruchtfolgestellungen berechnet und miteinander verglichen werden.

## 7.1 Fruchtfolgeglieder in Hauptfruchtstellung

Im Durchschnitt der Jahre 2005 bis 2008 und im Durchschnitt sämtlicher Versuchsstandorte erbrachte Silomais von

allen Fruchtfolgegliedern in Hauptfruchtstellung mit 448 €/ha den höchsten Deckungsbeitrag (vgl. Tab. 7-1). Mit weitem Abstand folgten – ebenfalls im Durchschnitt sämtlicher Versuchsjahre und Standorte – Welsches Weidelgras im zweiten Anbaujahr mit 158 €/ha sowie Leguminosen/Gras-Gemenge (Luzerne-, Klee-, Luzerne-Klee-Gras) im zweiten und dritten Anbaujahr mit Deckungsbeiträgen von 121 und 141 €/ha. Von den einjährigen Fruchtarten sind die als Ganzpflanze genutzten Wintergetreidearten in Hauptfruchtstellung mit einem Deckungsbeitrag von 134 €/ha unter den oben genannten Bedingungen die beste Alternative zum Silomais. Sorghumarten wurden im EVA-Projekt nur in den Jahren 2005 und 2006 in Hauptfruchtstellung angebaut und erzielten im Durchschnitt Deckungsbeiträge in Höhe von -18 und -41 €/ha, der Deckungsbeitrag des Sonnenblumenanbaus ist mit durchschnittlich -306 €/ha die schlechteste der untersuchten Alternativen.

Tabelle 7-1 zeigt ferner, dass Silomais im Durchschnitt der untersuchten Jahre an jedem Versuchsstandort die höchsten Deckungsbeiträge der Fruchtfolgeglieder in Hauptfruchtstellung aufweist. In einzelnen Jahren und an einzelnen Standorten sind die Vorteile von Mais jedoch geringer bzw. hat Mais nicht die Vorrangstellung. In Tabelle 7-1 sind die Fruchtfolgeglieder grün hervorgehoben, bei denen dies zutrifft.

<sup>21</sup> Vgl. [www.ktbl.de/Kalkulationsdaten](http://www.ktbl.de/Kalkulationsdaten).

<sup>22</sup> Vgl. [www.tll.de/vbp](http://www.tll.de/vbp).



Tab. 7-1: Deckungsbeiträge alternativer Fruchtfolglieder in Hauptfruchtstellung

	Silomais	Welsches Weidelgras		Leguminosen-Gras-Gemenge			Wintergetreide (GPS)	Sorghum (b. x b.)	Sorghum (b. x s.)	Sonnenblumen
		Ansaat	1. HNJ	Ansaat	1. HNJ	2. HNJ				
Mittel	448	-146	158	-86	121	141	134	-18	-41	-306
<b>Ascha</b>	542			-1	344	313	134		-27	
2005	349			28					-11	
2006	439			-30	346		-1		-42	
2007	838				343	376	224			
2008						251	180			
<b>Dornburg</b>	286			-30	239	188	212		23	
2005	210								81	
2006	127			-30	50		325		-36	
2007	700				429	182	219			
2008	109					195	91			
<b>Ettlingen</b>	587			-187	75	207	182	-18	-204	-258
2005	671			-187				121	-283	-243
2006	586				202		229	-158	-124	-273
2007	618				-52	147	188			
2008	475					268	128			
<b>Gülzow</b>	689	-146	158	-78	143	146	252		2	
2005	582								-152	
2006	558	-179		-78	64		219		156	
2007	927	-112	192		221	188	312			
2008			124			104	225			
<b>Güterfelde</b>	293				42	40	30		11	-383
2005	393								47	-414
2006	-81				42		-20		-26	-351
2007	565				42	-96	-46			
2008						176	156			
<b>Trossin</b>	340				-113	85	37		0	-277
2005	562								48	
2006	71				-125		97		-48	-258
2007	388				-102	41	-54			-297
2008						129	68			
<b>Werlte</b>	401			-136	116	3	93		-96	
2005	412			-130					-103	
2006	142			-141	165		220		-89	
2007	651				66	-71	-13			
2008						77	72			

HNJ = Hauptnutzungsjahr

Tab. 7-2: Deckungsbeiträge alternativer Fruchtfolgeglieder in Zweit- und Zwischenfruchtstellung.

	Sommerzwischenfrucht			Winterzwischenfrucht		Zweitfrucht		
	Sorghum (b. x s.)	Sorghum (b. x b.)	Einj. Weidel- Gras	Welsches Weidel- Gras	Winter- Getreide	Mais	Sorghum (b. x b.)	Sorghum (b. x s.)
Mittel	-155	-204	-300	-94	-176	363	69	-29
<b>Ascha</b>	-155	-249	-230	-94	-6	292		19
2006					-137	167		117
2007	-295	-272	-159	-94	124	417		-80
2008	-16	-227	-301					
<b>Dornburg</b>		-221	-354		-178	299		49
2006					-165	83		-119
2007		-131	-402		-192	514		216
2008		-312	-305					
<b>Ettlingen</b>		-132	-438		-236	439	64	-95
2006					-208	439		-200
2007			-416		-264		64	10
2008		-132	-459					
<b>Gülzow</b>		-260	-190		-189	532		83
2006					-235	435		117
2007		-245	-181		-143	630		49
2008		-276	-199					
<b>Güterf.</b>		-195	-262		-231	164		-105
2006					-300	2		-283
2007		-79	-237		-168	325		46
2008		-311	-287		-224			-79
<b>Trossin</b>		-194	-287		-239		74	-158
2005								
2006					-308		20	33
2007		-160	-295		-170		127	-61
2008		-228	-278					-446
<b>Werthe</b>		-175	-342		-151	450		7
2005								
2006					-117	280		-7
2007			-323		-97	582		22
2008		-175	-361		-239	487		

In Dornburg betrug der Deckungsbeitrag von Wintergetreide-GPS im Mittel 212 €/ha im Vergleich zu 286 €/ha (Mais). Der Vorteil von Mais ist hier also deutlich schwächer ausgeprägt als an den anderen Standorten. Im Jahr 2006 konnte an diesem Standort mit der Produktion von Wintertriticale-GPS (325 €/ha) ein deutlich höherer Deckungsbeitrag als mit Mais (127 €/ha) erzielt werden. Ebenfalls in Dornburg konnte im Jahr 2008 auch das Leguminosen/Gras-Gemenge im dritten Anbaujahr mit 195 €/ha gegenüber dem Maisanbau mit 109 €/ha überzeugen.



In Güterfelde waren die Maisergebnisse in 2006 durch besonders ausgeprägte Trockenschäden mit -81 €/ha negativ. Das Leguminosen/Gras-Gemenge hat in diesem Jahr mit 42 €/ha ein um 123 €/ha besseres Ergebnis erzielt.

Wie in Dornburg wurden im Jahr 2006 auch an zwei weiteren Standorten (Trossin, Werlte) mit dem Anbau von Wintergetreide-GPS höhere Deckungsbeiträge als mit der Maisproduktion erreicht, wobei der Mais jeweils deutlich unterdurchschnittliche Erträge und Deckungsbeiträge erzielte. Dieses Ergebnis ist ein Hinweis darauf, dass Wintergetreide-GPS insbesondere an trockenen Standorten zur Reduktion von Witterungsrisiken in Betracht gezogen werden sollte.

## 7.2 Zweit- und Zwischenfruchtanbau

In Tabelle 7-2 sind die Deckungsbeiträge der Sommer- und Winterzwischenfrüchte und die der Zweitfrüchte aufgelistet. Die Deckungsbeiträge aller Zwischenfrüchte sind negativ. Bei den Sommerzwischen- und den Zweitfrüchten stellt der geringe Trockenmassegehalt einen wesentlichen Kostentreiber dar. Vergleicht man die Ergebnisse der Sorghumarten als Sommer-Zwischenfrucht und als Zweitfrucht, dann sind die Deckungsbeiträge der Zweitfrüchte in allen Fällen deutlich höher. Mais in Zweitfruchtstellung ist an jedem Standort und in jedem Jahr den anderen getesteten Zweitfrüchten überlegen.

Tab. 7-3: Deckungsbeiträge der besten Varianten der Hauptkultur- und Zweikultur- Nutzung differenziert nach Standorten und Jahren.

	Hauptkultur-Nutzung				Zweikultur-Nutzung		
	WRog GPS	Mais	Senf	Senf + Mais	WRog	Mais	Mais + Roggen
<b>Dornburg</b>	528	402	-243	159	173	-66	107
2006	525	280	-226	55	19	30	49
2007	386	643	-247	396	160	72	232
2008	673	282	-256	26	341	-301	40
<b>Gülzow</b>	420	394	-188	205	138	-49	90
2006	312	472	-186	286	32	461	493
2007	350	406	-191	215	238	-156	81
2008	598	303	-188	115	146	-451	-305
<b>Haus Düsse</b>	445	859	-208	651	114	377	491
2006	614	596	-212	384	98	525	622
2007	207	979	-207	772	110	177	287
2008	515	1002	-205	796	134	428	563
<b>Rauischholzhausen</b>	539	521	-229	292	80	88	168
2006	606	499	-233	266	37	220	257
2007	592	718	-228	490	231	-36	194
2008	419	345	-227	119	-28	81	52
<b>Straubing</b>	534	884	-198	686	138	350	488
2006	640	653	-190	464	24	505	529
2007	549	1135	-195	940	232	444	676
2008	413	864	-210	654	159	100	259
<b>Werlte</b>	386	573	-183	390	62	65	127
2006	390	491	-211	280	-100	322	222
2007	174	675	-196	478	74	-20	55
2008	594	553	-140	412	212	-109	104
<b>Witzenhausen</b>	400	733	-246	488	76	134	210
2006	370	721	-248	473	56	454	510
2007	340	840	-248	592	99	37	136
2008	491	639	-241	399	74	-90	-15
<b>Gesamt</b>	465	624	-215	410	112	128	240



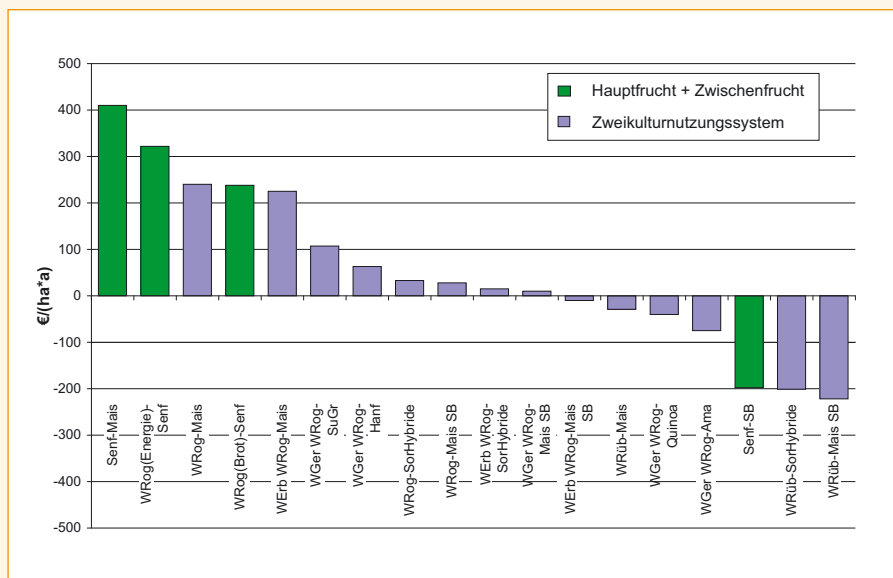


Abb. 7-3: Deckungsbeiträge der Varianten des Systemversuchs zur Zweikultur-Nutzung.

### 7.3 Zweikultur-Nutzungssystem

#### Mittlere Vorzüglichkeit der unterschiedlichen Anbausysteme im Rahmen des Systemversuchs zur Zweikultur-Nutzung

Abbildung 7-3 zeigt die Ergebnisse des Systemversuchs zur Zweikultur-Nutzung im Mittel der Jahre 2006 bis 2008. Jede Säule zeigt die Summe der Deckungsbeiträge des jeweiligen Anbausystems. Die grünen Säulen zeigen Hauptfruchtssysteme, die jeweils mit Senf als Zwischenfrucht kombiniert sind. Die blauen Säulen zeigen die geprüften Zweikultur-Nutzungsvarianten. Die beiden besten Anbausysteme sind zwei Hauptfrucht-Nutzungssysteme. Mit Mais als Hauptfrucht nach Senf als Zwischenfrucht, der

nicht geerntet wird, wird ein Deckungsbeitrag von 410 €/ha realisiert. Die zweitbeste Variante besteht aus Winterroggen-GPS ebenfalls als Hauptfrucht gefolgt von Senf. Erst an dritter Stelle findet sich eine klassische Zweikultur-Nutzung mit Winterroggen als Erstfrucht und Mais als Zweitfrucht. Der Deckungsbeitrag liegt mit 240 €/ha jedoch deutlich unter dem der beiden Hauptfrucht-Varianten.

Die Deckungsbeiträge aller weiteren Varianten der Zweikultur-Nutzung, die nicht Mais in Reinkultur als Zweitkultur hatten, fallen deutlich ab. Die beste Variante ohne Mais (Roggen/Gersten-Gemenge gefolgt von Sorghum (b. x s.)) erreicht lediglich einen Deckungsbeitrag von 107 €/ha.

### Hauptkultur- versus Zweikultur-Nutzungs-system im Standortvergleich

Betrachtet man Mais als isolierte Frucht, dann erzielt dieser im Mittel der Standorte des Versuchs zur Zweikultur-Nutzung (vgl. Kap. 3.4.1) einen Deckungsbeitrag von 624 €/ha (vgl. Tab 7-3, letzte Zeile). Der wiederholte Anbau von Silomais kann jedoch zu einem Humusabbau und – vor allem ohne Schutz des Bodens im Winter – zu einer verstärkten Erosion führen und damit zu längerfristig sinkenden Erträgen. Durch die Gärrestdüngung kann dem Humusabbau weitestgehend entgegen gewirkt werden. Um auch die Erosionsgefährdung in den Wintermonaten zu vermindern, können abfrierende Sommerzwischenfrüchte, wie beispielsweise Senf, angebaut werden.

Wenn man davon ausgeht, dass die für den Maisanbau genannten Gründe für eine Berücksichtigung des Zwischenfruchtanbaus beim Wintergetreide-GPS nicht zutreffend sind, dann braucht dem Roggen keine Zwischenfrucht angelastet zu werden. Auf erosionsgefährdeten Lagen wäre Wintergetreide-GPS dann also im Mittel über alle untersuchten Standorte mit 465 €/ha die vorzüglichste Frucht. Lastet man dem Roggen genau wie dem Mais den Zwischenfruchtanbau von Senf an, dann sinkt der Deckungsbeitrag auf 322 €/ha (vgl. Abb. 7-3: „WRog(Energie)-Senf“).

Betrachtet man die Standorte einzeln, war der Anbau von Roggen-GPS dem Maisanbau im Mittel der Jahre 2006 bis 2008 in Dornburg, Gülzow und Rauisch-

holzhausen überlegen (gelb hinterlegte Zellen in Tab. 7-3).

Von den möglichen Kombinationen von Kulturen für eine Zweikultur-Nutzung stellt Winterroggen gefolgt von Mais die beste Alternative dar. In einzelnen Jahren (insbesondere 2006) konnte an einzelnen Standorten mit dieser Variante ein höherer oder vergleichbarer Deckungsbeitrag realisiert werden wie mit dem Hauptfruchtensystem aus Mais und Senf-Zwischenfruchtanbau. Die Zellen in denen dies zutrifft sind in Tabelle 7-3 grün hinterlegt.

### Fazit

Für die Biogasproduktion aus nachwachsenden Rohstoffen ist aus ökonomischer Sicht Silomais die tragende Fruchtart. Im Durchschnitt der Versuchsjahre und der Versuchstandorte kann keine andere Fruchtart vergleichbare Deckungsbeiträge erzielen. Es zeigt sich jedoch, dass die Vorrangstellung von Silomais nicht an jedem Standort und in jedem Jahr in gleichem Maße wirkt. Unter den sehr trockenen Bedingungen in Güterfelde im Jahr 2006 konnte beispielsweise mit der Produktion von Winterroggen-GPS ein besseres Ergebnis (Deckungsbeitrag) erzielt werden. Winterungen, d. h. Winterzwischenfrüchte oder Ganzpflanzengetreide reduzieren in Trockenjahren das Risiko von Ertragsausfällen, da sie die Winterfeuchte noch in Ertrag umsetzen können.

Die untersuchten Zweikultur-Nutzungssysteme konnten aus ökonomischer Sicht bisher nicht überzeugen, die erziel-

ten Deckungsbeiträge waren trotz höherer Trockenmasseernten (vgl. Kap. 3.4.1) geringer als die der Fruchtfolgeglieder in Hauptfruchtstellung. Wird eine Winterbegrünung zur Minderung der Erosionsgefahr angestrebt, ist der Anbau von Winterroggen-GPS überlegen gegenüber dem Anbau von Senf als Zwischenfrucht gefolgt von Mais.

Zu berücksichtigen bleibt, dass es sich bei den hier zusammengefassten Bewertungen um konditionale Aussagen handelt, deren Eintreten an das Zutreffen agrarstruktureller Gegebenheiten, an die Faktor- und Produktpreise sowie an die klimatischen Gegebenheiten gebunden sind. Die getroffenen Annahmen und Unterstellungen werden im weiteren Verlauf des EVA-Projekts überprüft.



## 8 Zusammenfassung

Im Rahmen des EVA-Verbundprojektes konnte die Gewinnung von Biogassubstraten erstmals in einem deutschlandweiten und interdisziplinären Projektansatz untersucht werden. Vergleichend wurden die Erträge betrachtet, die unter den unterschiedlichen Standortbedingungen Deutschlands bei stark variierenden Witterungsbedingungen des Versuchszeitraumes 2005–2009 erzielt wurden.

Über die Standorte betrachtet lieferten Fruchtfolgen, die C<sub>3</sub>- und C<sub>4</sub>-Pflanzen kombinieren, die höchsten Erträge. Die Fruchtfolge 3 (Mais - Grünschnittroggen - Sorghum (b. x s.) - Wintertriticale (GPS) - Einjähriges Weidelgras) war im Mittel die produktivste Fruchtfolge mit den geringsten Schwankungen zwischen den beiden zeitversetzten Versuchsanlagen. Anhand dieser Fruchtfolge konnte auch die Produktivität der unterschiedlichen Standorte hervorgehoben werden. So wurden im dreijährigen Versuch in den verschiedenen Regionen zwischen 336 und 570 dt TM/ha erzielt.

Wenngleich Mais als ertragsstärkste und ökonomisch vorteilhafteste Kultur zur Gewinnung von Biogassubstraten weiterhin in der Gestaltung von Fruchtfolgen eine hohe Bedeutung haben wird, zeigten sich auch andere Kulturarten als interessante Alternativen bzw. Ergänzungen, mit denen die Vielfalt in Anbausystemen bei gleichzeitig hohem Ertragsniveau gesteigert und Anbauersiken

gesenkt werden können. So lassen sich Sorghumarten hervorheben, die, wenn auch bisher nur eingeschränkt züchterisch bearbeitet, an Standorten mit trocken-warmen Bedingungen schon Ergebnisse zeigen, die einen Anbau als Ergänzung zum Mais interessant machen. Auch Wintergetreidearten konnten erfolgreich eingebunden werden und zeigten hohe Erträge insbesondere auf den besseren Standorten Ostdeutschlands. Durch geringere Produktionskosten und hohe Methanausbeuten war Wintergetreide-GPS 2006 an Standorten mit geringerer Vorzüglichkeit des Maises auch bei geringeren Trockenmasseerträgen ökonomisch überlegen. Wintertriticale oder -roggen sind aus ertraglicher Sicht zu bevorzugen. Verfügbare Sommergetreidearten sind durch die kürzere Vegetationszeit nicht zu ähnlich hohen Biomasseleistungen fähig. Sowohl bei den Getreide-, als auch den Sorghumarten wird der Züchtungsfortschritt in Zukunft neben der Weiterentwicklung der Produktionsverfahren ein wichtiges Kriterium darstellen. Zusätzlich zur Einbindung dieser annualen Fruchtarten in unterschiedlichen Fruchtfolgestellungen zeigte sich auch, dass mit mehrjährigem Ackerfutterbau unter Verwendung standortangepasster Mischungen hohe Energieerträge erzielt werden können.

Die Flächeneffizienz des Zweikultur-Nutzungssystems konnte über eine Steigerung der Hektarerträge nachgewiesen werden. Wichtige Voraussetzung ist eine



ausreichende Wasserverfügbarkeit in der Etablierungsphase der Zweitkultur, d. h. neben Niederschlägen im Frühjahr auch ein gutes Wasserhaltevermögen der Böden. Im Versuch war allerdings eine für die Abreife später Zweitfrüchte ausreichende Vegetationszeit an den meisten Standorten nicht gegeben, so dass die für eine Silierung optimalen Trockenmassegehalte häufig nicht erreicht wurden.

Mit Blick auf die Substratqualität ist der Trockenmassegehalt zur Minimierung von Silage- und somit Energieverlusten ein wesentlicher Faktor. Für die Erzielung optimaler Methanausbeuten spielt dieses Kriterium neben der Pflanzenart und der entwicklungsbedingten Lignifizierung eine entscheidende Rolle. In diesem Zusammenhang ist oft ein Kompromiss zwischen geringerer Siliereignung und Verdaulichkeit einerseits und noch möglichem Ertragszuwachs andererseits zu schließen. Beim mehrschnittigen Ackerfutter konnte der mit einer geringeren Schnitthäufigkeit erzielte höhere Trockenmasseertrag die geringeren Methanausbeuten deutlich über-

kompensieren. Neben dem höheren Ertrag können so auch zusätzlich Produktionskosten eingespart werden.

Weitere Ansätze, den Produktionsaufwand über eine geringere Faktorintensität zu optimieren ergeben sich gegenüber dem Anbau von Marktfrüchten daraus, dass auf „Qualitätsgaben“ bei der Stickstoffdüngung verzichtet werden kann. Neben reduzierter Fungizidintensität können bei einem Wintergetreideganzpflanzenanbau je nach standortspezifischem Unkrautdruck Herbizidanwendungen eingespart werden.

Die Möglichkeiten der Zusatzbewässerung bieten weitere Handlungsansätze für eine angepasste Faktorintensität. So kann über die Beregnung vor allem in Trockenjahren die Ertragssicherheit deutlich verbessert werden. Beispielhaft sind in einem Bewässerungsversuch zur Zweitkultur-Nutzung die 2006 in Brandenburg realisierten Ertragssteigerungen in den Zweitkulturen von bis zu 73 % zu nennen. Die höchste Bewässerungswürdigkeit wiesen Zweitfrüchte und dabei wiederum abgestuft Mais vor Sorghumhirsen und Sonnenblumen auf.

Eine über die Nutzung von zwei Kulturarten pro Jahr gesteigerte Intensität der Flächennutzung, sei es über das Zweitkultur-Nutzungssystem oder die Nutzung von Zwischenfrüchten, ist bei der Gestaltung von Fruchtfolgen im betrieblichen Rahmen allerdings genau zu kalkulieren. In vielen Fällen rechtfertigen die höheren Leistungen, die erzielbar sind, den zusätzlichen Aufwand nicht.



Neben diesen ökonomischen Aspekten sollten jedoch pflanzenbauliche und ökologische Vorteilswirkungen vielfältiger Energiepflanzenproduktionssysteme nicht vernachlässigt werden. So ergeben sich unter Berücksichtigung von Aspekten des Erosions-, Wasser- und Biodiversitätsschutzes sowie der Notwendigkeit, Bodenfruchtbarkeit über einen langfristig ausgeglichenen Humushaushalt zu erhalten, standortspezifisch zusätzliche Empfehlungen.

Aus Sicht des Erosionsschutzes ist eine standortangepasste Gestaltung von Anbausystemen von großer Bedeutung. Eine reduzierte Bodenbearbeitung kann vor dem Anbau von Sommerungen wie Mais vor allem in der Kombination Winterung - Sommerung Erosionsgefahren stark verringern. Auch die Nutzung von Ackerfuttermischungen kann über eine mehrjährige Bodenbedeckung Erosionsrisiken minimieren. Darüber hinaus kann der Ackerfutterbau zu einer Steigerung von Humussalden beitragen. Entscheidende Voraussetzung für eine positive Humusbilanz von Fruchtfolgen mit hohem Anteil an Energiepflanzen ist aber die Rückführung der Gärreste. Die Humussaldengruppe D sollte dabei im Interesse einer Vermeidung erhöhter Stickstoffmineralisierungspotenziale nicht überschritten werden.

Durch die Verwertung der in den Gärresten enthaltenen Nährstoffe können betriebliche Kreisläufe geschlossen werden, wobei eine an den Bedarf der Pflanzen angepasste Düngung nach „guter fachlicher Praxis“ im Vordergrund stehen soll-



te. Zu diesem Themenkomplex ergibt sich weiterer Forschungsbedarf, insbesondere auch hinsichtlich der Schaffung wissenschaftlich Grundlagen für die weitere Optimierung der Anbausysteme entsprechend den Erfordernissen des Gewässer- und Klimaschutzes. In mehreren aktuellen Projekten wird hierzu im Rahmen des Förderprogramms Nachwachsende Rohstoffe bereits geforscht. Auch in der zweiten Projektphase des EVA-Verbunds (2009 – 2012) wird die Gärrestdüngung verstärkt bearbeitet.





Sorghum (b. x s.)



Getreide



Kleegras

Auch aus Sicht der Biodiversität bestätigen die bisherigen Versuchsergebnisse die Bedeutung der Fruchtfolgegestaltung. Unterschiedliche Anbauzeiträume und Vegetationsstrukturen, die durch die Einbindung verschiedener Kulturarten (-gruppen) zu gestalten sind, fördern das Vorkommen wildlebender Tier- und Pflanzenarten.

Eine wissenschaftlich abgesicherte Bewertung der Fruchtfolgesysteme ist insgesamt nur durch längerfristige Untersuchungen möglich. Nach den Erfahrungen der Projektlaufzeit kann jedoch bereits resümiert werden, dass unter Berücksichtigung pflanzenbaulicher, öko-

nomischer und ökologischer Aspekte Fruchtfolgesysteme, die sowohl Mais, als auch Getreide sowie standortabhängig weitere  $C_3$ - und  $C_4$ -Pflanzen integrieren, Lösungen darstellen, die neben einem hohen Ertragsniveau ökonomische und ökologische Vorteile aufweisen können.

Dabei sind die Chancen zu sehen, die landwirtschaftliche Produktion durch vielfältige Energiepflanzenfruchtfolgen auf ein breiteres, vielfältigeres und risikoärmeres Fundament zu stellen, um in effizienter Weise sowohl Nahrungsmittel als auch Rohstoffe für die Energieproduktion in einer intakten und lebenswerten Agrarlandschaft zu produzieren.



## 9 Literatur

### Döhler, Helmut et al.

Datensammlung Energiepflanzen: Daten für die Planung des Energiepflanzenanbaus, Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V. (Herausg.), Darmstadt 2006

### Pölking, Andreas et al.

Bioenergie und Biogasförderung nach dem neuen EEG und ihre Auswirkungen auf Natur und Landschaft, agroplan, Wolfenbüttel 2006 (Download über [www.fnr.de](http://www.fnr.de))

### FNR (Hrsg.)

- Handreichung Biogasgewinnung und -nutzung, 4. unveränderte Auflage 2009
- Gülzower Fachgespräch, Band 32: Tagungsband „Biogas in der Landwirtschaft – Stand und Perspektiven“, 1. Auflage 2009

### Relevante Internetseiten der Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe

- [www.energiepflanzen.info](http://www.energiepflanzen.info)
- [www.fnr.de/Energiepflanzen2009](http://www.fnr.de/Energiepflanzen2009)
- [www.nachwachsende-rohstoffe.de](http://www.nachwachsende-rohstoffe.de)

### Internetseite zum EVA-Verbund

- [www.tll.de/vbp](http://www.tll.de/vbp)





# Anlage 1: Regionalfruchtfolgen

Erste Versuchsanlage		2005	2006	2007	2008
Zweite Versuchsanlage		2006	2007	2008	2009
Ascha	6	Mais (Futter)	Grünschnittroggen Wzf Mais (Futter)	W.Wickroggen Sorghum (b. x s.) Szf	W.Weizen
	7	Corn-Cob-Mais (CCM)	W.Weizen	W.Raps Sorghum (b. x s.) Szf	W.Weizen
	8	Körnermais	Welsches Weidelgras Wzf Kartoffeln Hf Kn	W.Weizen Futtererbsen Szf	W.Weizen
Dornburg	6	Hafer	W.Triticale + W.Weizen + W.Gerste	W. Raps	W.Weizen
	7	Mais	Mais	Mais	W.Weizen
	8	Topinambur Kr	Topinambur 2-j. Kr	Topinambur 3-j. Kr + Kn	W.Weizen
Ettlingen	6	Sorghum (b x b)	W.Gerste Wzf Sorghum (b. x s.) Szf	W.Raps Wzf Hafer Zf	W.Weizen
	7	Sonnenblume	W.Triticale Wzf Sorghum (b x b) Szf	Mais	W.Weizen
	8	Mais	Grünschnittroggen Wzf Körnermais Ko Szf	Mais	W.Weizen
	9	S.Gerste W.Erbse Szf Gd	Grünschnittroggen Wzf Sorghum (b x b) Zf	Mais	W.Weizen
Gülzow	6	Mais	Gerstgras (S.Gerste + Welsches- + Bastard- weidelgras)	W. Raps	W.Weizen
	7	Mais	W.Roggen Wzf Welsches Weidelgras Zf	Welsches Weidelgras 1.Hn	W.Weizen
	8	S.Roggen + S.Triticale	W. Raps	W.Weizen	W.Weizen
Güterfelde	6	S.Roggen Senf Szf Gd	Blaue Lupine	W.Roggen Sorghum (b x b) Szf	W.Roggen
	7	Sonnenblume Ölrettich Szf Gd	Körnererbsen	W.Triticale Sorghum (b x b) Zf	W.Roggen
	8	Topinambur Kr	Topinambur Kr	Topinambur Kr + Kn	W.Roggen

Weiter auf Seite 115 ▼

▲ Fortsetzung von Seite 114

Erste Versuchsanlage		2005	2006	2007	2008
Zweite Versuchsanlage		2006	2007	2008	2009
	9	Hafer + Erbse + Leindotter	W.Raps	Grünschnittroggen Wzff Sudangras Szf	W.Roggen
Trossin	6	S.Roggen	W.Raps	Landsb.-Gemenge Wzff Sorghum (b. x s.) Zf	W.Roggen
	7	Mais	Grünschnittroggen Wzff Sorghum (b x b) Zf	Kartoffel Hf	W.Roggen
	8	S.Triticale Gelbsenf Szf Gd	Sonnenblume Phacelia Szf Gd	Hanf	W.Roggen
Werthe	6	Mais	Grünschnittroggen Wzff Mais Zf	Grünschnittroggen Wzff Mais Zf	W.Weizen
	7	Mais	W.Triticale	W.Gerste	W.Weizen
	8	Körnermais	W.Weizen	W.Roggen	W.Weizen

**Biogassubstrate** Marktfrucht, Futter

Gd = Gründüngung Szf = Sommerzwischenfrucht Wzff = Winterzwischenfrucht Zf = Zweitfrucht

## Anlage 2: Beteiligte Institutionen am EVA-Verbundprojekt

### **Koordination und übergreifende Informationen:**

#### **Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft (TLL)**

TZNR – Thüringer Zentrum Nachwachsende Rohstoffe und Agrarökologie  
Abteilung Pflanzenproduktion  
Apoldaerstr. 4 • 07778 Dornburg  
Tel.: 03 64 27/8 68-1 29 • [www.tll.de](http://www.tll.de)

#### **Brandenburgisches Landesamt für Verbraucherschutz, Landwirtschaft und Flurneuordnung (LVLf)**

Referat Ackerbau und Grünland  
Berliner Str. • 14532 Güterfelde  
Tel.: 0 33 29/69 14-05  
[www.mluv.brandenburg.de/cms/detail.php/164981](http://www.mluv.brandenburg.de/cms/detail.php/164981)

#### **Julius Kühn-Institut (JKI), Institut für Pflanzenbau und Bodenkunde**

Bundesallee 50 • 38116 Braunschweig  
Tel.: 05 31/5 96-23 18 • [www.jki.bund.de](http://www.jki.bund.de)

#### **Justus Liebig Universität Gießen Institut für Betriebslehre der Agrar- und Ernährungswirtschaft**

Senckenbergstr. 3 • 35390 Gießen  
Tel.: 06 41/99-3 72 43  
[www.uni-giessen.de/cms/fbz/fb09](http://www.uni-giessen.de/cms/fbz/fb09)

#### **Landesforschungsanstalt für Landwirtschaft und Fischerei Mecklenb.-Vorpommern (LFA)**

Dorfplatz 1 • 18276 Gülzow  
Tel.: 0 38 43/7 89-0 • [www.landwirtschaft-mv.de](http://www.landwirtschaft-mv.de)

#### **Landwirtschaftliches Technologiezentrum Augustenberg (LTZ)**

Außenstelle Rheinstetten-Forchheim  
Kutschenweg 20 • 76287 Rheinstetten  
Tel.: 07 21/95 18-30 • [www.ltz-augustenberg.de](http://www.ltz-augustenberg.de)

#### **Landwirtschaftskammer Niedersachsen (LWK Nds)**

Mars-la-Tour-Str. 13 • 26121 Oldenburg  
Tel.: 04 41/8 01-4 33  
[www.lwk-niedersachsen.de](http://www.lwk-niedersachsen.de)

#### **Leibniz-Institut für Agrartechnik Potsdam-Bornim e.V. (ATB)**

Max-Eyth-Allee 100 • 14469 Potsdam  
Tel.: 03 31/56 99-0 • [www.atb-potsdam.de](http://www.atb-potsdam.de)

#### **Leibniz-Zentrum für Agrarlandschaftsforschung e.V. Müncheberg (ZALF)**

Eberswalderstr. 84 • 15374 Müncheberg  
Tel.: 03 34 32/82-3 90 • [www.zalf.de](http://www.zalf.de)

#### **Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (LfULG)**

Gustav-Kühn-Str. 8 • 04159 Leipzig  
Tel.: 03 41/91 74-1 48 • [www.smul.sachsen.de/lfl](http://www.smul.sachsen.de/lfl)

#### **Technologie- und Förderzentrum im Kompetenzzentrum für Nachwachsende Rohstoffe (TFZ)**

Schulgasse 18 • 94315 Straubing  
Tel.: 0 94 21/3 00-2 01 • [www.tfz.bayern.de](http://www.tfz.bayern.de)

#### **Universität Kassel Fachgebiet Grünlandwirtschaft und NaWaRo**

Steinstr. 19 • 37213 Witzenhausen  
Tel.: 0 55 42/98-15 44  
[www.uni-kassel.de/agrar](http://www.uni-kassel.de/agrar)



## Herausgeber

Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR)  
Hofplatz 1 • 18276 Gülzow  
Tel.: 0 38 43 / 69 30-0  
Fax: 0 38 43 / 69 30-1 02  
info@fnr.de • www.fnr.de

Mit finanzieller Förderung des Bundesministeriums  
für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz

Gedruckt auf Papier aus Durchforstungsholz  
mit Farben auf Leinölbasis

FNR-Bestellnummer: 335  
ISBN: 978-3-942147-02-6



9 783942 147026