

nachwachsende-rohstoffe.de

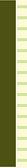
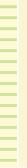
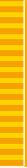
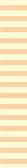
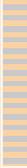
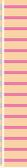
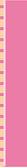
Standortangepasste Anbausysteme für Energiepflanzen



Bundesministerium für
Ernährung, Landwirtschaft
und Verbraucherschutz



Farbschema

Ölrettich	
Senf	
Phacelia	
Haarf	
Topinambur	
Landsberger Gemenge	
Einj. Weidelgras	
Kleegras	
Sudangrashybride	
Sonnenblumen	
Maïs	
Futterhirse	
Gerstgras	
Sommergerste	
Sommerroggen	
Raps	
Winterweizen	
Artenmischung Wintertriticale/-weizen/-gerste	
Wintertriticale	
Wintergerste	
Winterroggen	
Wickroggen	
Hafer	
Artenmischung Sommerroggen/-triticale	
Sommertriticale	
Haferartenmischungen	
Hafer-Erbsen-Leindottermischung	
Erbsen	
Lupine	
Kartoffeln	
Strohertag bei Kornnutzung	
Kornertag	
Zweifruchtstellung	
Zwischenfrucht	
Knollenertrag bei Topinambur	

S
K
ZF
ZwF
KnT

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

Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR) • Abt. Öffentlichkeitsarbeit
Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft (TLL) • Christoph Strauß

Bilder

ATB (Ines Ficht), BLE (Thomas Stephan, Dominic Menzler), FNR, JKI (Sigfried Schittenhelm) nova-Institut, Pixelio, TLL (Arlett Nehring)

Leitung des Verbundprojektes

Armin Vetter, Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft (TLL)

Autoren (alphabetisch)

Adam, L., LVLF (3.2.2); Benke, M., LWK Nds. (3.3.3; 6.2.2); Dietze, M., LFA (3.4.2); Ebel, G., LVLF (3.2.2; 4.3); Freydank, S., LfL (3.2.3); Fritz, M., TFZ (3.2.1; 3.4.2; 4.2.1); Glenwitz, M., ZALF (6.2); Heiermann, M., ATB (5); Herrmann, C., ATB (5); Hufnagel, J., ZALF (4.1); Idler, C., ATB (5); Klostermann, I., LFA (3.2.7); Kruse, S., LTZ (3.2.4; 4.1); Mastel, K., LTZ (3.2.4); Nehring, A., TLL (3.1; 3.2.6; 3.3; 4.2.2); Neumann, T., JKI (4.1); Peters, J., LFA (3.2.7); Röhricht, C., LfL (3.2.3); Rieckmann, C., LWK Nds. (3.2.5; 3.3.3; 5.2.2); Schittenhelm, S., JKI (4.1); Scholz, V., ATB (5); Strauß, C., TLL (1,2); Stülpnagel, R., Uni Kassel (3.4.1); Thiele, A., TLL (3.1); Toews, T., Uni Gießen (7); von Buttlar, C., Uni Kassel (3.4.1); Widmann, B., TFZ (3.2.1); Wilken, F., LWK Nds. (3.2.5); Willms, M., ZALF (6.1)

Gestaltung und Herstellung

nova-Institut GmbH, 50354 Hürth
www.nova-institut.de

Druck und Verarbeitung

Media Cologne Kommunikationsmedien GmbH, 50354 Hürth
www.mediacollogne.de

FNR • Juni 2008



Standortangepasste Anbausysteme für Energiepflanzen

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





Inhaltsverzeichnis

1	Zielstellung	4
2	Projektbeschreibung	6
3	Standortspezifische Erträge und Ertragsstruktur	9
3.1	Witterungsbedingungen im Versuchszeitraum	9
3.2	Vergleich von Fruchtarten und Fruchtfolgen an den Versuchsstandorten	11
3.2.1	Ascha (Bayern): Ackerfutter-Wintergersten-Region der Vor- und Mittelgebirge	11
3.2.2	Güterfelde (Brandenburg): Roggen-Kartoffel-Region	13
3.2.3	Trossin (Sachsen): Roggen-Kartoffel-Region	15
3.2.4	Ettlingen (Baden-Württemberg): Körnermais-Sonnenblumen-Region	16
3.2.5	Werlte (Niedersachsen): Futterbau-Veredlungs-Region	18
3.2.6	Dornburg (Thüringen): E-Weizen-Region	19
3.2.7	Gülzow (Mecklenburg-Vorpommern): Raps-Weizen-Region	21
3.3	Standortübergreifende Betrachtung	23
3.3.1	Fruchtfolgeerträge und Nährstoffentzug	23
3.3.2	Artenvergleich	27
3.3.3	Mehrjährige Ackerfuttermischungen	30
3.4	Alternative Anbausysteme	32
3.4.1	Zweikultur-Nutzungssystem	32
3.4.2	Mischkulturanbau	34
4	Intensität und Bewirtschaftungsstrategien	38
4.1	Fakturoptimierung durch Bewässerung	38
4.2	Faktorminimierung	43
4.2.1	Reduktion von Pflanzenschutzmitteln und Düngung	43
4.2.2	Minimalbodenbearbeitung im Vergleich zu konventioneller Bodenbearbeitung	45





4.3	Erntezeitpunkte	47
5	Substratqualität und Biogasausbeute	50
5.1	Einfluss der Pflanzenart auf Siliereignung und Methanausbeute	50
5.2	Einfluss des Erntezeitpunktes	53
5.2.1	Erntezeitpunkte in den Fruchtfolgen	53
5.2.2	Ackerfutter – Schnittregime	54
5.3	Einfluss von Silierparametern auf die Methanausbeuten	55
6	Ökologische Bewertung	59
6.1	Auswirkungen auf den Produktionsstandort	59
6.2	Auswirkungen auf Arten- und Individuenzahl	64
7	Ökonomische Bewertung	69
8	Zusammenfassung	75
9	Literatur	78
	Anlage 1: Regionalfruchtfolgen	79





1 Zielstellung

Nach Schätzungen des Bundesministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (BMELV) sowie der Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR) wurden im Jahr 2007 bereits mehr als zwei 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 lag zu diesem Zeitpunkt mit ca. 1,7 Millionen Hektar auf Energiepflanzen, vor allem Raps, Mais und Getreidearten für die Treibstoff- und Biogasproduktion. Die unbestreitbare Tat-

sache, dass die Erfolge in der landwirtschaftlichen Produktion von pflanzlichen Energieträgern bis dahin auf noch zu wenigen Kulturarten basierten, führte in den letzten Monaten – 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 BMELV und FNR berücksichtigt. Der Bundesverband BioEnergie (BBE) und die FNR veranstalteten am 10. Februar 2004 ein Perspektivforum „Ausbau der Bio-

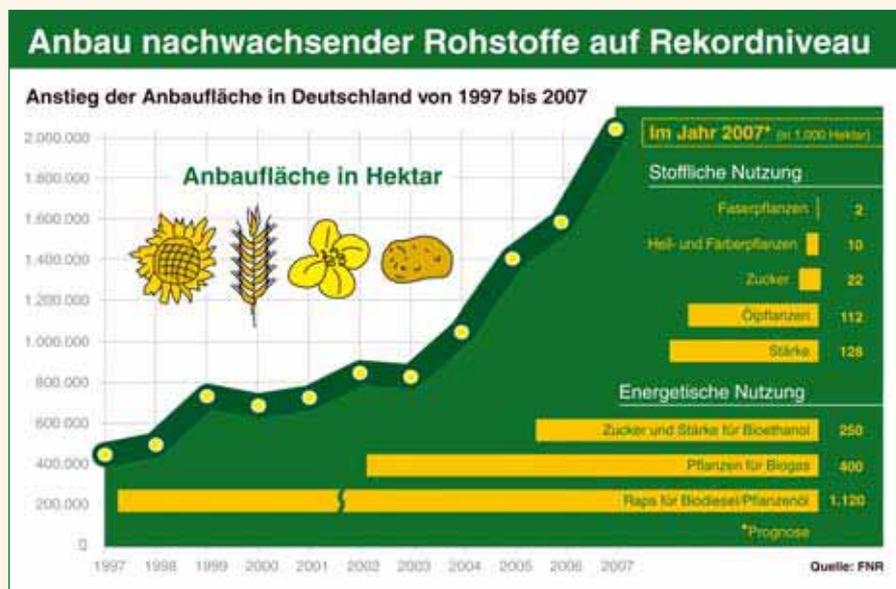


Abb. 1-1: Entwicklung der Produktion nachwachsender Rohstoffe 1997 – 2007





energie – 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 ganzheitlich hinsichtlich Ökonomie und Ökologie zu bewerten.

Auf dieser Grundlage wurden über das Förderprogramm Nachwachsende Rohstoffe innerhalb von drei Jahren mehr als 50 neue Energiepflanzenprojekte mit einem Fördervolumen von rund 15 Mil-



lionen Euro begonnen. Der Forschungs-etat des BMELV für diesen Bereich wurde gegenüber den Vorjahren mehr als verdoppelt, die Zahl der Projekte sogar nahezu verdreifacht.

Eines der aktuell umfangreichsten nationalen Agrarforschungsprojekte ist das von der Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft (TLL) koordinierte Verbundvorhaben „Entwicklung und Vergleich von optimierten Anbausystemen für die landwirtschaftliche Produktion von Energiepflanzen unter den verschiedenen Standortbedingungen Deutschlands“, kurz EVA.

Mit der vorliegenden Broschüre werden erstmals umfassend die Zwischenergebnisse des Zeitraums 2005 – 2007 aus EVA für die landwirtschaftliche Praxis veröffentlicht.

2 Projektbeschreibung

Den Kern des EVA-Verbundes bildet ein Fruchtfolgeversuch, welcher durch Landesforschungsanstalten und Landwirtschaftskammern aus sieben Bundesländern in agrarisch sehr unterschiedlich geprägten Regionen parallel umgesetzt wird.

Dieser Fruchtfolgeversuch wird durch eine Reihe zusätzlicher Teil- und Satellitenprojekte (vgl. Abb. 2-1) begleitet, die verschiedenste Fragestellungen hinsichtlich einer nachhaltigen Fruchtfolge- und Anbaugestaltung behandeln.

Beteiligt sind Institutionen mit pflanzenbaulichen, ökonomischen, ökologi-

schen und technischen Kompetenzen. Damit wird eine ganzheitliche Bewertung der untersuchten Anbausysteme sichergestellt.

Von großer Bedeutung sind Untersuchungen zur Silierbarkeit und zur Ermittlung von Biogasausbeuten, die zentral am Leibniz-Institut für Agrartechnik (ATB) umgesetzt werden. Eine weitere wichtige Teilaktivität betrifft die deutschlandweite Prüfung des Zweikultur-Nutzungssystems unter Leitung der Universität Kassel. Hier werden Möglichkeiten untersucht, den jährlichen Biomasseaufwuchs durch eine Kombination von Erst- und Zweitkulturen, d. h. über zwei Ern-

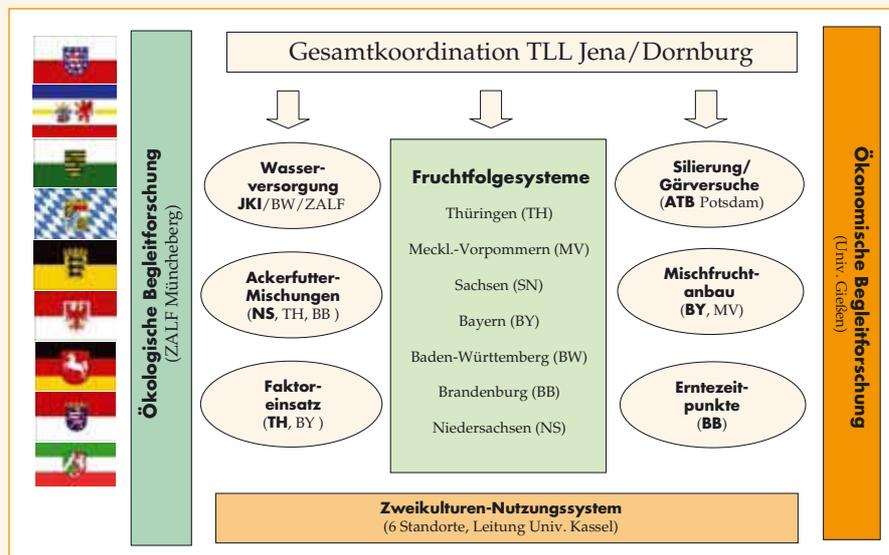


Abb. 2-1: Aufbau des EVA-Verbundes



ten je Flächeneinheit und Jahr, zu steigern. Der nachhaltigen Nutzung der wichtigen Ressource Wasser widmet sich ein Teilprojekt, das unter Leitung des Julius-Kühn-Instituts (JKI) umgesetzt wird.

Aufbauend auf den pflanzenbaulichen Ergebnissen bilden die ökonomische Begleitforschung durch die Universität Gießen und die ökologische Begleitforschung durch das Leibniz-Zentrum für Agrarlandschaftsforschung (ZALF) einen ganzheitlichen Bewertungsrahmen.

Abbildung 2-2 zeigt eine Übersicht der Standorte des Fruchtfolgeversuches sowie deren Standortcharakteristika. Bei der Auswahl der Standorte wurde versucht, die Vielfalt der verschiedenen in Deutschland vorzufindenden Anbaugebiete zu berücksichtigen.

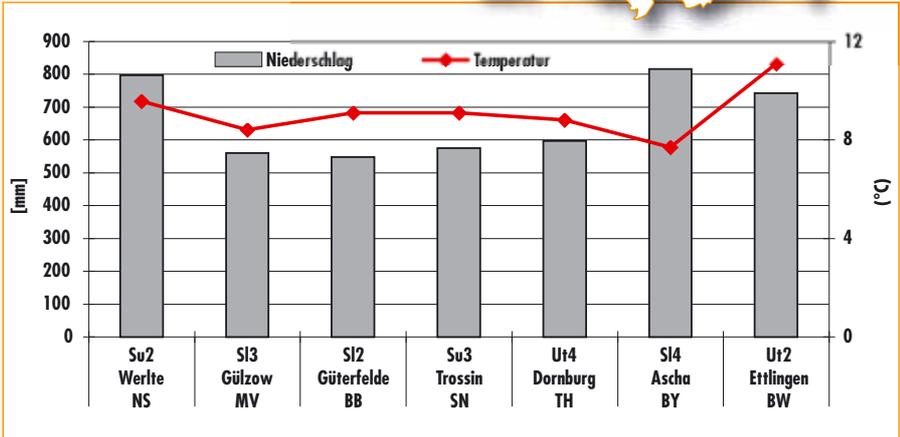
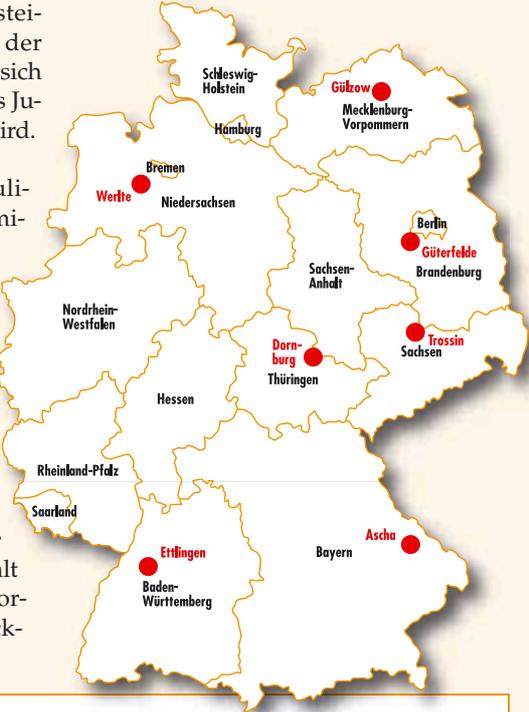


Abb. 2-2: Lage, Bodenart, Ackerzahl, langjähriges Niederschlag- und Temperaturmittel der Standorte des Fruchtfolgeversuches





So reicht das Spektrum von einem Standort mit hoher Bodengüte, ausreichender Wasserversorgung und hoher Jahrestemperatursumme (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 deutschlandweit einheitlich untersuchten Fruchtfolgen dargestellt, bei denen es sich um keine reinen Energie-Fruchtfolgen, sondern eine Kombination aus Pflanzen für die energetische Verwertung und Marktfrüchten handelt. Auch umfassen diese sowohl etablierte, als auch für die Nutzung als Biogassubstrat vergleichsweise „neue“ Kulturen, wie z. B. Sorghumarten.

Neben der Kulturartenvielfalt spielte bei der Gestaltung auch die Stellung im Anbausystem eine wichtige Rolle. Zu nennen sind der Anbau als Hauptfrucht mit und ohne Sommerzwischenfrucht, die Kombination von Winterzwischenfrucht und einer Zweitfrucht sowie die Einbindung mehrjähriger Ackerfuttermischungen.

Durch den zusätzlichen Anbau von 3 – 4 regionalspezifischen Fruchtfolgen, wird den regionalen Gegebenheiten der Standorte eine stärkere Bedeutung beigemessen (siehe Anhang I). Die Fruchtfolgewardirkung kann sowohl zwischen den Fruchtfolgliedern durch vergleichende Betrachtungen ermittelt werden, als auch über das bundesweit alle vier Jahre einheitlich angebaute Fruchtfolglied Winterweizen.

Tab. 2-1: Standard-Fruchtfolgen an allen Versuchsstandorten. (Biogas – Ganzpflanze, Marktfrucht)

Fruchtfolge	1	2	3	4	5
2005	Sommergerste Ölrettich (So-Zwischenfr.)	Sudangras- hybride	Mais	Sommergerste Untersaat Luzerne- oder Kleegras	Hafer- Sortenmischung
2006	Mais	Grüsnittroggen Mais (Zweitfrucht)	Grüsnittroggen Sudangrasybride (Zweitfrucht)	Luzerne- oder Kleegras	Wintertriticale
2007	Wintertriticale Futterhirse (So-Zwischenfr.)	<i>Wintertriticale</i>	Wintertriticale/ Weidelgras (So-Zwischenfr.)	Luzerne- oder Kleegras	<i>Winterraps</i>
2008*	<i>Winterweizen</i>	<i>Winterweizen</i>	<i>Winterweizen</i>	<i>Winterweizen</i>	<i>Winterweizen</i>

* An den Standorten Güterfelde und Trossin wird standortbezogen Winterroggen als Abschluss-Fruchtfolglied angebaut



3 Standortsspezifische Erträge und Ertragsstruktur

3.1 Witterungsbedingungen im Versuchszeitraum

Die Witterungsbedingungen in der bisherigen Projektlaufzeit (Frühjahr 2005 bis Frühjahr 2008) waren an allen Standorten durch deutliche Abweichungen von den langjährigen Mittelwerten gekennzeichnet.

Die meteorologischen Bedingungen des Jahres 2005 waren in den ersten Monaten nach Projektbeginn insbesondere für die C4-Pflanzen günstig. Nach einem trockenen und winterlichen März war der April allgemein zu warm. Ergiebigen Niederschlägen in West- und Süddeutschland mit überdurchschnittlichen Monatssummen, standen trockenere Witterungsbedingungen im Osten und Norden gegenüber. Im Mai konnten dann Tageshöchsttemperaturen von 30 °C verzeichnet werden.

Die häufigen Niederschläge trugen zur Auffüllung des Bodenwasservorrates bei. 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. Ebenso verhielt es sich mit den Niederschlagssummen in Niedersachsen, Mecklenburg-Vorpommern, Brandenburg und Sachsen. 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. Davon abweichend waren aber die Niederschläge in Mecklenburg-Vorpommern und Bayern höher als im langjährigen Mittel. Die ersten drei Monate waren kalt und die langhaltenden 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 Verdunstungsrate und die stark rückläufige Bodenfeuchte im Juni und Juli hatte einen deutlichen Ertragsrückgang, insbesondere bei Mais, zur Folge. Der Herbst war mit den Monaten September, Oktober und November sehr warm. Der trockene September und fehlende Niederschläge in der ersten Dekade im Oktober führten zu verzögerter Entwicklung des Winterweizens. Bei sehr mildem Wetter konnten die Wintersaaten aber im November und Dezember Wachstum und Entwicklung fortsetzen.

Die Temperaturen im Winter 2006/2007 lagen etwa 4 °C über den durchschnittlichen Werten bei insgesamt aus-

reichenden Niederschlägen. Das Jahr 2007 war im Vergleich zum langjährigen Mittel durch deutlich höhere Niederschläge, vor allem in den Sommermonaten, und hohe Durchschnittstemperaturen charakterisiert. So wurden in Werlte insgesamt 1004 mm Niederschlag gemessen; auch an den trockeneren Standorten in Brandenburg und Sachsen lagen die Niederschläge deutlich über dem langjährigen Mittel.

Der März 2007 war deutlich zu nass und im April fielen keine oder nur sehr geringe Niederschläge. Die geringen Niederschläge in Kombination mit der warmen Witterung hatten eine hohe Verdunstung zur Folge und daraus resultierend ging die Bodenfeuchte stark zurück. Das Auflaufen und Wachstum von Sommergetreide und Mais war unter den vorherrschenden Bedingungen schwierig, auch das Wachstum des Wintergetreides

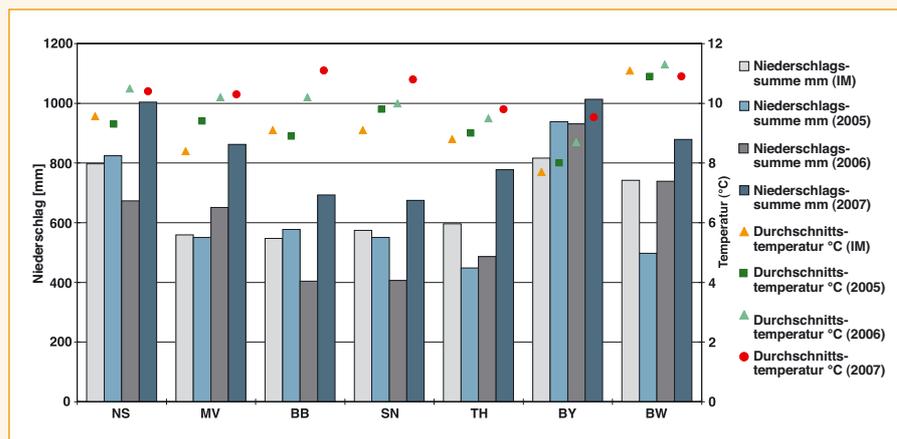


Abb. 3-1: Witterung in den Versuchsjahren 2005 – 2007 im Vergleich zu den langjährigen Mittelwerten an den Versuchsstandorten



wurde beeinträchtigt. Erst durch die unbeständige niederschlagsreiche Witterung im Mai konnte der Bodenwasservorrat wieder aufgefüllt werden. Die Niederschlagssumme des ersten Halbjahres 2007 (Januar bis Juni) lag deutlich höher als das vieljährige Mittel. Auch das zweite Halbjahr (Juli bis Dezember) kann als niederschlagsreich betrachtet werden. Lediglich die Monate Oktober und Dezember stellten eine Ausnahme dar. Die starken Niederschläge im Juli und August führten teilweise zu Problemen bei der Getreideernte. Gut realisierbar war die Bestellung von Wintererbsen und Wintergetreide, wobei ab November die Böden teilweise unbefahrbar wurden.

Die Schwankungen der Witterungsverläufe und der dadurch bedingte starke Jahreseinfluss auf die Ergebnisse wurde bereits präzisiert durch Erstanlage 2005 und Zweitanlage 2006 .

3.2 Vergleich von Fruchtarten und Fruchtfolgen an den Versuchsstandorten

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

Standortbeschreibung

Die Versuchsfläche „Ascha“ liegt auf ca. 460 m über NN im Vorwaldgebiet des Bayerischen Waldes. Die langjährigen Mittel sind 807 mm Niederschlagssumme und 7,5 °C mittlere Jahrestemperatur. Der Boden ist eine Braunerde aus lehmi-



gem Sand mit der durchschnittlichen Ackerzahl 45.

Ergebnisse

Vor dem Hintergrund der gegenüber dem langjährigen Mittel erhöhten Temperaturen konnten auch am Standort Ascha hohe Erträge der Fruchtfolgen mit einem hohen Anteil an C4-Pflanzen wie Mais und Sudangrashybriden erzielt werden. Auch zeigten diese trotz der erhöhten Lage ein akzeptables Abreifeverhalten. Im Versuch der Anlage 2005 hat Fruchtfolge 3 (vgl. Tab. 2-1) mit 580 dt TM/ha den höchsten aufsummierten Trockenmasseertrag erbracht. Fruchtfolge 6 liegt mit 502 dt TM/ha an zweiter Stelle (vgl. Abb. 3-2). Im Versuch der Anlage 2006 ist bisher Fruchtfolge 6 mit einem Ertrag von 450 dt TM/ha am ertragreichsten. Des Weiteren besteht noch





keine klare Differenz zwischen den Fruchtfolgen 1, 2 und 3. Das mehrjährige Klee gras, welches als Untersaat in Sommergerste etabliert wurde (Fruchtfolge 4), ist im Versuch der Anlage 2005 bisher ertraglich gleichwertig zu den Fruchtfolgen 1 und 2. Im Versuch der Anlage 2006 hingegen ist diese Fruchtfolge verglichen mit den ertragsstarken Sommerungen, die vor allem 2007 sehr gute Ergebnisse erzielten, deutlich im Nachteil. Die Versuchserträge der jeweils drei Schnitte des Klee grasses lagen 2006 und 2007 mit 137 dt TM/ha und 145 dt TM/ha (Versuch der Anlage 2005) sowie 129 dt TM/ha (Versuch der Anlage 2006) auf einheitlichem Niveau. Fruchtfolge 5, welche die wenigsten Fruchtfolgeglieder und ausschließlich C3-Pflanzen enthält, erzielte die geringsten Erträge.

Im frühjahrstrockenen Jahr 2007 sind die Winterungen bis auf den Raps sehr

rasch und mit relativ hohen Erträgen abgereift. Die nachfolgenden Zweitkulturen hatten bei zeitnaher Saat eine lange Vegetationszeit zur Verfügung. Der Mais konnte im Gegensatz zur Sudangrashybride die hohen Niederschlagsmengen bei niedrigeren Temperaturen besser verwerten.

Enttäuschend war das Ergebnis des Ganzpflanzen-Raps, dessen niedriger Trockenmassegehalt eine ausreichend frühe Ernte verhinderte, was später zu hohen Kornverlusten führte. Die ausgiebigen Niederschläge während der Sommermonate verzögerten die Aussaat der Zwischenfrüchte (Nach Ganzpflanzen-Wintertriticale in den Fruchtfolgen 1 und 3 und Ganzpflanzen-Raps in der Fruchtfolge 7) im Versuch der Anlage 2005. Nur das Einjährige Weidelgras in Fruchtfolge 3 konnte in der verbleibenden kurzen Vegetationszeit noch einen ausreichenden

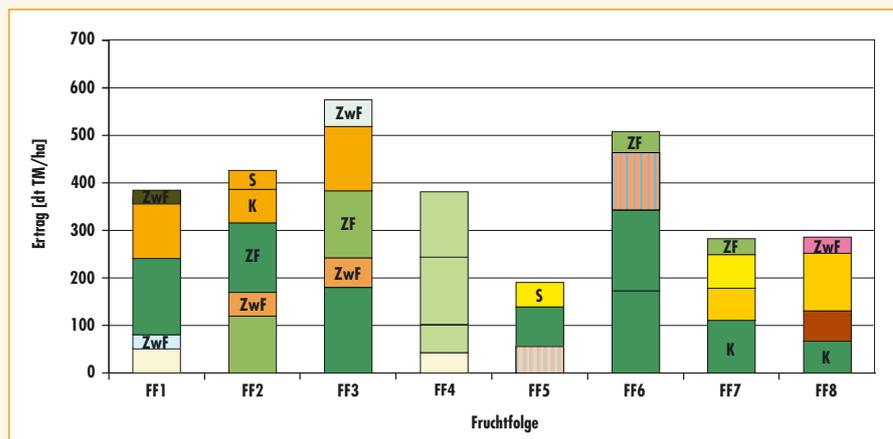


Abb. 3-2: Aufsummierte Trockenmasseerträge der getesteten Fruchtfolgen am Standort Ascha 2005 – 2007 (Erstanlage)





Ertrag von 61 dt TM/ha liefern. Die Sorghumarten kamen kaum über den Beginn des Längenwachstums (BBCH 30) hinaus.

Fazit und Empfehlungen

Die am Standort Ascha erfolgreichsten Fruchtfolgen enthalten zum Einen relativ hohe Anteile an C4-Pflanzen und nutzen zum Zweiten auch die Anbauform des Zweikultur-Nutzungssystems (vgl. Kap. 3.4.1). Bei ausreichender Wasserversorgung und nicht zu kurzer Vegetationsperiode ist dieses Anbausystem für Energiepflanzenfruchtfolgen empfehlenswert, wenn eine schlagkräftige Beerntung und Neuansaat realisiert werden kann. Ganzpflanzenraps kann nach den bisherigen Erkenntnissen nicht als Energiekultur empfohlen werden. Die bessere Wahl sind Wintergetreide oder Wickroggen, für die sehr frühe Räumung auch Grünschnittroggen. Die mit mehrjährigem Klee gras erzielbaren Erträge sind mit verschiedenen Fruchtarten und sogar Kulturabfolgen von Erst- und Zweikultur vergleichbar, wobei hier Etablierungskosten und Kosten für den höheren Arbeitsaufwand berücksichtigt werden müssen (vgl. Kap. 8).



3.2.2 Güterfelde (Brandenburg): Roggen-Kartoffel-Region

Standortbeschreibung

Der Versuchsstandort liegt im Kreis Potsdam-Mittelmark. Die vorherrschende Bodenart ist lehmiger Sand mit einer durchschnittlichen Ackerzahl von 29. Die Jahresniederschlagssumme beträgt im langjährigen Mittel 545 mm und die durchschnittliche Jahrestemperatur ist 9,1 °C.

Ergebnisse

Im Versuchszeitraum 2005 bis 2007 führten stark abweichende Jahreswitterungen mit Extremereignissen zu erheblichen Ertragsschwankungen bei den dreijährig geprüften Fruchtarten. Im Jahr 2007 wurden durch das warme Frühjahr und die günstige Niederschlagsverteilung ab Mai hohe Ganzpflanzenerträge mit Mais (ca. 190 dt TM/ha) und Sudangrashybriden in Zweitfruchtstellung (bis 150 dt TM/ha) erreicht. Diese Erträge liegen deutlich über denen der Vorjahre (vgl. Kap. 4.3). Durch die Trockenheit im April 2007 waren die Wintergetreide-Ganzpflanzenerträge mit 58 bis 70 dt TM/ha nur auf dem Niveau des Jahres 2006.

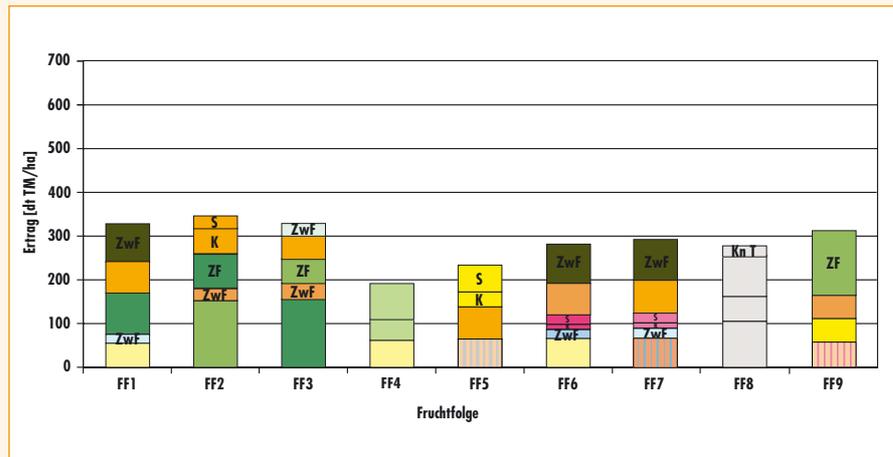


Abb. 3-3: Aufsummierte Trockenmasseerträge der getesteten Fruchtfolgen am Standort Güterfelde 2005 – 2007 (Erstanlage)

Die Gesamterträge der drei Versuchsjahre variierten in den neun Fruchtfolgen zwischen 190 und 340 dt TM/ha (Abb. 3-3). Die Aufwuchsleistung über zwei Jahre in der Anlage 2 erbrachte Erträge von ca. 105 bis 275 dt TM/ha. Die Fruchtfolgen mit Mais bzw. Sudangrashybriden in Haupt- bzw. Zweitfruchtstellung inklusive des Grünschnittroggens wiesen dabei höhere Erträge als die getreidedominierten Fruchtfolgen auf.

Die Fruchtfolge 9 weist mit der Sudangrashybride Lussi in Zweitfruchtstellung (2007) ähnlich hohe Erträge wie die Fruchtfolgen 1 und 3 auf. 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 Luzernegrasmischung ausgesät. Das ein-

jährige Luzernegrasmischung erzielte einen um 30 dt TM/ha höheren Ertrag als das zweijährige Klee gras. Diese deutlichen Ertragsvorteile des Luzernegrases sind am Standort Berge im Versuch „Ackerfuttersmischungen“ ebenfalls ermittelt worden (vgl. Kap. 3.3.3).

Empfehlungen für die Praxis

Auf den zur Vorsommertrockenheit neigenden Standorten der Roggen-Kartoffel-Region weisen die Fruchtarten Mais und Sorghumgräser die höchsten Biomasse- und Biogaserträge auf. Der Zweitfruchtanbau erzielte bisher keine deutlich höheren Gesamterträge (Erstfrucht Getreide mit Zweitfrucht Mais bzw. Sorghum) als der Hauptfruchtanbau mit C4-Pflanzen. Daher ist der Zweitfruchtanbau aus ökonomischer Sicht nur eingeschränkt für Standorte mit gesicherter Wasserversorgung etablierungswürdig. Aus Sicht der



Risikominimierung sind für die Gärsubstratbereitstellung in Brandenburg Fruchtfolgen mit den Arten: Mais, Sorghumgräser, Getreide für die Ganzpflanzennutzung (insbesondere Roggen) sowie bedingt spezifische Ackerfutmischungen 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 bisher weniger geeignet.

3.2.3 Trossin (Sachsen): Roggen-Kartoffel-Region

Standortbeschreibung

Trossin liegt im Landkreis Torgau/Oschatz auf einer Höhe von 120 m über NN. Die Temperatur beträgt im Jahresmittel 9,1 °C. Bei durchschnittlichen

Jahresniederschlägen (1972 – 2001) von 574 mm ist das Gebiet als niederschlagsarm einzustufen. Die hier vorherrschende Bänderparabraunerde, mit der Bodenart mittelschluffiger Sand weist die Ackerzahl 31 auf. Der Versuchstandort ist demnach nicht nur durch geringe Niederschläge, sondern auch durch eine relativ geringe Wasserspeicherkapazität des Bodens charakterisiert.

Ergebnisse

Als geeignete Fruchtfolgen hinsichtlich des Trockenmasseertrages haben sich die Fruchtfolgen 3 und 7 am Standort erwiesen (vgl. Abb. 3-4). Beide Fruchtfolgen sind durch einen hohen Anteil an C4-Pflanzen (Mais, Sudangrashybride und Futterhirse) gekennzeichnet. Gerade diese Pflanzen zeichnen sich bekanntermaßen durch hohe Biomasseerträge und einen niedrigen Transpirationskoeffizienten aus.

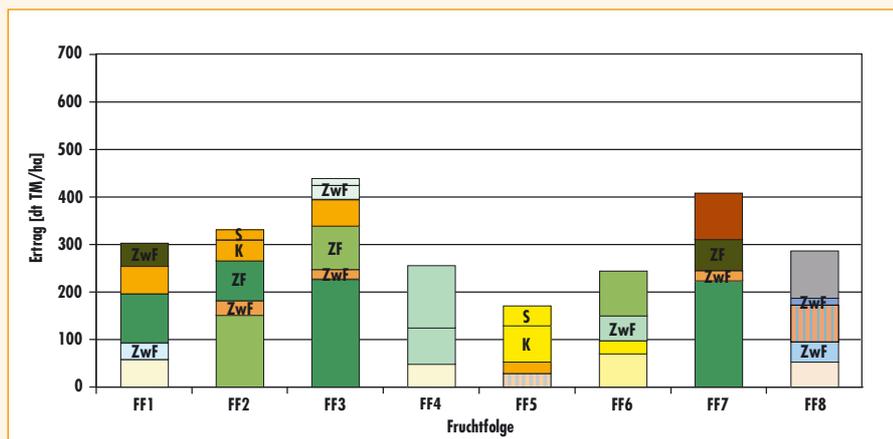


Abb. 3-4: Aufsummierte Trockenmasserträge der getesteten Fruchtfolgen am Standort Trossin 2005 – 2007 (Erstanlage)



Empfehlungen für die Praxis

Grundsätzlich sind für die Energieproduktion auf den trockenen Standorten Ostdeutschlands C4-Pflanzen, vor allem Mais, vorzüglich. Der Anbau von Zwischenfrüchten scheint in trockenen Jahren aus Ertragsicht wenig lohnenswert. Die danach angebauten Zweitkulturen können bedingt durch ein limitiertes Wasserangebot und eine verkürzte Vegetationszeit ihr Ertragspotenzial nicht voll ausschöpfen.

3.2.4 Ettlingen (Baden-Württemberg): Körnermais-Sonnenblumen-Region

Standortbeschreibung

Der Versuchsstandort Ettlingen im Landkreis Karlsruhe liegt 140 m über NN und ist geprägt durch seine unmittelbare Nähe zum Rheintal. Der Standort ist prädestiniert für den Anbau von Silo- und Körnermais. Aufgrund guter Lehmböden mit Ackerzahlen >60 und nahezu optimalen klimatischen Bedingungen mit langjährigen Durchschnittstemperaturen von



10 °C und durchschnittlichen Jahresniederschlägen von 750 mm besteht die Möglichkeit, neben etablierten Getreidearten neue wärmeliebende und wasser-effiziente C4-Arten wie Sudangrashybriden und Futterhirse in nachhaltige Biomasse-Fruchtfolgen aufzunehmen.

Ergebnisse

Die vorliegenden zweijährigen Ergebnisse zu den Trockenmasse-Erträgen der Zweit- bzw. Hauptfrüchte bestätigen die Vorzüglichkeit der Sommerungen (außer Getreide) hinsichtlich der Nutzung als Ganzpflanzensilage. Im Durchschnitt der Fruchtfolgen und Versuchsjahre erzielte Mais die höchsten Trockenmasse-Erträge (205 dt TM/ha), gefolgt von Futterhirse bzw. der Sudangrashybride (133 dt TM/ha) sowie Wintertriticale (125 dt TM/ha), Sonnenblume (123 dt TM/ha) und Luzernegras (122 dt TM/ha). Die Erträge von Sommergerste (79 dt TM/ha) bzw. Hafer (81 dt TM/ha) lagen deutlich niedriger.

Große witterungsbedingte Schwankungen im Trockenmasseertrag wurden zwischen den einzelnen Versuchsjahren festgestellt. So konnten beispielsweise begünstigt durch ausreichende Sommer-niederschläge im Jahr 2007 247 dt TM/ha Mais geerntet werden. Im Gegensatz dazu wurde im Jahr 2006 ein Maximalertrag von nur 178 dt TM/ha erreicht. Auch die Sorghumarten variieren im TM-Ertrag erheblich zwischen den einzelnen Versuchsjahren. Im Jahr 2005 konnten 181 dt TM/ha Futterhirse geerntet werden, wohingegen die selbe Sorte in der gleichen Fruchtfolgestellung im Jahr 2006 101 dt TM/ha erzielte.



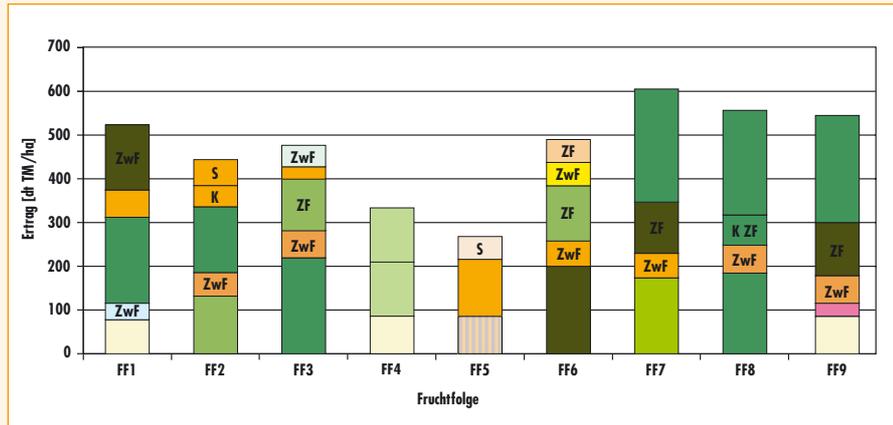


Abb. 3-5: Aufsummierte Trockenmasseerträge der getesteten Fruchtfolgen am Standort Ettlingen 2005 – 2007 (Erstanlage)

Trotz dieser witterungsbedingten Unterschiede wird die Ertrags-Überlegenheit der C4-Arten bei Betrachtung der aufsummierten TM-Erträge getesteter Fruchtfolgen ersichtlich. Vor allem Fruchtfolgen mit einem hohen Anteil von Mais bzw. anderen C4-Arten kombiniert mit einem Zwischenfruchtanbau bzw. einer Hauptfruchtnutzung von Wintergetreide erzielten die höchsten TM-Erträge (vgl. Abb. 3-5, Erstanlage). Vor dem abschließenden Fruchtfolgeglied Winterweizen erreicht beispielsweise die Fruchtfolge 7, die sowohl Silomais als auch Futterhirse und Wintertriticale als Erstfrucht beinhaltet, einen TM-Ertrag von 606 dt TM/ha. Die maisbasierte FF8 erreichte 562 dt TM/ha. Das Luzernegras in Fruchtfolge 4 dagegen realisierte nur 330 dt TM/ha, die getreidebasierte FF5 260 dt TM/ha, was jedoch zum Teil auf den versuchsbedingten Ertragsausfall vom Raps im Jahr 2007 zurückzuführen ist.

Gerade vor dem Hintergrund ausgeprägter witterungsbedingter Unterschiede in den Erträgen der einzelnen Kulturarten bleibt eine weitere Rotation abzuwarten, um eine endgültige Bewertung des Leistungspotenzials verschiedener Fruchtfolgen vornehmen zu können.

Empfehlungen für die Praxis

Auf den warmen Standorten im Rheintal ist der Anbau von Mais zur Biomasseproduktion am vorzüglichsten. Unter optimalen Wachstumsbedingungen (ausreichende Wasserversorgung, hohe Temperaturen) empfiehlt sich aber auch eine Zweikulturnutzung, die mit dem ökologischen Vorteil einer ganzjährigen Bodenbedeckung verbunden ist. Mit dem Anbau von Sudangrashybriden und Futterhirse in Kombination mit Wintergetreide lassen sich hohe Erträge erzielen, so dass sich hier eine Ergänzung bzw. Alternative zu Mais zeigt.





3.2.5 Werlte (Niedersachsen): Futterbau-Veredlungs- Region

Standortbeschreibung

Der in Niedersachsen im Landkreis Emsland angelegte Versuch liegt 32 m über NN und ist geprägt durch humose Sandböden mit einer durchschnittlichen Ackerzahl von 31. Die mittlere Jahresniederschlagssumme beträgt 797 mm und ist in der Regel gut über die Monate verteilt. Die langjährige Jahresdurchschnittstemperatur liegt mit 9,1 °C in einem moderaten Bereich. Anbauswerpunkte liegen im Mais- und Wintergetreideanbau.

Ergebnisse

Im Jahr 2005 erreichte der Mais in den Fruchtfolgen 3, 6 und 7 (vgl. Kap. 2, Tab. 2-1 und Anlage 1) mit Erträgen von 160 bis 190 dt TM/ha die mit Abstand besten Leistungen. Dabei profitierte der Mais

von den für ihn günstigen Witterungsbedingungen. Von den Sommerungen Gerste bzw. Hafer-Sortenmischung konnte lediglich letztere mit 110 dt TM/ha noch ein respektables Ergebnis erzielen. Das schwache Ergebnis der Sudangrashybride in der Fruchtfolge 2 ist zum Teil auf nicht optimale Aussaatbedingungen mit anschließendem hohen Unkrautdruck zurückzuführen. Die Nachnutzung in den Fruchtfolgen 1 und 4 durch Ölettrich bzw. dem Untersaatenaufwuchs Klee gras lieferte mit 30 bzw. knapp 50 dt TM/ha (bei 2 Ernten) geringe bis mittlere Erträge.

Die Fröhsommertrockenheit im Jahr 2006 beeinträchtigte die Ertragsbildung des Mais, vor allem bei früher Aussaat. Gegenüber dem Vorjahr lagen die Maiserträge um 40 dt TM/ha niedriger. Die Vornutzung durch Grünschnittroggen lieferte in den Fruchtfolgen 2 und 6 (anschl. Mais) bzw. 3 (anschl. Sudangrashybride)

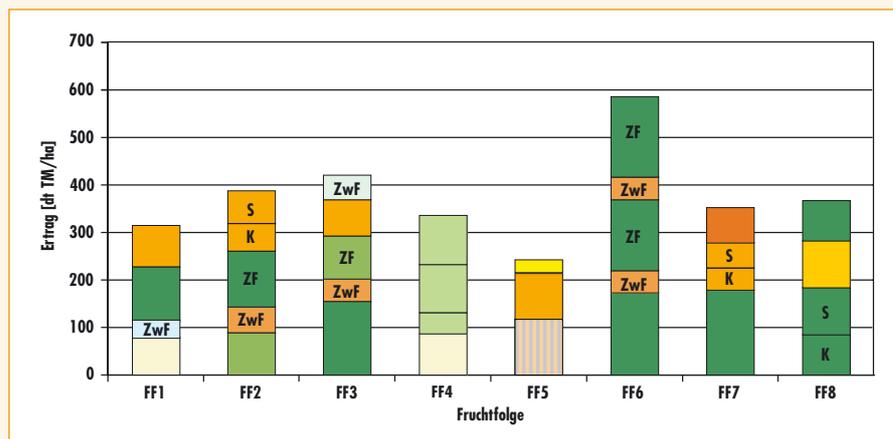


Abb. 3-6: Aufsummierte Trockenmasseerträge der getesteten Fruchtfolgen am Standort Werlte 2005 – 2007 (Erstanlage)



mit ca. 40 dt TM/ha bei Ernte am 12. Mai mittlere Erträge. Die bessere Trockenheitstoleranz der Sudangrashybride gegenüber dem Mais war zwar optisch erkennbar, spiegelte sich mit knapp 90 dt TM/ha in den Ertragsleistungen aber nicht wider. Die Getreide-GPS-Varianten in den Fruchtfolgen 5 und 8 lieferten mit gut 100 dt TM/ha mäßige Leistungen, da sich nach dem Winter keine üppigen Bestände etablieren konnten. Die Kleeegrasaufwüchse konnten 2006 trotz Frühsommertrockenheit bei insgesamt 3 Schnitten mit knapp 110 dt TM/ha relativ gute Erträge erzielen.

Die Fruchtfolgen mit Wintergetreideanbau – unabhängig ob GPS- oder Körnernutzung – wurden 2007 durch die Apriltrokenheit stark beeinträchtigt, da diese zum Teil zur Reduzierung der Bestockungstriebe führte. Klare Ertragsvorteile besaß auch in diesem Jahr die Fruchtfolge 6, die mit 54 dt TM/ha Grünschnittroggen und 183 dt TM/ha Silomais einen Gesamtertrag von 237 dt TM/ha erreichte. Alle Getreide-GPS-Varianten lagen mit ca. 80 dt TM/ha auf einem niedrigen Ertragsniveau. In der Fruchtfolge 1 erreichte die Sommer-Zwischenfrucht Futterhirse einen nicht erntewürdigen Aufwuchs, während das einjährige Weidelgras in der Fruchtfolge 3 mit 53 dt TM/ha noch einen zufriedenstellenden Ertrag erbrachte.

Empfehlungen für die Praxis

Auch für Niedersachsen kann festgehalten werden, dass ein hoher Maisanteil in einer vorwiegend auf die Biomasseproduktion ausgerichteten Fruchtfolge mit

Abstand die höchsten Erträge liefert. Sicherlich ist zu berücksichtigen, dass die Getreideganzpflanzennutzung – besonders im Jahr 2007 – nicht das typische Ertragsniveau erreichte. Auch mit der Nutzung unterschiedlicher Hirsearten als Alternative zum Mais konnten noch keine ertraglichen Vorteile aufgezeigt werden. Der Einsatz von Grünschnittroggen als Vornutzung vor dem Hauptfruchtanbau kann bei günstiger Wasserversorgung zu Mehrerträgen führen, birgt auf den leichten Böden mit geringer Wasserspeicherkapazität jedoch recht hohe Risiken.



3.2.6 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. Bei der vorherrschenden Bodenart handelt es sich um stark tonigen Schluff (U_t). Damit soll der Standort repräsentativ für die E-Weizen-Standorte der ostdeutschen Lössböden sein.



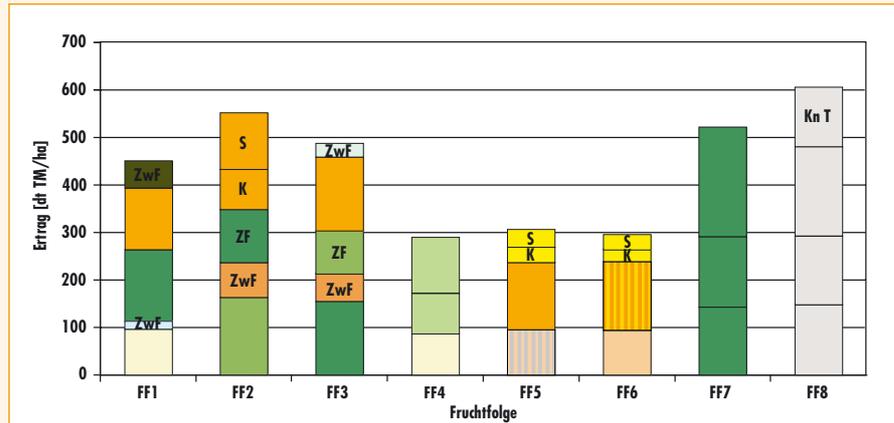


Abb. 3-7: Aufsummierte Trockenmasseerträge der getesteten Fruchtfolgen am Standort Dornburg (Thüringen) 2005 – 2007 (Erstanlage)

Ergebnisse

Die Betrachtung der Gesamterträge der Fruchtfolgen verdeutlicht, dass mit der Fruchtfolge 7 (dreijähriger Anbau von Mais, 522 dt TM/ha) und der Fruchtfolge 3, einer Mais-Sudangras-betonten Fruchtfolge kombiniert mit Zwischenfrüchten (488 dt TM/ha), am Standort hohe Erträge erzielt werden konnten (Abb. 3-7). Auch mit dem dreijährigen Topinamburanbau (FF8 – 606 dt TM/ha) und der Fruchtfolge 2 Sudangras-WZF Futterroggen-Mais-Wintertriticale (Korn) (552 dt TM/ha) sind hohe Erträge realisiert worden. Jedoch ist mit Blick auf die Energieerzeugung bei Topinambur auch auf die substratspezifischen Probleme bei der Biogaserzeugung (geringe Methanausbeuten von Topinamburkraut, vgl. Kap. 5.1; Bodenanhäufungen an Knollen) zu verweisen. Des Weiteren fließen bei der Fruchtfolge 2 etwa 120 dt TM/ha Triticalestroh mit in die Betrachtung ein. Ob-

wohl mit Wintertriticale und Getreide-Artenmischung (WT, WW, WG), als Ganzpflanze geerntet, hohe Einzelerträge von 132 dt TM/ha bzw. 139 dt TM/ha möglich sind, schneiden die Fruchtfolgen, die keine C4-Pflanzen enthalten (FF4 – 291 dt TM/ha, FF5 304 dt TM/ha, FF 6 – 293 dt TM/ha), schlechter ab.

Erkennbare Abweichungen zeigten sich in der Anlage 2006. Mit allen Fruchtarten außer Sommergerste in Fruchtfolge 4 (132 dt TM/ha gegenüber 79 dt TM/ha) wurden geringere Erträge als 2005 erzielt. Im „Maisjahr 2007“ konnten hingegen eine Reihe von Kulturen gegenüber 2006 deutliche Mehrerträge erzielen. Neben Mais (als HF in FF1 und als ZF in FF2) und Sudangrashybride (als ZF in FF3) kam die bessere Wasserversorgung in den Sommermonaten auch dem Luzernegras und dem Topinambur zugute, während die Wintergetreidearten nicht profitieren





konnten. Die Sudangrashybride in Hauptfruchtstellung lieferte gleiche Erträge wie Mais in Zweitfruchtstellung.

Bei Luzernegras sanken die Erträge über die einzelnen Schnittzeitpunkte deutlich ab. Im Nutzungsjahr wurden drei bis vier Schnitte durchgeführt. Im Mittel wurde ein Trockenmasseertrag von 164 dt/ha erreicht, welcher mit Mais vergleichbar ist. In den Fruchtfolgen wurden des Weiteren Sommerzwischenfrüchte wie Ölrettich, Zuckerhirse und einjähriges Weidelgras integriert. Der Ölrettich erreichte mit 21 dt/ha einen recht geringen Ertrag und aufgrund des niedrigen Trockenmassegehaltes war eine Silierung schwierig. Somit ist es sinnvoll, den Ölrettich auf der Fläche zu belassen und zur Humusreproduktion heranzuziehen. Mit der Sommerzwischenfrucht Zuckerhirse wurde im Mittel ein Ertrag von 61 dt/ha erzielt, sie ist somit mit der Winterzwischenfrucht Futterroggen vergleichbar. Darüber hinaus erfolgte der Anbau von einjährigem Weidelgras. Am Bestand wurden zwei Schnitte durchgeführt, jedoch fielen die Erträge mit 18 dt TM/ha Schnitt gering aus.

Empfehlung für die Praxis

Die Ertragsbewertung verdeutlicht, dass mit Mais in Hauptfruchtstellung gefolgt von Topinambur die höchsten Trockenmasseerträge am Standort realisiert werden können. Keine Ertragsunterschiede sind zwischen Mais in Zweitfruchtstellung und Sudangrashybride in Hauptfruchtstellung zu erkennen. Die angebauten Wintergetreidearten (Triticale und Artenmischung WW/WT/WG) sind für

den Standort besser geeignet als die Sommergetreidearten. Ölrettich sollte aufgrund seiner geringen Ertragsleistung auf der Fläche belassen und zur Humusreproduktion herangezogen werden.

Mit vielfältigen Fruchtfolgen, die sowohl C3- als auch C4-Pflanzen in Haupt- und Zweitfruchtstellung beinhalten, können mit mehrjährigem Maisanbau vergleichbare Erträge erreicht werden. Bei den Getreidearten überzeugten am Standort Dornburg vor allem Wintertriticale als Ganzpflanzengetreide und Grünschnittroggen als Zwischenfrucht.

3.2.7 Gülzow (Mecklenburg-Vorpommern): Raps-Weizen-Region

Standortbeschreibung

Der Standort Gülzow liegt 10 m über NN und ist durch eine mittlere Niederschlagssumme von 559 mm und durch eine Jahresdurchschnittstemperatur von 8,5 °C gekennzeichnet. Die Bodenart ist stark lehmiger Sand mit einer durchschnittlichen Ackerzahl von 51 im Bereich des Fruchtfolgeversuchs.

Ergebnisse

Wie auch an anderen Standorten ist Mais die ertragsreichste Fruchtart, gefolgt von Wintertriticale als Ganzpflanze. Als alternative Fruchtart zum Mais wurde eine Sudangrashybride (*sorghum bicolor* x *sudanense*) in die Fruchtfolgen integriert. Trotz stark variierender Witterungsbedingungen in den einzelnen Jahren verzeichnete diese (Sorte Susu) einen relativ





stabilen Ertrag. Dem Mais ebenbürtige Erträge konnten jedoch nicht erreicht werden, was sich unter anderem mit dessen Züchtungsvorteil erklären lässt. Eine weitere Ursache ist der relativ niedrige Trockenmassegehalt, welcher bei der Sorte Susu in allen drei Anbaujahren nicht über 25 % lag. Hier wären früh reifende Sorten vorteilhaft.

Bei den Getreideganzpflanzen ist die Wintertriticale zu favorisieren. Sommergerste war mit durchschnittlich 90 dt TM/ha die ertragsschwächste Getreideart. Die Artenmischung Sommerroggen/Sommertriticale kann als gute Alternative zur Auflockerung der Fruchtfolge angebaut werden. Die Mischung hatte den zweithöchsten Ertrag der Getreideganzpflanzen. Vorteilhaft bei dieser Artenmischung ist, dass unter Versuchsbedingungen auf Halmstabilisator und Fungizide verzichtet werden konnte.

Beim Ackerfutteranbau sind Welsches Weidelgras (Fruchtfolge 7) mit 122 dt TM/ha und Klee gras (Fruchtfolge 4) mit 99 dt TM/ha im zweiten Nutzungsjahr die ertragreichsten Varianten. Dabei muss allerdings auch die sehr gute Wasserversorgung im Jahr 2007 berücksichtigt werden.

Die Betrachtung der Gesamttrockenmasseerträge der Fruchtfolgen der Versuchsanlage 2005 verdeutlicht, dass die Fruchtfolgen mit Mais, Sudangrashybriden und Wintertriticale die ertragsstärksten sind (vgl. Abb. 3-8). Dies wird auch in der Versuchsanlage 2006 bestätigt. Bei den Regionalfruchtfolgen hatte in der Versuchsanlage 2005 die Fruchtfolge 6 mit Mais, Gerstgras und Raps die höchste Ertragssumme. Dem entgegen war bei der Anlage 2006 die Fruchtfolge 7 mit Mais, Grünschnittroggen und Welschem Weidelgras die ertragreichere, was auf die

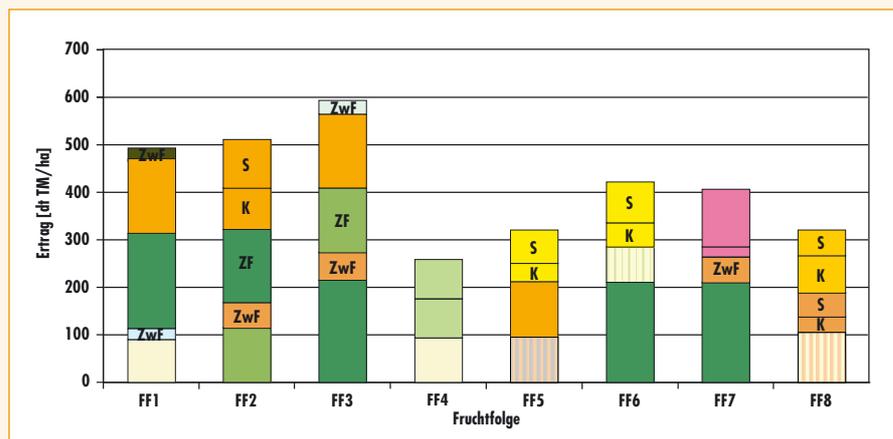


Abb. 3-8: Summe der Trockenmasseerträge der getesteten Fruchtfolgen am Standort Gützow 2005 – 2007 (Erstanlage)



Getreideganzpflanzensilage

günstige Wasserversorgung des Welschen Weidelgrases im Jahre 2007 zurückzuführen ist.

Empfehlungen für die Praxis

Für die Region Mecklenburg-Vorpommern sind Energiefruchtfolgen, die Mais und Sudangrashybride enthalten, die ertragreichsten. Beide C4-Kulturen sind auch als Kombination mit Winterroggen im Zweitkulturanbau empfehlenswert. Der Grünschnittroggen hat als Vorfrucht mit einem guten Ertrag überzeugt. Bei der Zweikulturnutzung muss jedoch auf die für diese Region typische Vorsommertrockenheit geachtet werden. Eine zu späte Aussaat könnte besonders bei Mais zu Auflaufproblemen und Trockenstress führen. Sudangrashybride ist als Zweitfrucht in solchen Fällen die sicherere Alternative. Bei Getreideganzpflanzen sind Wintertriticale und Sommerroggen/Sommertriticale im Gemisch sehr empfehlenswert, auch um eine Auflockerung der Fruchtfolgen und eine nachhaltige Bewirtschaftung (Cross Compliance) zu erreichen. Bedingt durch die ungünstige Niederschlagsverteilung in dieser Region sind Gräsermischungen nur eingeschränkt geeignet.

lenswert, auch um eine Auflockerung der Fruchtfolgen und eine nachhaltige Bewirtschaftung (Cross Compliance) zu erreichen. Bedingt durch die ungünstige Niederschlagsverteilung in dieser Region sind Gräsermischungen nur eingeschränkt geeignet.

3.3 Standortübergreifende Betrachtung

3.3.1 Fruchtfolgeerträge und Nährstoffentzug

Abbildung 3-9 zeigt die Gesamterträge der Fruchtfolgen 1 bis 5 über die einzelnen Standorte im Versuchszeitraum 2005 bis 2007. Nach dem dritten Versuchsjahr wird anhand der gewonnenen Daten ersichtlich, dass mit der Fruchtfolge 3¹ (490 dt TM/ha) ein deutlich höherer Gesamttrockenmasseertrag erzielt wurde als mit den Fruchtfolgen 1² (414 dt TM/ha), 2³ (418 dt TM/ha) und 4⁴ (393 dt TM/ha). Keine Unterschiede in der Ertragsentwicklung sind zwischen den Fruchtfolgen 1 und 2 zu erkennen. Dabei ist zu beachten, dass in die Gesamtberechnung der Fruchtfolge 2 das Getreidestroh mit einbezogen wurde, da eine energetische Nutzung des Strohs in BtL-Anlagen bzw. für die Bilanzierung eine Ganzpflanzennutzung in BtL und Biogas möglich wäre. Wird diese Strohmenge nicht mit berücksichtigt, ergibt sich zur Fruchtfolge 1 eine Ertragsdifferenz von 50 dt TM/ha. Deutlich geringere Gesamterträge wurden mit der Fruchtfolge 5 erreicht, wobei auch hier das Rapsstroh mit in die Bewertung einfließt.

¹ FF3: Mais/Grünschnittroggen/Sudangras (ZF)/Wintertriticale (GPS)/einj. Weidelgras

² FF1: Sommergerste (GPS)/Ölrettich ZwF/Mais (HF)/Wintertriticale (GPS)/Futterhirse ZwF

³ FF2: Sudangras/Grünschnittroggen/Mais (ZF)/Wintertriticale (Korn)

⁴ FF4: Sommergerste + Untersaat Luzernegras/1 Nutzungsjahr/2 Nutzungsjahr

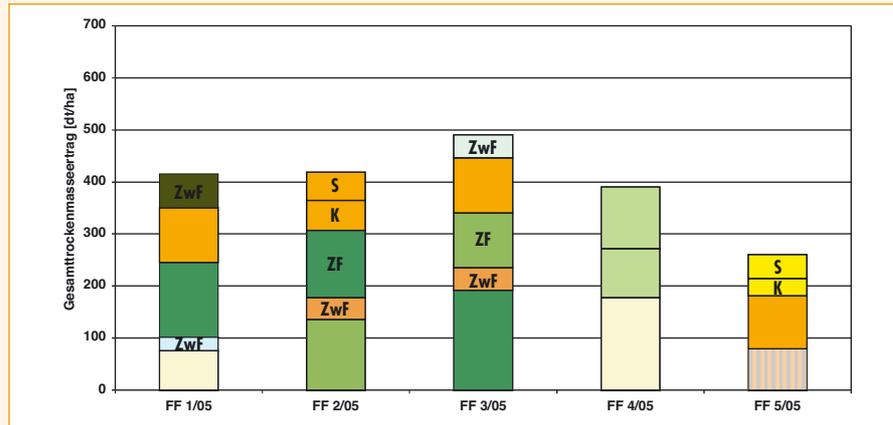


Abb. 3-9: Gesamttrockenmasseerträge der im Fruchtfolgeversuch einheitlich angebauten Fruchtfolgen im Mittel aller Standorte 2005 – 2007 (Erstanlage)

Der Vergleich der **Standorte** hinsichtlich ihrer Ertragsleistung ergab, dass mit der Fruchtfolge 3 vor allem an den Standorten Gülzow und Ascha hohe Erträge von über 570 dt TM/ha erzielt werden konnten. In Dornburg lag der Gesamtertrag bei 488 dt TM/ha und in Ettlingen bei 480 dt TM/ha. Werlte und Trossin befanden sich mit etwa 430 dt TM/ha auf einem ähnlichen Ertragsniveau. Auf dem sandigen und zur Trockenheit neigenden Standort Güterfelde wurden deutlich geringere Erträge erzielt (338 dt TM/ha).

Trotz der mittleren Bodengüte konnten an den Standorten Gülzow und Ascha hohe Erträge mit der Fruchtfolge 3 erzielt werden. Dies lässt sich durch die hohen Niederschläge und Jahresdurchschnittstemperaturen in den Jahren 2006 und 2007 erklären (vgl. Abb. 3-1). Insgesamt betrachtet wurde an allen Standorten mit Mais in der Fruchtfolge der höch-

ste Ertrag erzielt. Sudangrashybriden und Wintertriticale (GPS) hatten auf verschiedenen Standorten ein vergleichbares Ertragsniveau. Dies gilt auch für die Zwischenfrüchte Grünschnittroggen und einjähriges Weidelgras.

Mit der Fruchtfolge 2 wurden in Dornburg, Gülzow, Ascha und Ettlingen im Mittel der Standorte 404 dt TM/ha erzielt. In Werlte, Güterfelde und Trossin liegen die Erträge im Mittel bei 312 dt TM/ha. Der Mais in Zweitfruchtstellung erzielte in dieser Fruchtfolge an den Standorten Gülzow, Ascha und Ettlingen Erträge zwischen 140 und 180 dt TM/ha, wohingegen an sandigen und zur Trockenheit neigenden Standorten Trossin und Güterfelde bzw. in Dornburg (mittlere Niederschläge und besserer Boden) mit Sudangras in Hauptfruchtstellung Erträge zwischen 150 und 176 dt TM/ha erreicht wurden.



Fruchtfolge 1 war in Gülzow und Ettlingen mit Erträgen von 479 bzw. 527 dt TM/ha am erfolgreichsten. Mit Ölrettich als Sommerzwischenfrucht wurden Erträge zwischen 16 bis 34 dt TM/ha erzielt. Wegen des niedrigen Flächenertrages und der eingeschränkten Silierbarkeit aufgrund des geringen Trockenmassegehaltes sollte der Ölrettich vorzugsweise auf der Fläche verbleiben und zur Humusreproduktion genutzt werden. Auch in Fruchtfolge 1 wird deutlich, dass mit der Kombination Mais (HF) und Wintertriticale (GPS) hohe Erträge realisierbar sind. Der darauf folgende Anbau von Futterhirse als Sommerzwischenfrucht war vor allem in Güterfelde erfolgreich (86 dt TM/ha), allerdings mit geringen TM-Gehalten. Dornburg und Trossin lagen mit 55 dt TM/ha deutlich darunter. In Ascha und Gülzow lagen die Erträge bei nur 16 bzw. 20 dt TM/ha. Mit der Getreide-Raps-Fruchtfolge (FF 5) konnten in Abhängigkeit vom Standort unter Einbeziehung des Rapsstrohs Erträge zwischen 175 und 334 dt TM/ha erreicht werden. Auf den insgesamt ertragsschwächeren Standorten Güterfelde, Trossin und Ascha konnte die Fruchtfolge nicht überzeugen.

In der Fruchtfolge 4 erfolgte der Anbau von Sommergerste bzw. Sommerroggen in Kombination mit einer Untersaat. Bereits im Ansaatjahr konnte in Werlte und Ascha neben dem Sommergetreide die Untersaat genutzt werden. Im ersten Nutzungsjahr (2006) war dann eine dreischnittige Nutzung möglich, so dass sich ein aufsummierter Flächenertrag von 230 dt TM/ha realisieren ließ. Bei den übrigen Standorten konnte 2006

eine zweischnittige Nutzung der Untersaat erfolgen, wobei der Gesamtertrag von Fruchtfolge 4 in den Jahren 2005 und 2006 in Ettlingen (213 dt TM/ha) dem Niveau von Werlte und Ascha recht nahe kam. Ertragsschwach traten hier Güterfelde und Trossin auf. Die Gesamterträge von Gülzow und Dornburg lagen bei 163 dt TM/ha. Im 2. Nutzungsjahr war in Ascha, aber auch in Trossin und Dornburg eine deutliche Ertragssteigerung ersichtlich. Insgesamt betrachtet wurden an den Standorten mit hohen Niederschlägen und Temperaturen Gesamterträge zwischen 329 und 386 dt TM/ha erzielt.

Regionalfruchtfolgen (vgl. Anlage 1)

Zur Abrundung des Fruchtfolgeversuches wurden neben den fünf einheitlichen Fruchtfolgen je Standort drei bis vier Regionalfruchtfolgen angebaut, welche direkt auf den Standort abgestimmte Fruchtartenkombinationen enthalten. Im Folgenden soll eine vergleichende Betrachtung der ertragreichsten Regionalfruchtfolgen mit den in den vorausgegangenen Kapiteln beschriebenen fünf Standard-Fruchtfolgen vorgenommen werden (vgl. Abb. 3-10), wobei hier nur der Gesamtertrag gegenüber gestellt wird und keine ökonomische Bewertung zugrunde liegt. In Niedersachsen wurde mit der Fruchtfolge 6⁵ der höchste Ertrag erreicht (585 dt TM/ha), dicht gefolgt von der Standardfruchtfolge 3⁶ (426 dt TM/ha). An den Standorten in Brandenburg und Mecklenburg-Vorpommern zeigten die geprüften Regionalfruchtfolgen keine

⁵ Silomais/Grünschnittroggen/Silomais/Grünschnittroggen/Silomais

⁶ Sommergerste (GPS)/Ölrettich ZwF/Mais (HF)/Wintertriticale (GPS)/Futterhirse ZwF



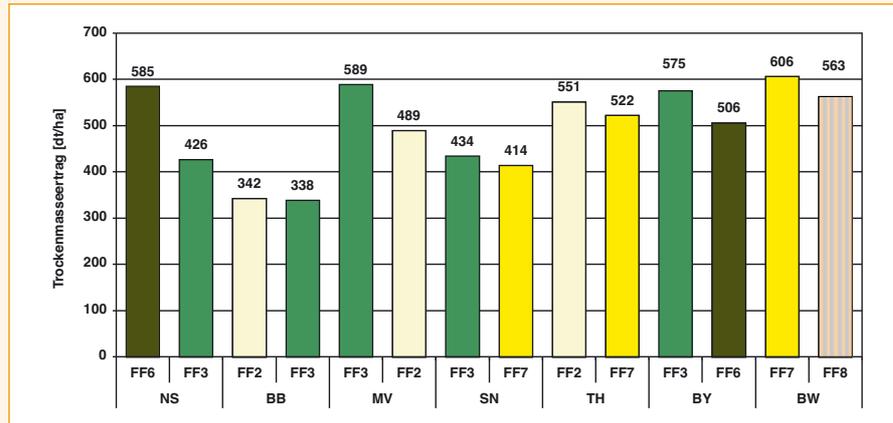


Abb. 3-10: Kumulierte Erträge der jeweils zwei besten Fruchtfolgen an den Versuchsstandorten 2005 – 2007 (Erstanlage)

Vorteile gegenüber den ertragreichsten Standardfruchtfolgen 2 und 3. In Sachsen erzielte die Regionalfruchtfolge 7⁷ (414 dt TM/ha) neben der Standardfruchtfolge 3 (434 dt TM/ha) gute Erträge. Die Fruchtfolgen 2 und 7⁸ sind in Thüringen mit 551 dt TM/ha und 522 dt TM/ha die ertragreichsten, wohin gegen in Bayern die Fruchtfolgen 3 (575 dt TM/ha) und 6⁹ (506 dt TM/ha) und in Baden-Württemberg die Fruchtfolgen 7¹⁰ (606 dt TM/ha) und 8¹¹ (563 dt TM/ha) am besten abschnitten.

Nährstoffentzüge

Durch Pflanzenanalysen lassen sich die je nach Kulturart unterschiedlichen Entzüge der Elemente Stickstoff, Kalium, Calcium, Phosphor und Schwefel aus dem Boden bestimmen (vgl. Abb. 3-11).

Die Arten Klee gras, einjähriges Weidelgras, Luzerne gras und Ölrettich entziehen dem Boden alle aufgeführten

Nährstoffe in hohem Maße. Noch deutlich höhere Entzüge weist der Ölrettich bei den Elementen K, P, S und Mg auf. Die Höhe und das Verhältnis der Nährstoffe im Pflanzenmaterial lassen daher auf eine eher schlechte Eignung als Biogassubstrat schließen.

Topinamburkraut entzieht dem Boden im Vergleich der Kulturarten die größte Menge Calcium und Magnesium. Durch hohe Entzüge dieser beiden Nährstoffe fällt ebenfalls die Futterhirse auf. Mais kann in Bezug auf alle Nährstoffe abgesehen von Schwefel mit den jeweils niedrigsten bzw. zweitniedrigsten Entzügen punkten.

⁷ Mais/Grünschnittroggen/Zuckerhirse/Kartoffel (Knolle)

⁸ Mais/Mais/Mais

⁹ Silomais/WZF Futterroggen/ Silomais/Wickroggen ZwF/Sudangras ZF/Weizen

¹⁰ Sonnenblume/Wintertriticale ZwF/Zuckerhirse ZF/Mais

¹¹ Mais/Grünschnittroggen/Körnermais ZF/Mais

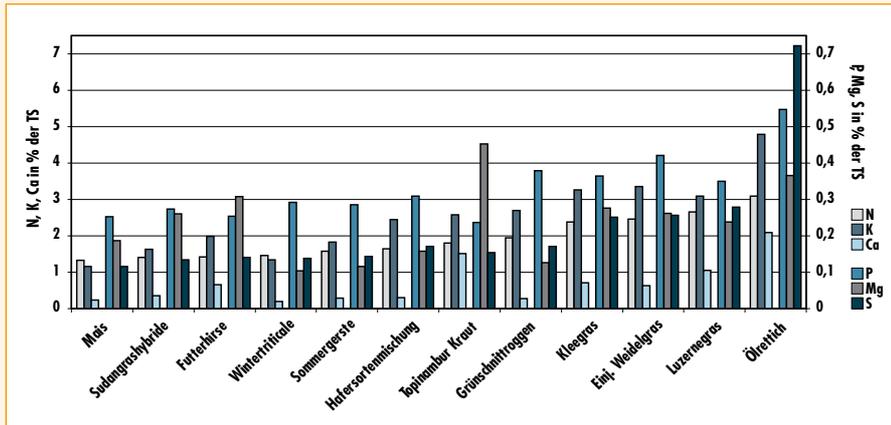


Abb. 3-11: Nährstoffgehalte der Pflanzen in % der Trockenmasse verschiedener im Fruchtfolgeversuch angebaute Kulturarten

3.3.2 Artenvergleich

Ganzpflanzengetreide

Zentrale Elemente in den Fruchtfolgen sind verschiedene als Ganzpflanzen genutzte Getreidearten wie Sommergerste, Sommerroggen, Hafersortenmischung und Wintertriticale (vgl. Abb. 3-12). Anhand der Ertragsdaten wird ersichtlich, dass Wintertriticale an allen Standorten gegenüber den Sommerungen ertragreicher ist.

Enttäuschend war der Ertrag von Hafer, welcher ursprünglich als „Gesundungsfrucht“ in den getreidebetonten Fruchtfolgen eingesetzt werden sollte. Insgesamt betrachtet konnten an den Standorten Gülzow, Dornburg und Ettligen repräsentative Ganzpflanzenerträge erreicht werden. Vergleichsweise niedrige Erträge wurden in Güterfelde und Trossin ermittelt.

Mais und Sorghumarten in Hauptfruchtstellung

Es betätigt sich insgesamt, dass Mais als ertragsstärkste Kulturart für die Biogasproduktion zu charakterisieren ist. Vor allem im Versuchsjahr 2007 konnten sehr gute Erträge erzielt werden. Eine viel diskutierte Alternative zu Mais sind Sorghumarten, von denen im überregionalen



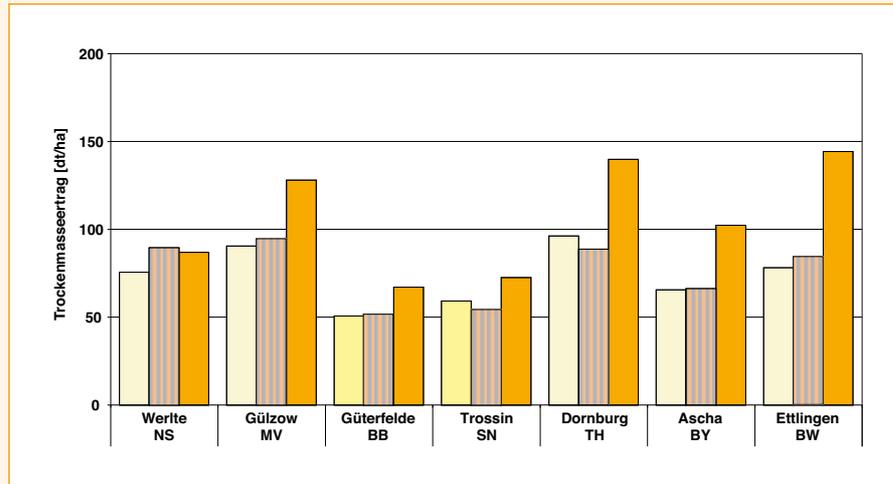


Abb. 3-12: Trockenmasseerträge von Ganzpflanzen an den einzelnen Standorten. (Sommergetreidearten: Mittel aus 2005 und 2006; Wintertriticale: Mittel aus 2006 und 2007).

Versuch eine Sudangrashybride (*Sorghum sudanense x bicolor*) und als Sommerzwischenfrucht Futterhirse (*Sorghum bicolor*) zur Anwendung kamen. Abb. 3-13 zeigt eine Gegenüberstellung der erzielten Erträge von Mais und der Sudangrashybride in Hauptfruchtstellung. Für die Jahre 2005 und 2006, in denen ein direkter Vergleich möglich war, zeigt sich, dass die Sudangrashybride zumindest an den trockeneren Standorten wie Dornburg oder Güterfelde, an denen keine durchgängig hohen Maiserträge zu verzeichnen sind, bereits eine wertvolle Alternative darstellt.

Während aufgrund einer guten züchterischen Bearbeitung viele Kenntnisse über Standortangepasste Maissorten vorliegen, ist bislang weitgehend ungeklärt, welche der Sorghumarten unter welchen

Standortbedingungen hohe und stabile Erträge erzielen können. Diesem Problem widmen sich aktuell die Landesanstalten und weitere über das Förderprogramm Nachwachsende Rohstoffe finanzierte Versuche mit Anbauvergleichen auf einer Vielzahl von Standorten.

Kombination von Winterzwischenfrucht Grünschnittroggen und Mais bzw. Sorghumarten als Zweitfrucht

Zur ganzjährigen Bodenbedeckung und Steigerung von Biomasseerträgen bietet sich in Fruchtfolgesystemen die Möglichkeit einer Kombination des Anbaus von Winterzwischenfrüchten mit massereichen Sommerungen an. Im Versuch wurde Grünschnittroggen angebaut, welcher zum Zeitpunkt des Grannenspitzens (BBCH 49) bzw. zu Beginn des Ährenschiebens geerntet und zur Verwertung





angewelkt wurde. Abb. 3-14 zeigt die Erträge, die gegenüber dem reinen Hauptfruchtanbau von Mais auf diese Weise erzielt werden konnten.

Die zweijährigen Ergebnisse verdeutlichen, dass in Zweitfruchtstellung mit Mais höhere Erträge als mit Sudangras erreicht werden können. Die Gegenüber-

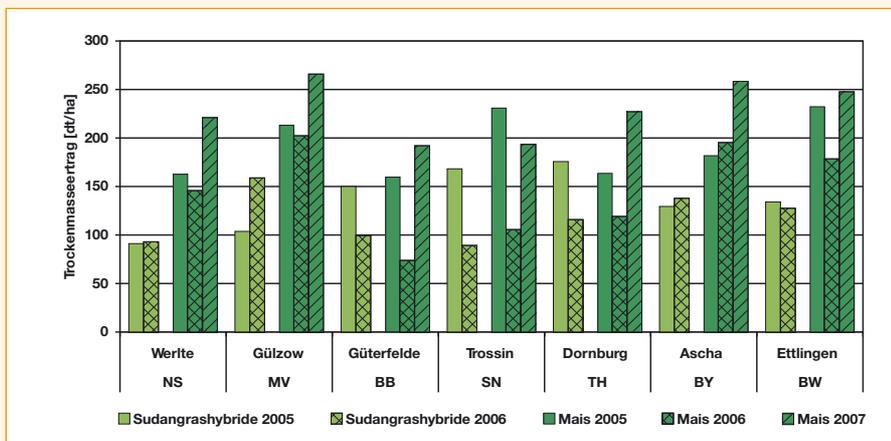


Abb. 3-13: Trockenmasseerträge (dt TM/ha) von Mais und Sudangrashybride (*Sorghum bicolor x sudanense*) in Hauptfruchtstellung an den verschiedenen Standorten

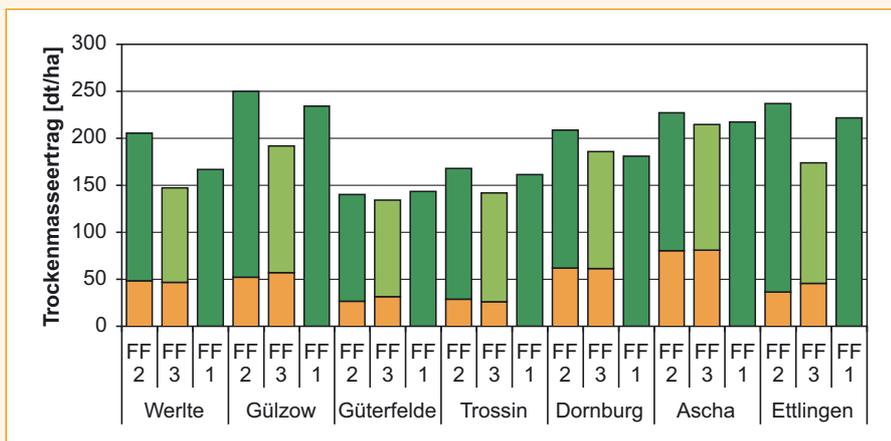


Abb. 3-14: Gegenüberstellung von Trockenmasseerträgen der Kombinationen Grünschnittroggen-Mais, Grünschnittroggen – *Sorghum sudanense x bicolor* (Sorte Susu) und dem Hauptfruchtanbau von Mais als Mittel der Jahre 2006/2007 anhand der Fruchtfolgen 1 (Mais HF), 2 (Grünschnittroggen-Mais ZF) und 3 (Grünschnittroggen-Sudangras ZF)



stellung zeigt die geringsten Differenzen zwischen diesen beiden Varianten in Güterfelde (6 dt TM/ha) und Ascha (12 dt TM/ha). Höhere Unterschiede konnten für Werlte (31 dt TM/ha), Gülzow (58 dt TM/ha) und Ettlingen (63 dt TM/ha) ermittelt werden.

Gegenüber Mais in Hauptfruchtstellung kann die Kombination Zweitfruchtmais mit Grünschnittroggen in Abhängigkeit vom Standort höhere Erträge erzielen. Voraussetzung sind ausreichende Wasserversorgung und Vegetationsdauer.

3.3.3 Mehrjährige Ackerfuttermischungen

Mit dem Anbau mehrjähriger Ackergräser wird im Rahmen des Verbundpro-

jektes 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 weidelgrasreiche Mischungen mit vorwiegend kurzlebigen Arten wie z. B. Welschem Weidelgras ausge-

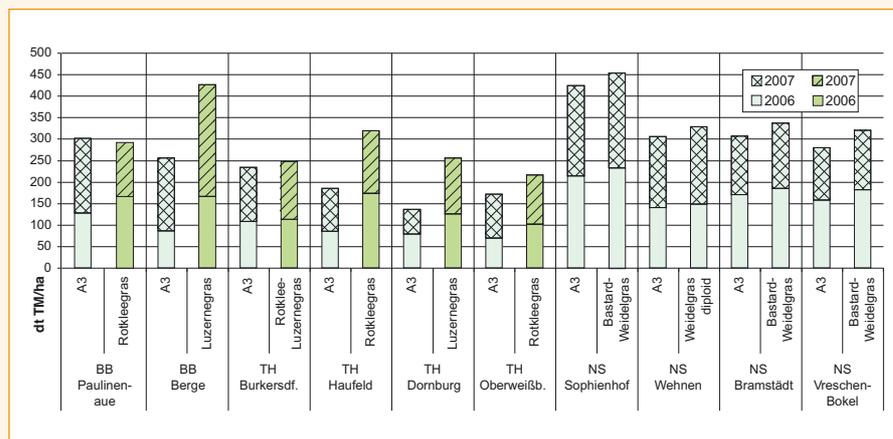


Abb. 3-15: Erträge der Ackerfuttermischungen mit reduzierter Schnitthäufigkeit 2006 und 2007 an Standorten in Brandenburg, Thüringen und Niedersachsen; dargestellt ist die Vergleichsmischung A3 und die jeweils ertragsstärkste Mischung



wählt wurden, dominieren 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. 3-15 zeigt die Erträge der Vergleichsmischung A3 an den verschiedenen 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 (FF 4 in Bayern, Niedersachsen und Baden-Württemberg) erkennbar. Der Anbau ausdauernderer 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 Standor-



ten werden in bestimmten Regionen Grasaufwüchse von Dauergrünlandstandorten zur Biomassenutzung stärkere Bedeutung gewinnen.

3.4 Alternative Anbausysteme

3.4.1 Zweikultur-Nutzungssystem

Die nachhaltige Substitution möglichst hoher Anteile an fossilen Energieträgern durch regenerative setzt einerseits voraus, dass leistungsfähige Sorten unserer Kulturpflanzen angebaut werden. Andererseits müssen die verfügbaren Flächen durch eine Frucht- bzw. Kulturartenfolge mit geringer Brachzeit optimal ausgenutzt werden. Letztlich gilt es, die möglichen Chancen zu einer ökologischen Bereitstellung von qualitativ hochwertiger Biomasse für die energetische Wandlung

zu realisieren. Hierfür kann das **Zweikultur-Nutzungssystem** einen wesentlichen Beitrag leisten, das – in Anlehnung an das Konzept „Grünschnittroggen gefolgt von Silomais“ – durch Verschiebung von Ernte- und Saatzeiten für den Anbau einer breiten Palette von Kulturen unter weitgehendem Verzicht auf den Einsatz von chemischen Pflanzenschutzmitteln entwickelt wurde. Es hat den Anbau von Wintergetreide, -raps, -rübsen, -körnerleguminosen bzw. von Gemengen als Erstkulturen zur Grundlage. Diese werden in der generativen Phase nahe dem Maximum ihres Ertrages zur Silagebereitung geerntet. Unmittelbar darauf folgend werden nach flacher Bodenbearbeitung oder mittels Direktsaat Mais, Hirse, Sudangrashybride, Sonnenblume, Amaranth, Hanf oder Gemenge als Zweitkulturen angebaut. Im Herbst werden diese wiederum zur Silagebereitung und zur anschließenden Nutzung als Biogassubstrat

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

Hauptfrucht-Nutzung	Zweikultur-Nutzung	
	Haupt- und Zwischenfrucht	Zweitkulturen
Senf* – Mais [BBCH 85]	Winterrübsen [ab BBCH 75]	Mais, Sorghum-Hybride, Sonnenblumen, Mais-Sonnenblumen- Gemenge [BBCH 83]
Senf* – Sonnenblume [BBCH 85]	Grünschnittroggen [ab BBCH 75]	Mais, Sorghum-Hybride, Sonnenblumen, Mais-Sonnenblumen- Gemenge [BBCH 83]
Winterroggen Energie [ab BBCH 81] – Senf*	Grünschnittroggen Wintererbsen-Gemenge [ab BBCH 75]	Mais, Sorghum-Hybride, Sonnenblumen, Mais-Sonnenblumen- Gemenge [BBCH 83]
Winterroggen Brotgetreide [BBCH 92] – Senf*	Grünschnittroggen Wintergersten-Gemenge [ab BBCH 75]	Sudangrashybride, Amaranth, Hanf, Mais-Sonnenblumen-Amaranth- Gemenge [BBCH 83]





geerntet. Ein weiterer möglicher Nutzungspfad ist die thermische Wandlung (Verbrennung, Vergasung, BTL). Hier kann der angestrebte niedrige Mineralstoffgehalt im Brennstoff im Rahmen dieses Anbau- und Bereitstellungskonzeptes durch eine mechanische Entwässerung der Silagen erreicht werden.

In dreijährigen Versuchen an sieben Standorten im Bundesgebiet wird das Zweikultur-Nutzungssystem eingehend geprüft, um die Vorzüge und Grenzen des Konzeptes erkennen zu können. Dieses System wird mit der üblicherweise praktizierten **Hauptfrucht-Nutzung** z. B. von Mais, Sonnenblumen und Winterroggen zur Silagebereitung bzw. von Roggen zur Nutzung als Brotgetreide verbunden mit dem Anbau von Zwischenfrüchten verglichen (vgl. Tab. 3-2). Nach zwei der drei Versuchsjahre, die beide Witterungsextreme beinhalteten, kann die



Einschätzung getroffen werden, dass an allen Versuchsstandorten mit ihren sehr unterschiedlichen Boden- und Klimabedingungen die Zweikultur-Nutzung erfolgreich praktiziert werden kann. Obwohl sich Mais in der Hauptfrucht-Nutzung nach Senf durch hohe Jahreserträge auszeichnete, konnten durch eine Zweikultur-Nutzung mit Mais als Zweitfrucht nach Getreide als Erstkultur noch höhere Erträge erzielt werden (vgl. Abb. 3-16).

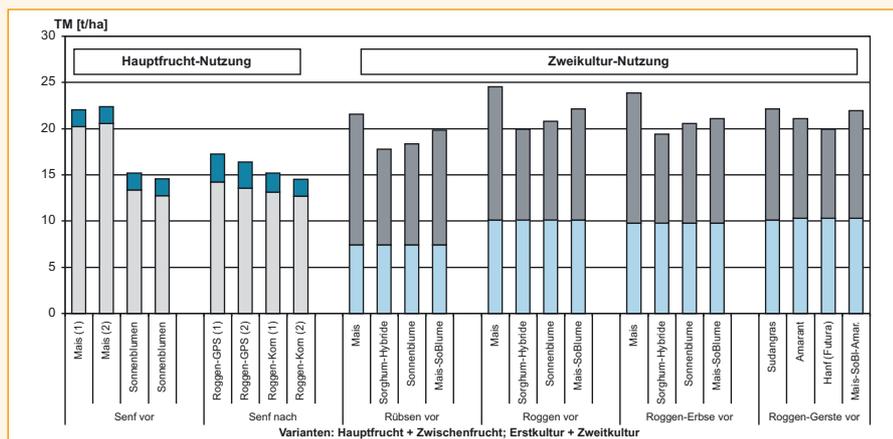


Abb. 3-16: Vergleich der Jahreserträge der Versuchsvarianten im Mittel des 1. (2005/06) und 2. Versuchsjahres (2006/07) und im Mittel der sieben Versuchsstandorte



Deutlicher wird die Überlegenheit der Zweikultur-Nutzung, wenn, wie aus ökologischer Sicht angestrebt, eine Vielfalt der nutzbaren Pflanzenarten in eine Fruchtfolge eingebunden wird. Besonders positiv zu bewerten ist die Zweikultur-Nutzung mit Sonnenblumen bzw. dem Gemenge aus Mais und Sonnenblume als Zweitkultur, ebenso der Anbau von Gemengen als Erstkulturen. Auch die Sorghumarten, die üblicherweise je nach Standort nicht vor Mitte/Ende Mai gesät werden können, tragen als Zweitkulturen zu hohen Jahreserträgen bei. Allgemein negativ zu bewerten ist aber der TM-Gehalt der geernteten Zweitkulturen und der Sonnenblumen in der Hauptfrucht-Nutzung von deutlich unter 30 %, was im Rahmen der Züchtung zur Optimierung von Ernte und Konservierung noch zu verbessern ist.

Entsprechend der positiven Bewertung der Zweikultur-Nutzung durch die erzielten Jahreserträge ist sie auch aus

ökonomischer Sicht der Hauptfrucht-Nutzung in vielen Fällen überlegen und zudem eine ökologische Bereicherung, insbesondere wenn eine breite Palette an Kulturpflanzen angebaut wird.¹²

3.4.2 Mischkulturanbau

Wesentliche Zielsetzung des Mischfruchtanbaus ist es, höhere und stabilere Erträge zu erreichen als durch Reinsaaten, vor allem bei niedrigem Intensitätsniveau und auf weniger ertragreichen Standorten. Positive Effekte werden mit dem unterschiedlichen Anpassungsvermögen der einzelnen Komponenten der Mischung an die jeweiligen Umweltbedingungen und der eingegrenzten Ausbreitung von Schaderregern begründet. Außerdem werden mit den Gemengen

¹² Neben der ökonomischen Bewertung des Zweikultur-Nutzungssystems (vgl. Kap. 7) wurden im Rahmen des Verbundvorhabens auch die Möglichkeiten der Bewässerung getestet (vgl. Kap. 4.1)



aus Getreide, Leguminosen und Ölpflanzen höhere Methangehalte durch qualitativ optimierte Substrateigenschaften angestrebt. Innerhalb des Verbundprojektes stehen im Satellitenprojekt „Mischfruchtanbau zur energetischen Nutzung auf sandigen Böden“ an der Landesforschungsanstalt für Landwirtschaft und Fischerei Mecklenburg-Vorpommern (LFA) und dem Technologie- und Förderzentrum (TFZ) in Bayern folgende Aufgaben im Vordergrund: (1) Prüfung von Futterpflanzen auf ihre Eignung für den Mischanbau, (2) Ermittlung und Vergleich der Leistung von Futterpflanzen in Misch- und in Reinsaat sowie (3) Prüfung „verloren gegangener“ Feldfrüchte mit hoher Biomasseleistung, die für Sandböden besonders geeignet sind.

Der Anbau erfolgte als gemischte Saat ohne spezielle Anordnung und generell ohne den Einsatz von Herbiziden. Saat-

stärken und Stickstoffmengen wurden modular festgelegt.

Standortbeschreibungen

Für den Standort Gülzow beträgt das langjährige Mittel der jährlichen Niederschlagssumme 559 mm, die mittlere Lufttemperatur liegt bei 8,5 °C. Die Versuchsstandorte haben sandiges Bodensubstrat mit der Ackerzahl 20 – 25. Die Standorte des TFZ liegen im Vorgebirge (460 m über NN) und im trockenen Donautal (330 m über NN) mit den durchschnittlichen Ackerzahlen 47 (lehmgiger Sand) und 45 (sandiger Lehm). Die langjährigen Mittel der jährlichen Niederschläge betragen 807 mm bzw. 658 mm, die mittlere Lufttemperatur 7,5 °C bzw. 8,3 °C.

Ergebnisse

Der an der LFA als Vergleichsvariante getestete Mais lieferte auch auf sandigen Böden bei einem für diese Kultur un-

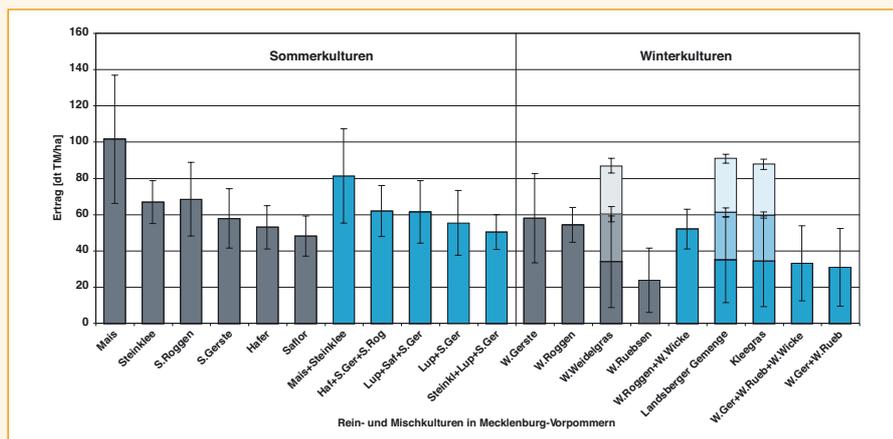


Abb 3-17: Mittlere Trockenmasseerträge und Standardabweichung (2006/2007) von Rein- und Mischsaaten in Gülzow (LFA)



günstigem Wasserangebot die mit Abstand höchsten Biomasseerträge (vgl. Abb. 3-17). Mais mit Steinkleeuntersaat sowie die Reinsaaten von Sommerroggen und Steinklee bildeten höhere Erträge als das Gemenge aus Hafer, Sommergerste und Sommerroggen. Der geringe Ertragsvorteil des Gemenges Blaue Lupine, Saflor und Sommergerste war gegenüber den Mischungspartnern in Reinsaat nicht gesichert.

Bei den geprüften Winterkulturen wurden mit der zur Milch-/Teigreife geernteten Wintergerste die höchsten Erträge erzielt. Allerdings bestand kein signifikanter Unterschied zu den Erträgen der bereits zum Ährenschieben geschnittenen Varianten Grünschnittroggen und Wickroggen. Die dargestellten Erträge des Welschen Weidelgrases, des Klee-grases und des Landsberger Gemenges wurden über ein mehrschnittiges Nutzungsregime erreicht, mit dem bekanntlich höhere Aufwändungen verbunden sind (vgl. dazu Kap. 7).

Mit dem Gemenge Winterrübsen+ Wintergerste+Winterwicke wurden sig-

nifikant höhere Biomasseerträge als mit dem Prüfglied Winterrübsen in Reinsaat erreicht, allerdings auf einem insgesamt zu niedrigen Niveau.

Auf den etwas besseren Standorten des TFZ lag das Ertragsniveau deutlich höher als in den Versuchen der LFA. Welsches Weidelgras und Landsberger Gemenge lieferten mit jeweils 4 Schnitten hohe Erträge um 180 dt TM/ha (vgl. Abb. 3-18). Darauf folgten Winterroggen, Wickroggen und Wintergerste, die alle zur Teigreife geerntet wurden. Die anderen Rein- und Mischkulturen blieben deutlich hinter diesen Erträgen zurück. Bei Winterrübsen, und in geringerem Maße auch bei Winterraps, wurden hohe Kornverluste schon vor der GPS-Ernte beobachtet. Auch durch den lang anhaltend hohen Wassergehalt und die hohen Schwefelgehalte erschienen die geprüften Kruziferen als weniger geeignetes Biogassubstrat. Steinklee erbrachte im Mittel der bayerischen Standorte einen etwa gleich hohen Ertrag wie an der LFA, erwies sich jedoch als besser am trockeneren Versuchsstandort im Donautal. Mit Ausnahme der weniger ertragreichen

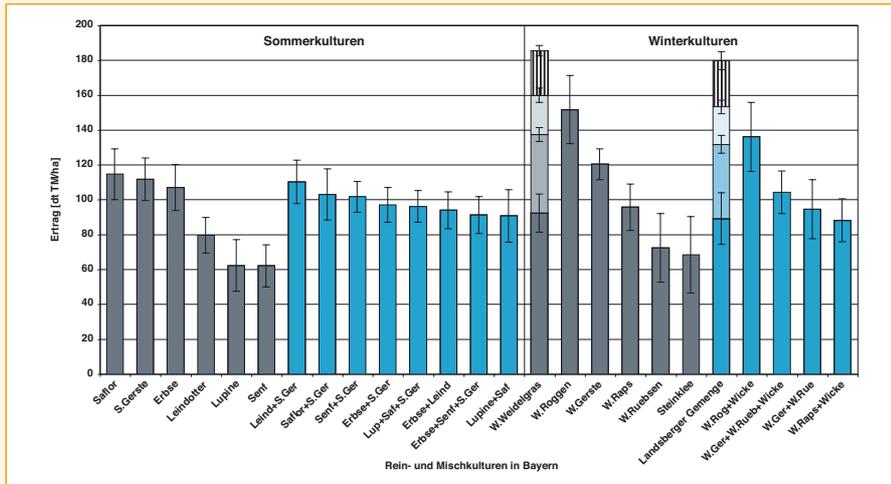


Abb. 3-18: Mittlere Trockenmasseerträge und Standardabweichung (2006/2007) von Rein- und Mischsaaten in Ascha und Aholting (TFZ)

Reinkulturen Leindotter, Blaue Lupine und Senf lagen die Erträge der Sommerungen auf einem Niveau, wobei Safflor die ertragreichste Kultur war. Auch zwischen den Gemengen waren die Ertragsunterschiede nur gering. Den höchsten Ertrag erbrachten die Mischung Leindotter und Sommergerste. Insgesamt waren die erzielten Erträge der getesteten Sommerkulturen unbefriedigend, da in dieser Fruchtfolgestellung alternativ ertragreichere Kulturen wie Silomais, Sorghum oder Sonnenblumen angebaut werden könnten.

Empfehlungen für die Praxis

An keinem der Versuchsstandorte waren im Prüfungszeitraum die Mischkulturen den Reinsaaten ertraglich überlegen, die erwarteten Vorteile des Gemengeanbaus wurden nicht wirksam. Der Mischanbau

zur Erzeugung von Biomasse dürfte nur in standortbedingt benachteiligten Regionen und in Betrieben des ökologischen Landbaus von Bedeutung sein.



4 Intensität und Bewirtschaftungsstrategien

4.1 Faktoroptimierung durch Bewässerung

Hohe und stabile Biomasseerträge sind eine wesentliche Voraussetzung für die Wirtschaftlichkeit von Biogasanlagen. Auf Trockenstandorten und in niederschlagsarmen Jahren kann daher eine Bewässerung von zentraler Bedeutung sein. Zur Bewässerung und zum Wasserbedarf von neuen Sortentypen (z. B. massereicher Energiemais), speziellen Anbausystemen für Energiepflanzen (Zweikultur-Nutzungssystem, Mischfruchtanbau) sowie neuen Rohstoffpflanzen (Futterhirse, Sudangrashybride, Topinambur u. a.) liegen bislang kaum Erfahrungswerte vor. Deshalb wurden an den drei Standorten



Braunschweig (Niedersachsen), Forchheim (Baden-Württemberg) und Münchenberg (Brandenburg) Versuche zu folgenden Fragestellungen durchgeführt:

1. Wasserbedarf von Energiemais mit unterschiedlicher Reife
2. Einfluss der Bewässerung auf Ertrag und Qualität beim Mischfruchtanbau
3. Ertragswirksamkeit der Bewässerung im Hauptfruchtanbau und Zweikultur-Nutzungssystem
4. Bewässerungswürdigkeit verschiedener Energiepflanzen

Mit Ausnahme von Versuch 2 wurden zwei Bewässerungsregime praktiziert. Bei intensiver Bewässerung wurde die nutzbare Feldkapazität (nFK) während der gesamten Vegetationsperiode über 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 dem langjährigen Mittelwert, das Jahr 2006 war ungewöhnlich trocken und das Jahr 2007 ausgesprochen feucht.

Wasserbedarf von Energiemais mit unterschiedlicher Reife

Es ist davon auszugehen, dass künftige Energiemaissorten mehr vegetative Masse aufweisen und spätreifer sein werden



Tab. 4-1: Mittelwerte für TM-Gehalt und TM-Ertrag von drei Maissorten mit stark unterschiedlichen Reifezahlen bei zwei Wasserregimen in den Jahren 2005 bis 2007 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).

als konventioneller Silomais. Bei den züchterisch angestrebten Erträgen von 250 – 300 dt TM/ha wird das Bodenwasser künftig zusätzlich beansprucht. Es stellt sich auch die Frage, ob Energiemais aufgrund der größeren Blattfläche einen höheren spezifischen Wasserbedarf hat. In den Jahren 2005 bis 2007 wurden drei Maissorten mit stark unterschiedlichen 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 mit 139 bis 234 dt TM/ha bei extensiver Bewässerung wesentlich größer als bei intensiver Bewässerung mit 224 bis 253 dt TM/ha. Eine ökonomische Analyse dieses Versuchs ergab, dass im Trockenjahr 2006 durch den Einsatz der Bewässerung der Gewinn 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. Wegen der hohen Niederschläge in 2007 lohnte sich die Bewässerung bei keiner der untersuchten Sorten. Trotz der stark unterschiedlichen Transpirationsflächen hatten die im Trockenjahr 2006 nach der Wasserhaushaltsgleichung geschätzten Evapotranspirationskoeffizienten für die mittelfrühe Sorte Flavi und die späte Sorte Mikado mit 196 bzw. 198 Liter Wasser pro kg Trockenmasse eine vergleichbare Größenordnung.

Einfluss der Bewässerung auf Ertrag und Qualität beim Mischfruchtanbau

Beim gleichzeitigen Anbau von zwei oder mehr Kulturen treten zwangsläufig Konkurrenzeffekte auf. Deshalb stellt sich beim Mischfruchtanbau im Hinblick auf die Bereitstellung einer möglichst gleichbleibenden Rohstoffqualität die Frage, ob und gegebenenfalls wie sich ein unter-



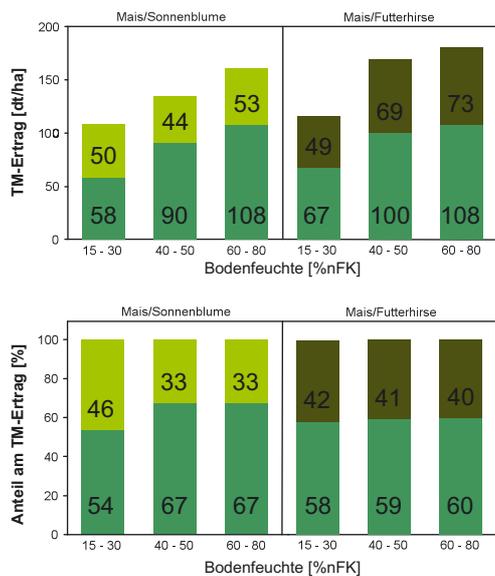


Abb. 4-1: TM-Ertrag sowie relative Anteile der Mischungspartner am TM-Ertrag beim Mischfruchtanbau Mais/Sonnenblume und Mais/Futterhirse im Folientunnel bei drei Wasserregimen im Mittel der Jahre 2006 und 2007 in Braunschweig

schiedliches Wasserangebot auf die Ertragsanteile der Mischungspartner und mithin auf die Qualität der Gärsubstratmischung auswirkt. Erwartungsgemäß erhöhten sich die TM-Erträge der Mais/Sonnenblumen- und Mais/Futterhirsensmischung mit zunehmender Bodenfeuchte (Abb. 4-1). Trotz der stark unterschiedlichen Bodenfeuchte hatten Sonnenblume und Futterhirse relativ konstante Ertragsanteile. Lediglich in der

Mais/Sonnenblumen-Mischung hatte die Sonnenblume in der Variante 15 – 30 % nFK einen mit 46 % ungewöhnlich hohen Anteil am TM-Ertrag. Der Grund ist, 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. Die unterschiedliche Wasserversorgung hatte geringfügige Veränderungen der Nährstoffgehalte im Erntegut der Mischungspartner zur Folge. Beispielsweise führte eine bessere Wasserversorgung bei allen Fruchtarten tendenziell zu einer Abnahme der Rohfettgehalte und einem Anstieg der Rohfasergehalte. Die Verschiebungen in den Nährstoffgehalten hatten allerdings nur geringfügige Veränderungen bei den Methanausbeuten zur Folge.

Ertragswirksamkeit der Bewässerung im Hauptfruchtanbau und Zweikultur-Nutzungssystem

Beim Zweikultur-Nutzungssystem werden innerhalb eines Jahres sowohl eine Winterung als auch eine Sommerung geerntet (vgl. Kap. 3.4.1). Im Vergleich zum Hauptfruchtanbau mit nur einer Biomassernte 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 häufig nur durch künstliche Bewässerung gewährleistet werden kann.



Tabelle 4-2 zeigt die erforderlichen Zusatzmengen an Wasser, die für das jeweilige Bewässerungsregime erforderlich waren. Unter den Zweitkulturen lieferte der Mais in beiden Versuchsjahren die höchsten TM-Erträge, gefolgt von Futterhirse und Sonnenblume (vgl. Abb. 4-2). Im Trockenjahr 2006 war die Futterhirse 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 %). Die TM-Erträge beim Zweikultur-Nutzungssystem lagen in Braunschweig um durchschnittlich 59 dt/ha (44 %) und in Müncheberg um durchschnittlich

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

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

23 dt/ha (19 %) über denen des Hauptfruchtanbaus. Allerdings waren 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 waren die bewässerungs-

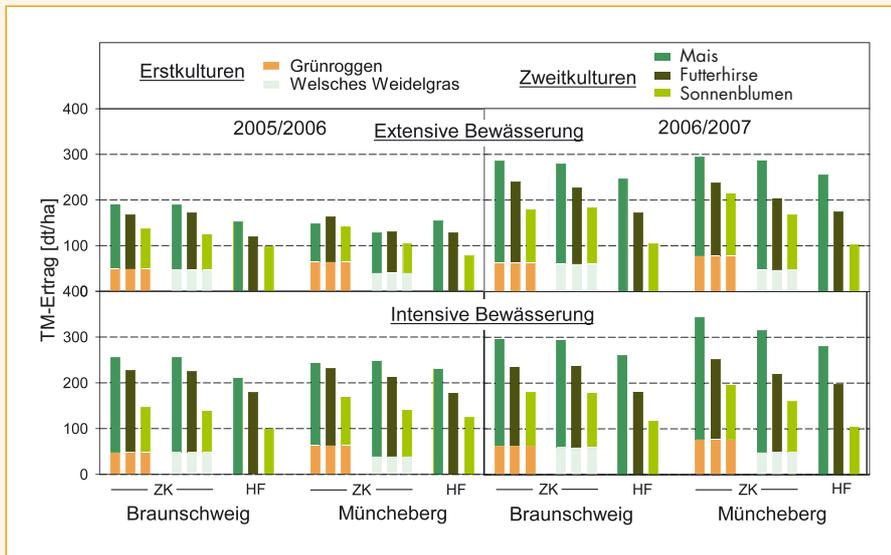


Abb. 4-2: TM-Ertrag bei Zweikulturnutzung (ZK) und Hauptfruchtanbau (HF) in Abhängigkeit vom Bewässerungsregime in der Vegetationsperiode 2005/2006 und 2006/2007 in Braunschweig und Müncheberg



bedingten Ertragssteigerungen deutlich niedriger. 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 Zweikulturnutzung betrug durchschnittlich 54 dt/ha (37 %) in Braunschweig und 56 dt/ha (39 %) in Müncheberg.

Bewässerungswürdigkeit verschiedener Energiepflanzen

In den Jahren 2005 – 2007 wurden am Standort Forchheim (Rheingraben) verschiedene Energiepflanzen anhand zweier Bewässerungsregime (intensiv/extensiv) auf ihre Bewässerungswürdigkeit getestet. Die intensive Beregnung hatte bei den untersuchten Kulturen Ertragssteigerungen von durchschnittlich 35 dt TM/ha (+28 %) zur Folge. Die höchsten beregnungsbedingten Ertragssteigerungen waren bei Topinambur (+43 %) und Sonnenblume (+40 %) zu verzeichnen. Diese Ertragszuwächse müssen aller-

dings vor dem Hintergrund eines vergleichsweise geringen Ertragsniveaus (78 bis 144 dt TM/ha) dieser beiden Kulturen gesehen werden. Die geringsten Ertragszunahmen durch Bewässerung gab es bei Futterhirse und Sudangrashybriden. Die beiden späten Maissorten Doge und Mikado waren allen anderen Kulturen (mit Ausnahme der Futterrübe) unter beiden Wasserregimen überlegen. Allerdings ist die Verwendung von Futterrüben zur Biogaserzeugung wegen des hohen Schmutzeintrages in den Fermenter problematisch.

Fazit

Die Abhängigkeit des wirtschaftlichen Erfolges einer Energiemaissbewässerung von den spezifischen Witterungsbedingungen wird anhand der Ergebnisse der verschiedenen Jahre deutlich. Während sich in Trockenjahren wie 2006 hohe Gewinnsteigerungen erzielen lassen, lohnt sich eine Bewässerung in niederschlagreichen Jahren wie 2007 nicht. Beim



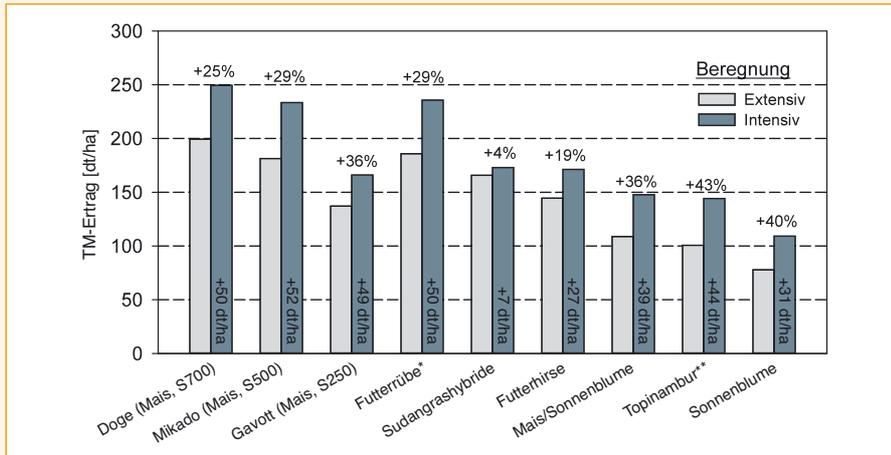


Abb. 4-3: TM-Ertrag verschiedener Fruchtarten und Sorten bei extensiver und intensiver Beregnung im Mittel von drei Düngungsstufen in den Jahren 2005 bis 2007 in Forchheim * Rübe und Blatt; ** Nur Kraut

Mischfruchtanbau von Mais/Sonnenblume und Mais/Futterhirse hat ein stark unterschiedliches Wasserangebot nur geringfügige Veränderungen bei den Methanausbeuten der Substratgemische zur Folge. Das Zweikultur-Nutzungssystem wird auf Trockenstandorten ohne Zusatzbewässerung dem Hauptfruchtanbau vermutlich ökonomisch unterlegen sein, weil die mit dem Anbau von zwei Kulturen verbundenen Mehrkosten nicht durch entsprechend höhere Biomasserträge kompensiert werden. Aufgrund der am Standort Forchheim durchgeführten Versuche ergibt sich für die Bewässerungswürdigkeit der untersuchten Energiepflanzenarten folgende Reihenfolge: Topinambur und Sonnenblume > Futterrübe und Mais > Futterhirse > Sudangrashybride. Als Folge des Klimawandels wird von Experten erwartet, dass sich das

Wetter in Deutschland in Richtung trocken-heiße Sommer und feucht-warme Winter verändert. Wenn diese Prognose stimmt, wird die Beregnung ein zunehmend wichtigeres Instrument für die Ertragsicherung.

4.2 Faktorminimierung

4.2.1 Reduktion von Pflanzenschutzmitteln und Düngung

Zielsetzung

Spezielle Merkmale des Energiepflanzenanbau, wie vergleichsweise frühe Erntetermine, geringe Erntereste auf der Fläche, niedrige Anforderungen an Schmachhaftigkeit sowie eine Pflanzenarchitektur, die strohreichtere Typen erlaubt, lassen die Vermutung zu, dass extensivere Pro-



duktionsverfahren möglich sind. Dies wird unterstützt durch die Annahme, dass auch die Beikrautflora einen Beitrag zur Methanproduktion leistet und die frühe Beerntung hochwachsende Unkrautarten an der Samenproduktion hindert. Die N-Düngung im Ganzpflanzengetreide hat möglichst früh und am Entzug orientiert zu erfolgen. Bei einer Minimierung könnten mittel- bis langfristig eine Abnahme des pflanzenverfügbaren Stickstoffs im Boden und eine Steigerung des Unkrautsamenpotenzials folgen.

Methode

Der Minimierungsversuch wurde am Standort Ascha in den Grundversuch integriert (vgl. Kap. 3.2.1). Die Fruchtfolgen 3, 6 und 8 werden dreifach angebaut und entsprechend den folgenden drei Intensitätsstufen gepflegt: (A) ortsüblich optimal, (B) -30 kg N/ha je Kultur und (C) -30 kg N/ha je Kultur sowie Verzicht

auf Pflanzenschutzmittel. Marktfrüchte sind von der Minimierung ausgenommen. An ihnen können mögliche Folgewirkungen aufgezeigt werden.

Ergebnisse

Nach bisher 3 bzw. 2 Anbaujahren (Anlage 2006, nicht gezeigt) zeichnet sich in den getesteten Fruchtfolgen hauptsächlich die verminderte Düngung ab, die in der Summe 120 bis 150 kg N/ha beträgt. Aufgrund der geringen Ertragseinbußen von durchschnittlich 8,4 dt/ha und Fruchtart bei reduzierter Stickstoffdüngung erhöht sich jedoch die Stickstoffeffizienz. Im Mittel werden um ca. 17 kg höhere Trockenmasseerträge je kg Düngestickstoff erzielt. Der Verzicht auf Pflanzenschutzmittel, wobei die Herbizide besonders ausschlaggebend sind, hat bisher nur in Mais zu gravierenden Ertragsverlusten geführt (vgl. Abb. 4-4, Fruchtfolge 6, 2. Fruchtfolgeglied). Die ersten Fruchtfolgeglieder sind von der Minimierung unbeeinflusst, da hier im Rahmen der Versuchsanlage eine zweimalige Bodenbearbeitung der Parzellen erfolgte. Negative Folgewirkungen wie eine Erhöhung des Unkrautdrucks wurden selbst nach stark verunkrautetem Mais nicht beobachtet. In dicht stehenden Kulturen wie GPS-Getreide, Sudangrashybride sowie dem Gemenge Wickroggen wurde in den Versuchen bei günstigen Wachstumsbedingungen der Bestandesschluss und somit eine ausreichende Unkrautunterdrückung rasch genug erreicht.

Fazit und Empfehlungen

Die Einsparung von mineralischen Stickstoffdüngern und Pflanzenschutzmitteln



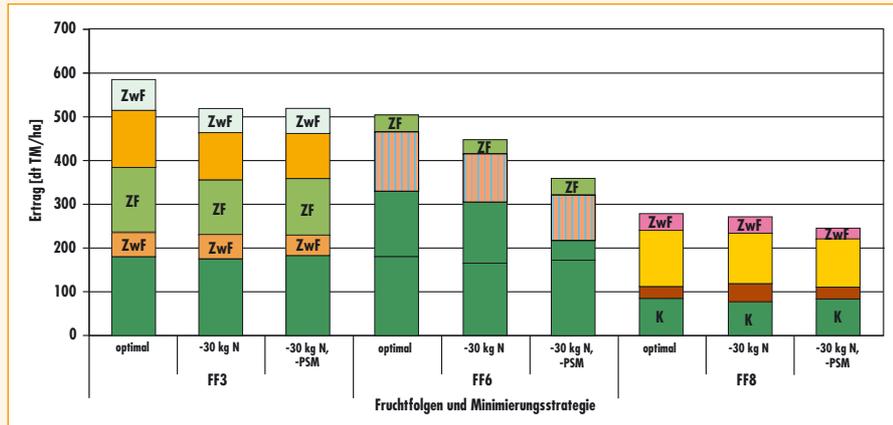


Abb. 4-4: Auswirkung der Minimierungsstrategien an den Fruchtfolgen 3, 6 und 8 (2005 – 2007, Erstanlage); dargestellt sind aufsummierte Trockenmasseerträge in dt TM/ha

ist nicht nur im Hinblick auf steigende Faktorkosten sinnvoll. Stickstoffdünger werden mit hohem Energieeinsatz produziert, ein effizienterer Umgang mit ihnen ist daher auch im Hinblick auf den Klimaschutz ratsam. Deshalb gewinnt die dem Pflanzenbedarf angepasste Ausbringung von Gärresten zunehmend an Bedeutung. Allerdings sind dazu noch umfangreiche Untersuchungen zur Ermittlung des Mineraldüngeräquivalents (MDÄ) notwendig.

Eine Reduzierung des Pflanzenschutzmittelaufwands ist bei Fruchtarten, wie z. B. Getreide zur Ganzpflanzennutzung im Vergleich zur Kornproduktion möglich. Beizeitigem Erntetermin kommen einige Ungräser nicht zur Aussamung, so dass eine Reduzierung des Herbizidaufwands möglich erscheint und ein Beitrag zur Erhöhung der Biodiversität geleistet werden kann. Auch durch die angestreb-

ten vielgliedrigen Fruchtfolgen ist eine Reduzierung des Unkrautdrucks zu erwarten, so dass Pflanzenschutzmittel eingespart werden können.

4.2.2 Minimalbodenbearbeitung im Vergleich zu konventioneller Bodenbearbeitung

Die Bodenbearbeitung hat in der Landwirtschaft verschiedene Aufgaben zu erfüllen. So soll die Bodenstruktur erhalten oder möglichst verbessert werden bzw. die Einarbeitung von Ernte- und Wurzelrückständen erfolgen. Vor dem Hintergrund eines in den vergangenen Jahren verstärkten Trends zu konservierenden Bodenbearbeitungsverfahren wurde am Standort Dornburg in dem 2005 angelegten Fruchtfolgeversuch die Bodenbearbeitung mit einbezogen. Dabei werden konventionelle Bodenbearbeitung





und Minimalbodenbearbeitung vergleicht betrachtet. Bei der konventionellen Bodenbearbeitung kommt der Pflug zum Einsatz, jedoch wurde bei den Zwischenfrüchten und auch Zweitfrüchten aus Zeitgründen zur Bodenbearbeitung nur die Kurzscheibenegge eingesetzt. Bei der Minimalbodenbearbeitung wurde die Kurzscheibenegge eingesetzt und zur Saatbettbereitung die Kreiselegge.

Ergebnisse

Die vergleichende Betrachtung der Trockenmasseerträge lässt erkennen, dass die Fruchtarten unterschiedlich auf die Bodenbearbeitung reagieren. So wird bei

Mais, aber auch Sudangrashybride und Ganzpflanzengetreide ersichtlich, dass bei der Minimalbodenbearbeitungsvariante in Abhängigkeit von Fruchtfolge und Fruchtfolgestellung geringere Erträge erzielt werden (vgl. Abb. 4-5).

Die Ertragsunterschiede bewegen sich in folgenden Bereichen:

- Mais zwischen 2,0 – 21 dt TM/ha
- Sudangrashybride zwischen 4,6 – 12 dt TM/ha
- Wintertriticale (GPS) zwischen 9,7 – 12,9 dt TM/ha
- Getreide-Artenmischung 15,4 dt TM/ha.

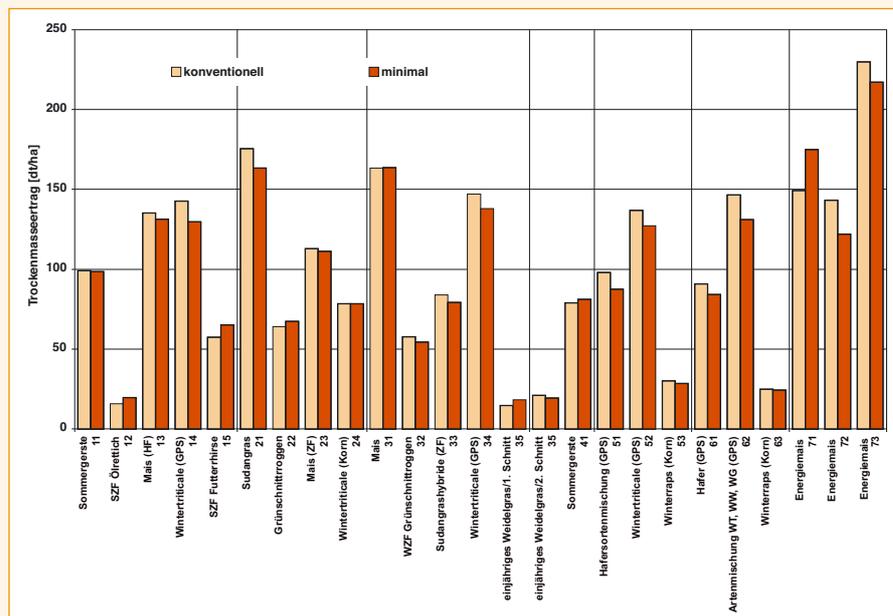


Abb. 4-5: Erträge der einzelnen Fruchtarten in Abhängigkeit von der Fruchtfolge und der Bodenbearbeitung, 2005 bis 2007; die aufgeführten Zahlen bezeichnen die Fruchtfolge und das Fruchtfolglied





Empfehlung

Eine abschließende Aussage zum Einfluss der Bodenbearbeitung auf die Ertragsentwicklung der Energiepflanzenfruchtfolgen ist zum jetzigen Zeitpunkt noch nicht möglich. Der leichte Ertragsrückgang bei der Minimalbodenbearbeitung kann auch als „Umstellungseffekt“ gewertet werden. Erst nach längerer Laufzeit sind abschließende Aussagen möglich.

4.3 Erntezeitpunkte

Mit dem Ziel, maximale Methanerträge zu erreichen, wurde der Fruchtfolgeversuch am Standort Güterfelde (vgl. Kap. 3.2.2) zusätzlich unter dem Aspekt der Optimierung des Erntezeitpunktes betrachtet. In Abhängigkeit von BBCH-Stadien und dem TM-Gehalt der einzelnen Fruchtarten sowie der Witterungssituation wurden zwei unterschiedliche Erntetermine gewählt. Neben dem im Projekt üblichen Standardtermin (Optimaltermin nach Literatur zu Futterwert) erfolgte eine etwa 7–14 Tage vorfristige Ernte. Wichtige Versuchsaspekte sind:

- das Erreichen von TM-Gehalten zur optimalen Silierung von 28–35 % und Optimierung von Methan- ausbeuten (vgl. Kap. 5.2)
- die potenziellen Ertragseinbußen durch frühere Ernten
- die Möglichkeiten einer früheren Saat der Nachfrucht

Die Ertragszuwächse zwischen den beiden Terminen fielen bei den Frucht-



Abb. 4-6: Maisbestand vor der Ernte am Standort Güterfelde; die extremen Witterungsbedingungen 2006 führten zu Blattverlusten von ca. 40 %, zu einer inhomogenen Blüten- und Kolbenbildung (Wassermangel zur Blüte, bzw. später Zwickkolben) und starker Beulenbrandausprägung; die Folge war eine differenzierte Abreife

arten unterschiedlich aus (vgl. Tab. 4-3) und waren beim Luzernegrass mit ca. 40 dt TM/ha am höchsten.

Die Jahreswitterung beeinflusst das Erreichen der für die Silierung optimalen TM-Gehalte wesentlich. So konnte bei beiden Ernteterminen 2007 die für eine Silierung optimale Spanne von 28–35 % besser eingehalten werden als 2006. Vor allem beim Ganzpflanzenge treide zeigten sich zwischen den einzelnen Jahren Unterschiede im Abreifeverhalten. Ein Zusammenhang zwischen BBCH-Stadien und TM-Gehalt kann für Standorte mit leichten Böden daher nicht bestätigt werden.



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

Kulturart	vorfristiger Termin			Standardtermin			Differenz Ertrag	Differenz Tage
	BBCH	Ertrag [dt TM/ha]	TM-Gehalt [%]	BBCH	Ertrag [dt TM/ha]	TM-Gehalt [%]		
Sommerroggen 2005	75	53	37	83	64	39	11	12
Sommerroggen 2006	71	38	41	83	40	48	2	12
Wintertriticale 2006	71	50	36	83	64	56	14	13
Wintertriticale 2007	75	59	27	81	65	28	6	6
Winterroggen 2007	73	62	25	81	68	28	6	6
Mais HF 2005	77	144	25	85	158	35	14	15
Mais HF 2006 (Abb. 4-6)				85	88	25	18	14
Mais HF 2007	83	179	27	85	192	32	13	7
Mais ZF 2006	85	75	28	87	79	35	4	7
Mais ZF 2007	83	145	30	85	148	30	3	5
Sudangrashybride HF (Susu) 2005	69	119	20	83	150	25	31	15
Sudangrashybride HF (Susu) 2006	75	81	28	83	99	33	18	13
Sudangrashybride ZF (Susu) 2006	71	58	26	77	53	26	-5	13
Sudangrashybride ZF (Susu) 2007	75	120	20	81	120	21	0	13
Sudangrashybride ZF (Lussi) 2007	73	131	28	75	153	29	22	13
Futterhirse ZF 2007	53	78	17	59	91	20	13	7
Grünschnittroggen 2006*	49	30	14	59	37	19	7	6
Grünschnittroggen 2007*	49	48	19	59	53	20	5	8
Kleegras 2007	+	56	18	+	82	17	26	9
Luzernegras 2007	+	75	18	+	114	17	39	9
Sonnenblume 2005	61	43	16	77	72	15	29	18
Sonnenblume 2006	71	54	19	83	55	20	1	11
Topinamburkraut 1j 2005	39	61	11	59	104	23	43	42
Topinamburkraut 2j 2006	45	44	40	57	55	32	11	13
Topinamburkraut 3j 2007	39	75	25	39	90	25	15	13

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

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





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 Faktoren wie die Entzerrung von Arbeitszeitspitzen, kleinräumige Witterungsextreme und Handlungsflexibilität bei schwankenden Preisen für Marktfrüchte und Energiesubstrate zu berücksichtigen.

Bei *Mais* ist eine Ernte zur Siloreife anzustreben. Zu beachten sind mögliche Probleme einer inhomogenen Abreife nach Trockenphasen während der weiblichen Blüte. Es empfiehlt sich die Verwendung von Erntezeitprognosen.

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. Orientierungswerte für die Ernte sind TM-Gehalte

von 28 % für die Sudangras-Hybriden und 25 % für die Futterhirsen.

Bei *Ganzpflanzen-Getreide* ist eine zeitigere Ernte in der Milchreife bis zur beginnenden Teigreife anzustreben. Danach ist der Ertragszuwachs nur noch gering, so dass sich durch eine frühe Ernte eine geplante Nachfrucht zeitiger etablieren lässt, durch die ein insgesamt höheres Ertragsniveau erreicht werden kann.

Auf Böden mit unzureichender Wasserversorgung ist bei anhaltender Trockenheit 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 > 50 % führt. Mehrjährige Ergebnisse zu den Untersuchungen zu „Erntezeitpunkten“ unter Berücksichtigung der Sortenwahl und unterschiedlicher Pflanzenschutzstrategien sind für abschließende Aussagen notwendig.



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 eine 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 Abb. 5-1 dargestellt sind.

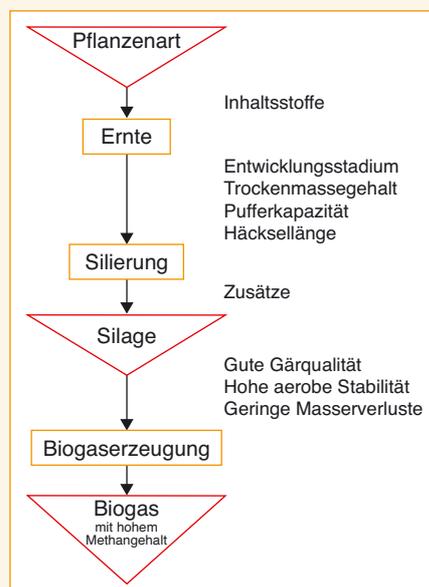


Abb. 5-1: Ausgewählte Einflussgrößen für die Bereitstellung qualitativ hochwertiger Silagen zur Biogaserzeugung

5.1 Einfluss der Pflanzenart auf Siliereignung und Methanausbeute

Aufgrund der stofflichen Zusammensetzung und des Gehaltes an Wasser sind Pflanzenarten unterschiedlich zur Silierung geeignet. Nach der Bestimmung von Trockenmasse- und Zuckergehalt sowie der Pufferkapazität lässt sich diese Eignung als Vergärbarkeitskoeffizient be-



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	46,4	X		
Sommerroggen	83-85	42,7	X		
Hafer	77-83	40,7	X		
Sommergerste	83-85	33,8		X	
Grasmischung		29,3		X	
Mais	83-87	28,9		X	
Topinamburkraut	39-61	26,7			X
Sudangrashybride	77-85	25,5			X
Grünschnittroggen	51-59	24,6			X
Futterhirse	82-85	21,5			X
Luzerne/Gras	41-60	21,1			X
Sonnenblume	83	19,0			X

rechnen. In Tab. 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 Trockenmassegehalt aufweisen, sind als schwer silierbar einzuordnen. Dazu zählen neben Sudangrashybride und Futterhirse auch Grünschnittroggen, Ölrettich und Sonnenblumen. Durch Variation des Erntezeitpunktes können jedoch Trockenmasse und Zuckergehalt beeinflusst werden (vgl. Kap. 5.3). Des Weiteren besteht bei einigen Arten die Möglichkeit des Anwelkens im Schwad.

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 kann eine anaerobe Vergärung des Pflanzenmaterials unter einheitlichen, optimierten Bedingungen analysiert werden, um einen Vergleich der verschiedenen untersuchten Substrate zu ermöglichen (Tab. 5-2).

Künftig können auch mathematische Ansätze genutzt werden, um Methan ausbeuten von pflanzlichen Substraten zu bestimmen bzw. abzuschätzen. Hierzu liegen bereits einige vielversprechende Ansätze vor, deren Anwendungen je-





Tab. 5-2: Pflanzenart und Methanausbeute

*angewelkt

Pflanzenart	Methanausbeute [l _N /kg oTM]		Methanausbeute [l _N /kg FM]		Methangehalt [Vol-%]	
	Mittelwert	Spannweite	Mittelwert	Spannweite	Mittelwert	Spannweite
Grünschnittroggen*	370	354 – 387	78	71 – 86	58	56 – 61
Wintertriticale	335	327 – 346	137	120 – 163	55	54 – 57
Mais	333	312 – 350	94	78 – 122	55	53 – 56
Sommergerste	320	279 – 350	123	102 – 158	55	54 – 56
Futterhirse	316	306 – 326	67	63 – 71	58	57 – 58
Luzerne/Gras	312	272 – 337	55	51 – 57	62	62 – 63
Grasmischung	312	298 – 321	117	105 – 132	57	56 – 60
Sommerroggen	299	291 – 313	133	108 – 162	55	54 – 56
Sudangrashybride	297	267 – 321	73	62 – 85	57	54 – 58
Hafer	293	260 – 307	115	97 – 133	55	54 – 57
Sonnenblume	268	232 – 299	46	35 – 61	55	50 – 63
Topinamburkraut	227	212 – 253	57	32 – 80	54	52 – 56

doch im jetzigen Stadium noch keine zufriedenstellenden Ergebnisse erbringen, was in erster Linie an der noch nicht ausreichenden Parametrisierung für die verschiedenen Pflanzenarten liegt.

Neben Mais erzielten auch Grasmischungen, Wintertriticale, Sommergerste, Futterhirse und Grünschnittroggen Methanausbeuten über 300 l_N/kg oTM. Geringe Methanausbeuten wurden vor al-

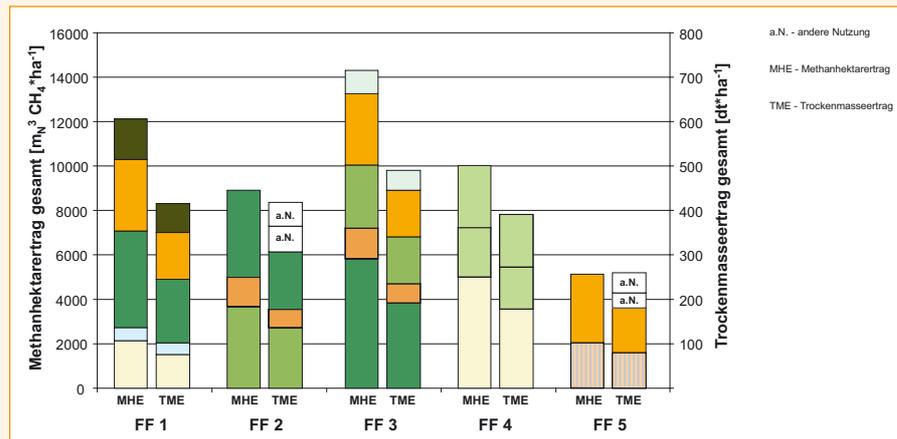


Abb. 5-2: Methanhektarerträge unterschiedlicher Fruchtfolgen im Mittel aller Versuchstandorte. In den Fruchtfolgen vorkommende Marktfrüchte wurden bei der Berechnung der Biogaserträge nicht berücksichtigt (vgl. Tab. 2-1)



lem bei Substraten ermittelt, die einen hohen Anteil an Cellulose und Lignin im Material aufwiesen. Hierzu zählten unter anderem Proben von Topinamburkraut, Hafer, Sonnenblumen und Sudangrashybride. 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 Ertragsdaten¹³ aller Standorte sowie der gemittelten Methanausbeuten der Jahre 2005 und 2006 der jeweiligen Pflanzenarten¹⁴ die Gesamt-Methanhektarerträge berechnet (vgl. Abb. 5-2). Die Fruchtfolge 3 mit Mais und Wintertriticale als Hauptfrüchte, Grünschnittroggen und Weidelgras als Zwischenfrüchte und Sudangrashybride als Zweitfrucht scheint eine vorzügliche Fruchtfolge im Hinblick auf den Methanhektarertrag zu sein. Die geringeren Energieerträge der Fruchtfolgen 2, 4 und 5 basieren u. a. auf dem Anteil an nicht energetisch genutzten Fruchtfolgegliedern.

5.2 Einfluss des Erntezeitpunktes

Der Methanertrag wird nicht nur durch die Pflanzenart, sondern auch durch den Erntezeitpunkt beeinflusst. Dies ist bei der Gestaltung von Anbausystemen (z. B. Zweikulturnutzung), Fruchtfolgen sowie Schnittregimen im Ackerfutter zu be-



rücksichtigen. 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 Trockenmassegehaltes des Siliergutes über ein Optimum hinaus zu einer Abnahme der Siliereignung des Pflanzenmaterials führt, ist ein Kompromiss hinsichtlich Pflanzenertrag (TM-Ertrag) und Pflanzenqualität (Vergärbarkeit) zu suchen.

5.2.1 Erntezeitpunkte in den Fruchtfolgen

Aus einer kombinierten Bewertung der Ergebnisse aus den pflanzenbaulichen Versuchen in Güterfelde (vgl. Kap. 4.3) und denen der Batch-Gärtests lassen sich Aussagen über den Einfluss unterschiedlicher Erntezeitpunkte auf den Methanhektarertrag ableiten.

Am Beispiel der 2006 untersuchten Proben (Abb. 5-3) konnte gezeigt werden, dass sich die Methanausbeuten zu den beiden Ernteterminen nur gering voneinander unterschieden. Bei Wintertriticale und Sommerroggen, die bereits zum 7 – 14 Tage vorfristigen Erntezeitpunkt (1. Erntezeitpunkt) einen TM-Ge-

¹³ ohne vorzeitige Erntetermine

¹⁴ unter Berücksichtigung der Gärverluste bei der Silierung

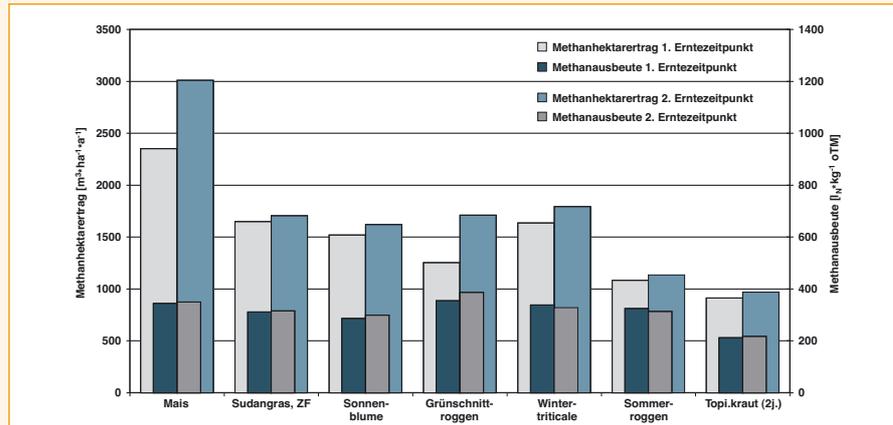


Abb. 5-3: Methanhektarertrag und Methanausbeuten verschiedener Ganzpflanzensilagen zu jeweils zwei Ernteterminen im Jahr 2006 am Standort Güterfelde ermittelt anhand von Batch-Gärtests

halt > 35 % aufwiesen, nahmen die Methanausbeuten zum Standarderntezeitpunkt (2. Erntezeitpunkt) um ca. 4 % ab, während für Grünschnittroggen (23 % TM-Gehalt) eine um 9 % höhere Methanausbeute zum Standarderntezeitpunkt ermittelt wurde.

Witterungsbedingt lagen die TM-Gehalte zur Ernte im Jahr 2006 vergleichsweise niedrig (vgl. Kap. 4.3). Insgesamt konnten in diesem Jahr für die zum Standarderntezeitpunkt geernteten Substrate höhere Methanhektarerträge ermittelt werden, wobei zusätzlich zur Methanbildung die Flächenerträge sowie die Verluste aus der Silierung berücksichtigt wurden.

Sind frühere Ernten z. B. für die termingerechte Saat einer Nachfrucht notwendig, ist mit geringeren Methanhek-

tarerträgen sowie mit einer verminderten Siliereignung 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 sehr späte Ernten und TM-Gehalte von deutlich über 35 % zu vermeiden.

5.2.2 Ackerfutter – Schnittregime

Auch bei den Versuchen zur Ackerfutterproduktion (vgl. Kap. 3.3.3) wurde der Einfluss verschiedener Schnittregime auf die Methanausbeute untersucht. Tab. 5-3 zeigt die beiden untersuchten Schnitt-



Tab. 5-3: Schnittregime der Ackerfuttermischungen

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

regime. 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 den Methanbildungspotenzialen (vgl. Abb. 5-4) deuten darauf hin, dass die 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 Futternutzung, hat sich nicht bestätigt.

5.3 Einfluss von Silierparametern auf die Methanausbeuten

Einfluss der Silagequalität

Bei der Betrachtung der Zusammenhänge von Silierung und Methanausbeute ist insbesondere der Einfluss der Silagequa-

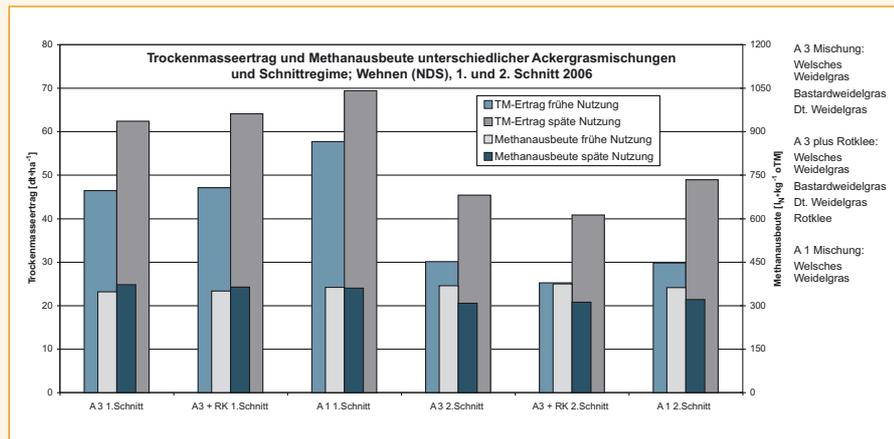


Abb. 5-4: TM-Erträge sowie gemessene Methanausbeuten der Silagen des 1. und 2. Schnittes, Standort Wehnen, 2006



lität auf die Methanbildung von Interesse. Die Bewertung der Silagequalität, also des Konservierungserfolges der Milchsäuregärung, stammt aus der Futtermittelkunde und wird üblicherweise nach dem DLG-Schlüssel 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 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. Fehlgärungen sind demzufolge vor dem Hintergrund erhöhter Masseverluste auch bei der Silierung von Pflanzen für die Biogaserzeugung möglichst zu vermeiden.

Einfluss der Häcksellänge

Für die Biogaserzeugung empfehlen sich zur Gewährleistung einer guten Silier-, Verdicht- und Mischbarkeit kurze Häck-

sellängen für das Substrat. Allerdings können minimale Häcksellängen aufgrund der Häcklerkapazität z. T. zur Leistungsminderung bei der Ernte führen. Weiterhin ist zu beachten, dass eine Reduzierung der Häcksellängen den Dieserverbrauch erhöht. Zugleich 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 Vergräbarkeit und zur Erhöhung der Energieausbeute.

Einfluss von Siliermitteln

Um den Anforderungen hinsichtlich Silagequalitäten, 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 und Sudangrashybride jeweils ein angepasstes chemisches Siliermittel¹⁵ sowie ein biologischer, speziell für die Biogasnutzung konzipierter Zusatz¹⁶ hinsichtlich ihrer Wirkung auf Siliererfolg und Methanausbeute getestet. Bei Mais führte die Siliermittelzugabe zu einer Verbesserung der Gärqualität. Die Silagen

¹⁵ Wirkstoff Natriumbenzoat und Natriumpropionat bei Mais bzw. Natriumnitrit und i-Hexamethylen-tetramin bei Grünschnittroggen und Sudangrashybride

¹⁶ homo- und heterofermentative Milchsäurebakterien

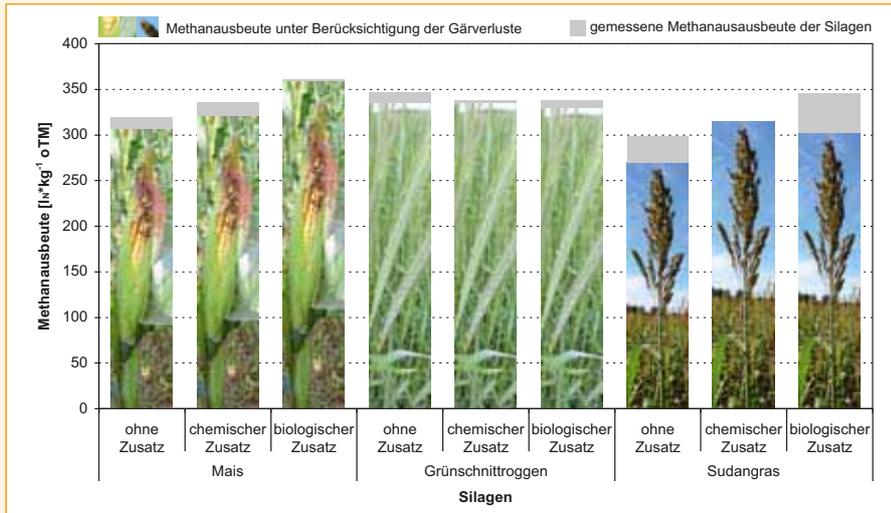


Abb. 5-5: Einfluss von Siliermittelzusätzen auf die Methanausbeute von Mais-, Grünschnittroggen- und Sudangrashybrid-GPS unter Berücksichtigung von Gärverlusten nach 90-tägiger Lagerdauer im Modellsilo

ohne Zusatz wurden als „verbesserungsbedürftig“, die Silagen mit chemischem Zusatz als „sehr gut“ und mit biologischem Zusatz als „gut“ bewertet. Bei Grünschnittroggen unterschieden sich die Silagen mit biologischem Zusatz durch „schlechte“ Gärqualität nach DLG-Schlüssel von den übrigen beiden Varianten mit „sehr guter“ Gärqualität. Diese schlechte Bewertung der Silage war auf einen erhöhten Essigsäuregehalt zurückzuführen, der jedoch durch die Applikation des Präparates beabsichtigt war. Die Bewertung der Gärqualität von Sudangrashybriden erfolgte einheitlich für alle Varianten mit „sehr gut“.

Bei Berücksichtigung der Gärverluste bewirken die Zusätze bei Mais eine Er-

höhung der Methanausbeute, wobei der biologische Zusatz die höchsten Ausbeuten ergab. Im Grünschnittroggen dagegen zeigte der Siliermitteleinsatz insbesondere bei dem biologischen Siliermittel keine Wirkung auf die Methanausbeute. Bei Silage von Sudangrashybriden wirkten sich die Zusätze, unter Berücksichtigung der Gärverluste, positiv auf die Methanbildung aus. Bei Zusatz eines chemischen Siliermittels konnten die höchsten Methanausbeuten ermittelt werden.

Einfluss der Silierdauer

Die Dauer der Lagerung des konservierten Pflanzenmaterials unter anaeroben Bedingungen kann das Methanbildungspotenzial von Silagen beeinflussen. An Si-

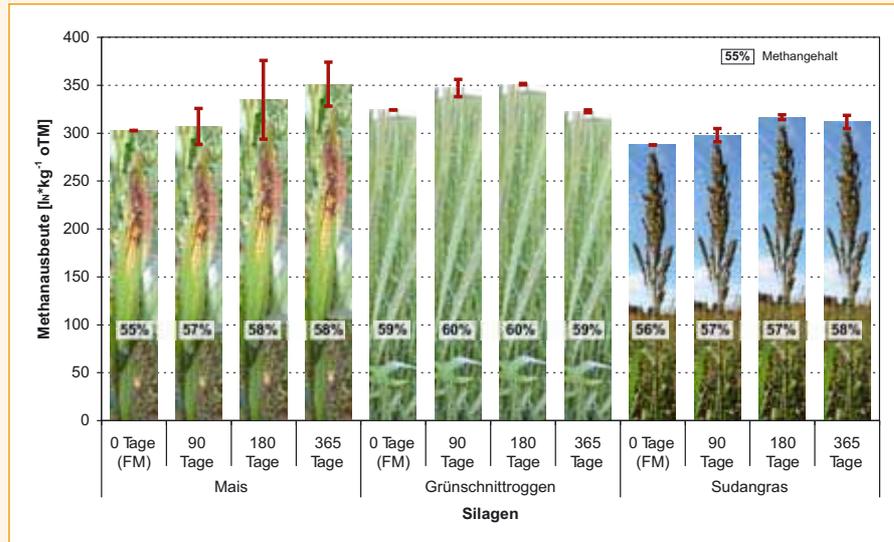


Abb. 5-6: Methanausbeuten von Mais-, Grünschnittroggen- und Sudangrashybrid-GPS nach unterschiedlicher Lagerdauer im Modellsilo

lagen von Mais, Roggen und Sudangrashybride wurden daher variierte Lagerzeiten von 10 bis 365 Tagen untersucht. Wie zu erwarten, nahmen Silierverluste (Massenverluste durch Fermentation) mit zunehmender Lagerdauer leicht zu. Bei Maissilage wurden 7,6 % nach 10 Tagen und 8,3 % FM-Verluste nach 365 Tagen und bei Grünschnittroggen 0,5 % nach 10 Tagen und 0,8 % FM-Verluste nach 365 Tagen gemessen. Bei Sudangrashybriden nahmen die FM-Verluste von 1,1 % nach 10 Tagen auf 1,8 % nach 365 Tagen zu. Alle Silagen wurden mit „sehr guter“ Gärqualität bewertet. Die leicht höheren Verluste bei langer Lagerdauer hatten keine negativen Auswirkungen auf die Methanausbeute (vgl. Abb. 5-6).

Mit zunehmender Lagerdauer wurden sogar tendenziell leicht höhere Methanausbeuten der Silagen bei allen drei Pflanzenarten gemessen. Möglicherweise erhöht sich bei längerer Lagerung durch Aufschlussprozesse die Verfügbarkeit von verwertbaren Bestandteilen des Substrates für die Methanbakterien.

Für die Praxis ergibt sich aus den Ergebnissen die Empfehlung, die Silagen in Erntejahren mit überdurchschnittlichen Erträgen, z. B. im Jahr 2007, über den geplanten Nutzungszeitraum hinaus zu lagern. So kann die Anbaufläche im Folgejahr reduziert werden.





6 Ökologische Bewertung

6.1 Auswirkungen auf den Produktionsstandort

Bei der Bewertung der abiotischen Folgewirkungen des Energiepflanzenanbaus ist zu prüfen, welche systemimmanenten Unterschiede zwischen dem Anbau von Energiepflanzen und Marktfrüchten bestehen. Besonderheiten des Energiepflanzenanbaus sind:

- Ernte der gesamten oberirdischen Pflanze und Maximierung der Nutzung des Kohlenstoffs in Form von Biogas. Hier entsteht die Frage, ob die Reproduktion der organischen Substanz des Bodens gewährleistet ist.
- mit dem Erntegut abgefahrene Nährstoffe gelangen bei der Biogasnutzung mit den Gärresten zurück auf den Acker. Die Verluste an Phosphor, Kalium und Magnesium sind vernachlässigbar, vorausgesetzt dass die Sickersäfte der Silage der Biogasanlage zugeführt werden, während deutliche Verluste bei Schwefel und vor allem bei Stickstoff anfallen.

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 qua-

lifizierte Düngeberatung einen wichtigen Beitrag.

Mit der Analyse von Stickstoff- und Humusbilanzen ist ein Ansatz gegeben, sich diesen ökologischen Auswirkungen zu nähern. Für die Untersuchungen wurden folgenden Annahmen getroffen: Die Gärreste werden zu 100 % auf die Anbaufläche zurück gebracht, die Inhaltsstoffe des Gärrestes werden als Monofermentat der jeweiligen Fruchtart berechnet, der Gärrest wird gasdicht gelagert, die Ausbringung des Gärrestes erfolgt im Rahmen der Fruchtfolge.

Generell haben Gärreste aus der Biogasanlage einen erhöhten Ammoniumanteil im Vergleich zu unvermentierter Gülle aus der Tierhaltung. Dies bedeutet, dass die Stickstoffdüngewirkung besser kalkuliert werden kann. Gleichzeitig ist durch den höheren Ammoniumgehalt der Ausbringungsverlust höher, so dass



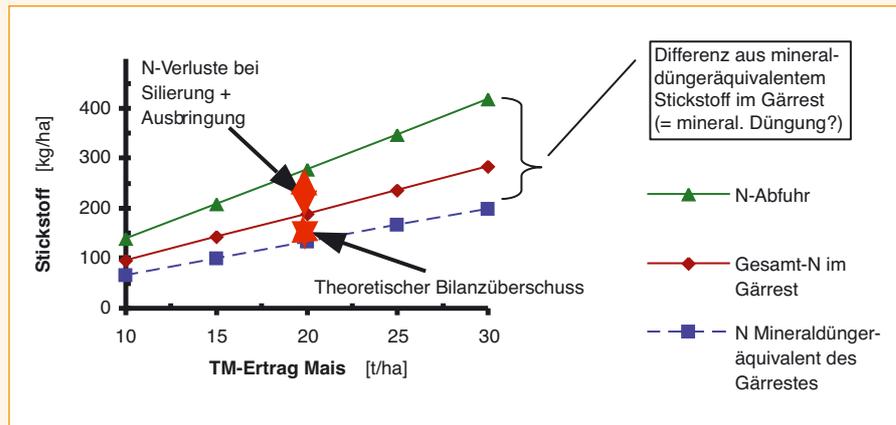


Abb. 6-1: Stickstoffmengen im Erntegut und im Gärrest in Abhängigkeit vom Maisertrag (GPS)

verlustmindernde Ausbringungstechniken, wie Schleppschlauch oder Injektortechnik hier besonders wichtig sind.

Stickstoffbilanz

Abb. 6-1 zeigt am Beispiel von Silomais den Zusammenhang von Stickstoffabfuhr, N-Düngewirkung ausgebrachter Gärreste und der notwendigen Menge an mineralischer Düngung. Die Zusammenhänge sind für alle in Biogasanlagen verwerteten Früchte ähnlich.

Die Stickstoffabfuhr mit dem Erntegut ist in der Grafik grün dargestellt. Bei der Silierung, im Biogasanlagenprozess und bei der Ausbringung des Gärrestes entstehen Verluste. Für den Silierprozess streuen diese zwischen 10 und 25%; unter Annahme guter fachlicher Praxis sind 15% realistisch. Für die Berechnung des bodenwirksamen Stickstoffs sind die

Ausbringungsverluste zu berücksichtigen. Diese liegen im Bereich von 5% bis deutlich oberhalb von 15% des Gesamtstickstoffs im Gärrest. Für die folgenden Berechnungen wird ein mittlerer Ausbringungsverlust von 15% unterstellt. Unter den oben genannten Annahmen sind 72% des im Erntegut enthaltenen Stickstoffs bodenwirksam (braune Linie in der Grafik). Durch Einsatz verlustmindernder Ausbringungsverfahren wie der Injektionsdüngung, können die gasförmigen N-Verluste auf 5% gesenkt werden. Weitere Minderungspotenziale bestehen in der der Ansäuerung der Biogasgülle z. B. durch Einleiten des Silosickersaftes in das Güllebecken.

Der mit dem Gärrest ausgebrachte Stickstoff wird nicht in gleicher Weise wirksam wie Stickstoff aus Mineraldüngern. Bei langfristiger Anwendung ist mit einem Mineraldüngeräquivalent (MDÄ) von 60–70% zu rechnen. Bei einem



MDÄ von 65 % sind rund 50 % des Stickstoffs im Erntegut als mineraldüngeräquivalent zu bewerten. (Grafik: blaue Linie).

Dabei wird deutlich, dass die gasförmigen Stickstoffverluste und der als „nicht mineraldüngeräquivalent“ bewertete Stickstoff eine ökologische Relevanz haben. Die pflanzenbauliche Notwendigkeit, den nicht mineraldüngeräquivalent wirkenden Stickstoff durch Mineraldünger zu ersetzen, führt zu einem Bilanzüberschuss. Diese nicht ausgenutzte Stickstoffmenge ist in den Folgejahren im Rahmen der Fruchtfolge unter Einbezug der Lagerungs- und Ausbringungsverluste zu berücksichtigen. Um das Risiko der Nitratverlagerung zu minimieren sind die Forderungen der Düngeverordnung bezüglich einer Begrenzung der Ausbringung von Gärresten im Herbst unbedingt einzuhalten.

Die Situation kann entspannt werden, indem der langfristige N-Saldo gesenkt und die N-Effizienz gesteigert wird, z. B. durch:

- eine Begrenzung des Stickstoffs aus organischen Düngern auf etwa 75 % der Abfuhr mit dem Erntegut,
- zusätzliche Ausbringung von Gärresten in Marktfrüchten, was in der Praxis häufig vorkommt
- fast ganzjährige Nährstoffaufnahme in Zweikultur-Nutzungssystemen
- durch den Export des Gärrestes (Pelletierung, Dünger, Brennstoff),

Die Stickstoffverlagerung kann zunehmen bei:

- Stickstoffimporte durch Futtermittel, externe Ko-Substrate,
- Konzentration des Gärrestes auf wenige Flächen, abhängig von Fruchtart, Entfernung, Befahrbarkeit, Produktionsziel.

Humusbilanz

Die Fruchtbarkeit eines Produktionsstandortes wird entscheidend durch den Humusgehalt geprägt. Dieser beeinflusst die Nährstoffspeicherung und -umsetzung im Boden, erhöht die Wasserhalte-

Humussaldo	=	Humus- Reproduktionsleistung organischer Materialien	+	anbauspezifische Veränderung der Humusvorräte
Reproduktion der organischen Substanz		zur Reproduktion der org. Substanz, z. B. Stroh (Nebenerntegut), Mist, Gülle, Gärrest		„Humusmehrer“, „Humuszehrer“ Dieser Wert ist fruchtartspezifisch unter Berücksichtigung des Anbauverfahrens, der Erntewurzelrückstände.

Abb. 6-2: Schema zur Berechnung von Humusbilanzen





fähigkeit und trägt zu Bildung und Erhaltung einer günstigen Bodenstruktur bei. Der Humusgehalt eines Bodens wird durch die Bewirtschaftung, d. h. in Abhängigkeit der angebauten Fruchtart, der Bodenbearbeitung, der Verwendung organischer Düngung und vom Stickstoff-Düngungs niveau beeinflusst. Das Prinzip zur Einschätzung des Humusversorgungsgrades mit Hilfe der Humusbilanz zeigt Abb. 6-2.

Die Humusbilanzen werden mit dem Programm REPRO berechnet. Dieses berücksichtigt gegenüber der Humusbilanzierungsmethode nach dem obigen Schema¹⁷ zusätzlich Jahresniederschlag, Ackerzahl, den TM-Ertrag sowie die mineralische Stickstoffdüngung. Problematisch bei der Bilanzierung ist, dass die Umsatzrate des Gärrest-Kohlenstoffs zu

Humus-Kohlenstoff (Humusreproduktions-Koeffizient) derzeit wissenschaftlich noch nicht fundiert geklärt ist. Aktuelle Einschätzungen zur Humifizierung von Gärresten reichen von der Vergleichbarkeit mit Gülle bis zu der mit Stallmist und Kompost. Im Folgenden wird der Mittelwert aus beiden Annahmen verwendet.

Abb. 6-3 zeigt beispielhaft den Humusbedarf von Silomais bei einer Ackerzahl von 40 in Abhängigkeit von Jahresniederschlag und TM-Ertrag. In Abb. 6-4 wird die anbauspezifische Änderung des Humusvorrates bei 650 mm/a in Abhängigkeit von der Ackerzahl und dem Ertrag dargestellt. An den Abbildungen lässt sich erkennen:

- a) Höhere Erträge führen zu einer größeren Humuszehrung. Dies lässt sich auf den höheren Stickstoffbedarf zurückführen, der nur zum Teil aus der mineralischen Düngung bereitgestellt

¹⁷ Entspricht VDLUFA

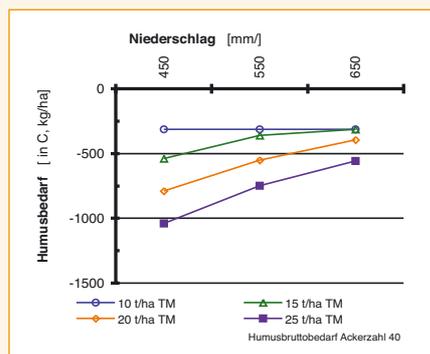


Abb. 6-3: Anbauspezifische Änderung der Humusvorräte von Silomais bei Ackerzahl 40 in Abhängigkeit von Jahresniederschlag und Ertrag

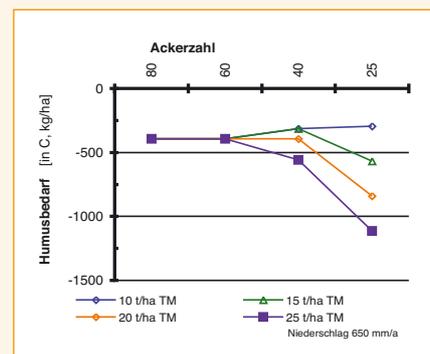


Abb. 6-4: Anbauspezifische Änderung der Humusvorräte von Silomais bei 650 mm/a Niederschlag in Abhängigkeit von Ackerzahl und Ertrag

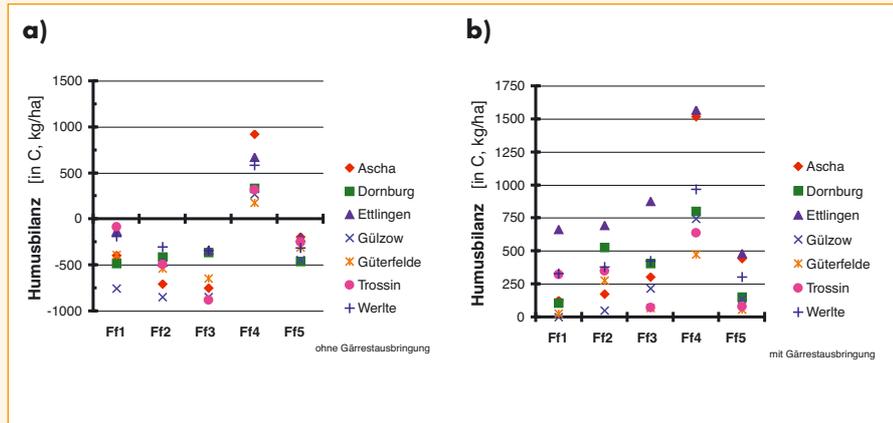


Abb. 6-5: Humusbilanzen der Standardfruchtfolgen des EVA-Projektes aller Standorte; Erntejahre 2005 und 2006, 1. Anlage. Szenarien a) ohne Ausbringung von Gärresten und b) mit Ausbringung der Gärreste auf die Anbaufläche

wird. Der Rest wird durch Mineralisierung aus dem organischen Stickstoffpool des Bodens bereitgestellt.

- b) Bei steigenden Jahresniederschlägen sinkt die humuszehrende Wirkung von Mais. Dieses ist auf die bessere Ausnutzung des mineralisch gedüngten Stickstoffs zurückzuführen. Dadurch verringert sich die Mineralisierung des in der organischen Substanz enthaltenen Stickstoffs. Oberhalb von 650 mm hat die Niederschlagsmenge keinen zusätzlichen Einfluss mehr auf die Humuswirkung.
- c) Mit sinkender Ackerzahl steigt die Humuszehrung von Mais. Dabei wirken sich erst Ackerzahlen unter 50 auf die Humuszehrung aus.

Ergebnisse Fruchtfolgeversuch

Die Grafiken in Abbildung 6-5 zeigen die Humussalden der fünf Standardfruchtfolgen aller Standorte, a) unter der Annahme, dass kein Gärrest zurückgeführt wird, b) unter der Annahme, dass der Gärrest zu 100 % auf die Anbaufläche zurückgeführt wird.

In der Variante ohne Gärrestaubsbringung sind die Humusbilanzen alle negativ, mit Ausnahme der Fruchtfolge 4. Hier wird durch Klee- bzw. Luzernegras eine positive Bilanz erreicht. Diese Fruchtarten können und sollten über Springschläge in stark humuszehrende Fruchtfolgen integriert werden. Der Anbau von Zwischenfrüchten reduziert zwar die humuszehrende Wirkung der angebauten Hauptfruchtarten, reicht jedoch nicht aus, um die stark zehrende Wirkung von



Silomais und Sudangras zu kompensieren. Mit der Ausbringung von Gärresten werden positive Humusbilanzen erzielt, welche sich jedoch durch Ertrag, Ackerzahl und Jahresniederschlag an den jeweiligen Standorten erheblich unterscheiden.

Fazit

Ohne Rückführung von Gärresten in das Fruchtfolgesystem ist eine Reproduktion von organischer Substanz nicht gewährleistet. Deshalb ist eine Rückführung humuswirksamer, im Gärrest enthaltener Substanz ackerbaulich und ökonomisch sinnvoll. Das heißt aber auch, dass umfassende Mengen an organisch gebundenem Stickstoff zurückgeführt werden, dessen Mineralisationszeitpunkt kaum vom Landwirt gesteuert werden kann und bei dem Stickstoffverluste auftreten können. Deshalb sollte der positive Einfluss des Zwischenfruchtanbaus in der Praxis genutzt werden.

6.2 Auswirkungen auf Arten- und Individuenzahl

Die Auswirkungen der unterschiedlichen Anbausysteme für den Energiepflanzenanbau auf die auf den Ackerflächen regelmäßig vorkommenden wildlebenden Pflanzen- und Tiergemeinschaften wurden auf Praxisflächen in drei der beteiligten Bundesländer untersucht. Als Indikatoren für die Habitatqualität der für die energetische Nutzung angebauten Kulturpflanzen wurde das Vorkommen der Beikräuter, Laufkäfer, Spinnen und der Blütenbesucher ermittelt.

Das Vorkommen wildlebender Pflanzen und Tiere auf den Ackerflächen wird neben Standort- und Bodeneigenschaften, Klima und benachbarten Biotopstrukturen vor allem durch die jeweils angebaute Kulturpflanzenart geprägt. Das Vorkommen einzelner Arten wird u. a. durch den Anbauzeitraum, die horizontale und vertikale Vegetationsstruktur der Kulturarten sowie durch spezielle Eigenschaften, wie zum Beispiel das Anlocken von Insekten über den Blühaspekt bestimmt. Dies hat zur Folge, dass alle Kulturarten, die sich in ihrem Anbauzeitraum, der Vegetationsstruktur oder Blühaspekt unterscheiden, einen speziellen Beitrag zur Diversität in der Anbaufolge und in der Agrarlandschaft leisten können, der in seinem Ausmaß von dem Grad der Abweichung zu den anderen Kulturarten abhängt. Grundsätzlich kann aus den Ergebnissen der Felduntersuchungen abgeleitet werden, dass die Artendiversität in allen Organismengruppen zunimmt, wenn Fruchtarten mit unterschiedlichem Anbauzeitraum und Vegetationsstruktur in der Fruchtfolge kombiniert werden. Abbildung 6-6 a – d stellt diesen Zusammenhang für die an Hand der erhobenen Felddaten kalkulierten Fruchtfolgen aus dem Fruchtfolgeversuch zusammen. Zu Kulturartengruppen wurden dabei zusammengefasst:



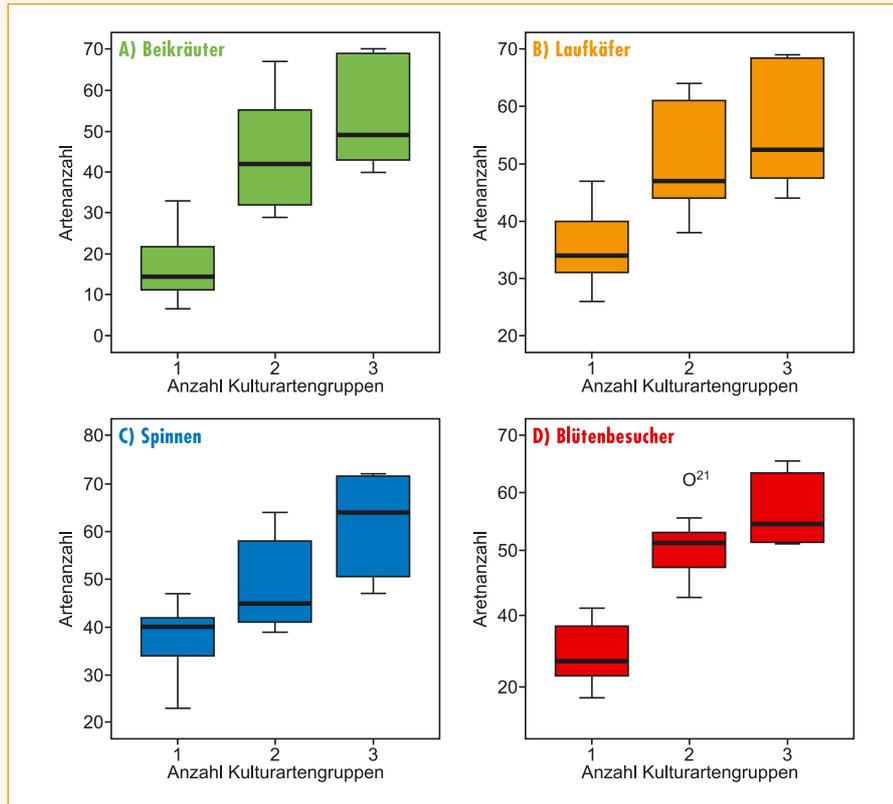


Abb. 6-6: Zusammenhänge zwischen der Anzahl unterschiedlicher Kulturartengruppen (I–V) in der Fruchtfolge und der mittleren jährlichen Artenanzahl der vier untersuchten Organismengruppen auf Ackerflächen (A – Beikräuter, B – Laufkäfer, C – Spinnen, D – Blütenbesucher, die Boxplots basieren auf den mittleren Artenanzahlen in den unterschiedlichen Fruchtfolgen über alle Untersuchungsgebiete hinweg)

- I** Wintergetreide, Winterraps;
- II** Sommergetreide, -gemenge;
- III** dikotyle Sommerkulturen mit Blühaspekt (Leguminosen);
- IV** Mais/Sorghum;
- V** mehrjährige Ackerkulturen (Ackerfutter).

Die Förderung der Artendiversität durch die Fruchtfolgen ist um so größer, je mehr dieser Gruppen in den Fruchtfolgen eingebaut werden. Die Individuenanzahlen der tierischen Organismen und der mittlere Deckungsgrad der Beikräuter wurden im Unterschied zu den

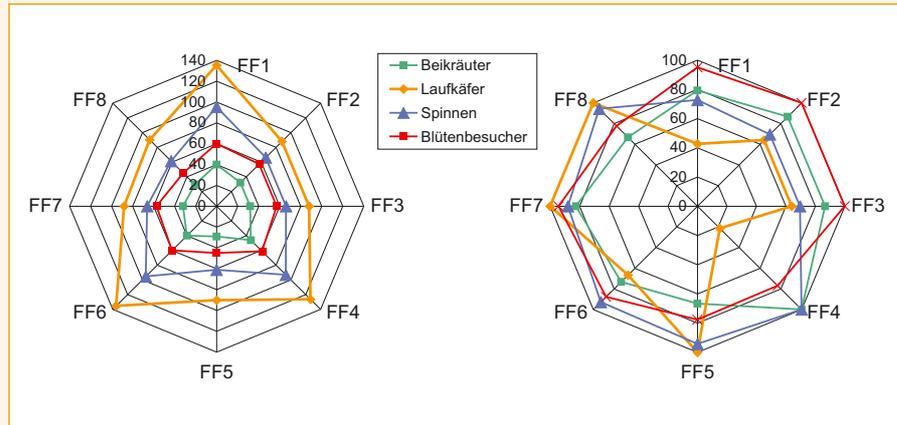


Abb. 6-7: Mittlere jährlichen Artenanzahl und relative Individuenanzahlen der vier untersuchten Organismengruppen auf Ackerflächen kalkuliert für die Fruchtfolgen 1 – 8 am Versuchsort Gülzow (Mecklenburg-Vorpommern) [Fruchtfolgeeffekte wurden kalkuliert anhand der Felddaten aus Praxisversuchen, Daten 2005 – 2007, Artenanzahlen sind Absolutwerte, Individuenanzahlen sind auf den jeweiligen Maximalwert relativiert (Maximalwert =100)]

Artenanzahlen durch die Kulturartendiversität nicht erhöht, sondern entsprechen in der Regel dem Mittel der Werte, die in den einzelnen Fruchtarten auftreten. Allerdings wird die Varianz in den Individuenanzahlen und im Deckungsgrad, also auch die Wahrscheinlichkeit des Auftretens stark erhöhter Werte, durch vielfältige Fruchtfolgen deutlich reduziert.

In ähnlicher Weise, wie es für die Entwicklung regional angepasster Anbauverfahren notwendig ist, die regionalen Standort- und Klimabedingungen zu berücksichtigen, erfordert eine sachgerechte Abschätzung der biotischen Folgewirkungen des Energiepflanzenanbaus die Berücksichtigung von regionalen Arteninventaren. Im Verbundprojekt wurden die

Informationen zu den Arteninventaren aus den Erhebungen in den Praxisbetrieben für die Kalkulation der Fruchtfolgeeffekte berücksichtigt. Damit wird es möglich, die Fruchtfolgen vergleichend zu beurteilen. Für den Versuchsstandort Gülzow war der Effekt vielfältiger Fruchtfolgen auf die Artenanzahlen in den Fruchtfolgen für alle untersuchten Organismengruppen relativ einheitlich (vgl. Abb. 6-7). Die höchsten Artenanzahlen wurden in den Fruchtfolgen 1, 4 und 6 festgestellt. Dies sind Fruchtfolgen, in denen jeweils drei verschiedene Kulturartengruppen in unterschiedlichster Weise kombiniert wurden (FF1: Sommergerste, Mais/Sorghum und Wintergetreide ; FF4: Sommergerste, mehrjähriges Ackerfutter und Wintergetreide; FF6: Mais, Gerstgras, Winterraps und Winter-



getreide). Der Effekt der Fruchtfolgegestaltung auf die Individuendichte der Organismen war im Vergleich dazu eher gering. Unterschiede zeigten sich vor allem bei den Laufkäfern über geringere Individuendichten in den Fruchtfolgen mit mehrjährigem Ackerfutter (FF4) sowie mit dem Anbau von Mais und Sorghumarten (FF1-3). Die für den Versuchsstandort Gülzow festgestellten Grundtendenzen treffen auch für die Untersuchungsstandorte in Bayern und Thüringen zu. In Bayern und Thüringen wurde durch die Felduntersuchungen zusätzlich eine Erhöhung der Individuenanzahlen für die bodenaktiven Spinnen in den Fruchtfolgen mit dem Anbau mehrjährigen Ackerfutters festgestellt.

Für das Vorkommen von ökologischen Gruppen, das heißt spezielle Organismengruppen mit spezifischen ökologischen Funktionen, lassen sich keine Zusammenhänge zwischen der Vielfalt der Kulturarten und der Vielfalt der Gruppen nachweisen. Es zeigt sich aber, dass spe-



zielle Gruppen durch Kulturarten bzw. Kulturartengruppen gefördert werden.

Eins der anschaulichsten Beispiele hierfür ist die Organismengruppe der Blütenbesucher, welche wegen der Bestäuberleistung eine sehr wichtige Funktion im Agrarökosystem ausfüllt. Die Blütenbesucher setzen sich aus drei Hauptgruppen zusammen, I. den Bienen, II. den Hummeln und III. den Schwebfliegen. Auf Grund ihrer unterschiedlichen Aktivitätszeiträume im Jahr haben die



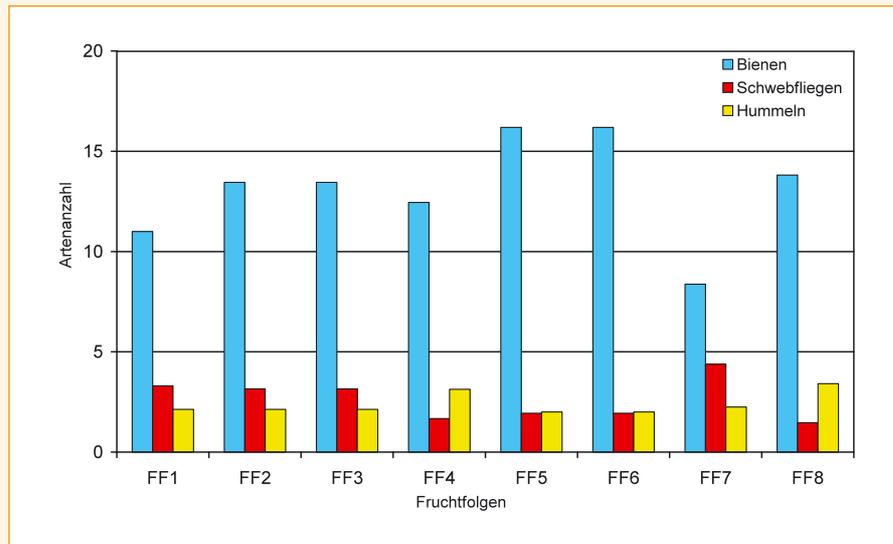


Abb. 6-8: Mittlere Artenanzahl der Bienen, Schwebfliegen und Hummeln unter den Blütenbesuchern kalkuliert für die Fruchtfolgen 1 – 8 am Versuchsstandort Dornburg, errechnet anhand der Artvorkommen in unterschiedlichen Kulturarten (Fruchtfolgeeffekte wurden kalkuliert anhand der Felddaten aus Praxisversuchen, Daten 2005 – 2006)

drei Gruppen ihren Vorkommenschwerpunkt in unterschiedlichen Kulturarten: die Bienen vor allem im Wintergetreide und im Ackerfutter, die Hummeln in mehrjährigen Kulturen mit frühem Blühaspekt und die Schwebfliegen in späten Sommerkulturen, wie Mais, Sorghum oder Sommergetreide. Der Mais- und Sorghumanbau führte an allen Versuchsstandorten zu reduzierten Artenanzahlen bei den Bienen und zu leichten Zunahmen bei den Schwebfliegen (exemplarisch in Abb. 6-8; FF 1-3 und 7 mit mehrjährigem Maisanbau). Diese spielen allerdings zusätzlich zur Blütenbestäubung noch eine Schlüsselrolle bei der Kontrolle von Blattläusen.

Für eine differenzierte Sichtweise ist daher auch von Bedeutung, welche Gewichtung der ökologischen Ziele vorliegt. In diesem Falle stellt sich die Frage, ob eine biologische Schädlingskontrolle, über die möglicherweise Pflanzenschutzmitteleinsatz verringert werden kann, von größerer Bedeutung ist als die Bestäuberleistung der Bienen- und Grabwespen bzw. die größtmögliche Gesamtzahl der Arten.





7 Ökonomische Bewertung

Preisentwicklung

In den letzten zwei Jahren sind die Preise für pflanzliche Agrarrohstoffe deutlich angestiegen. In Abbildung 7-1 ist stellvertretend die Weizenpreisentwicklung von Januar 2000 bis Januar 2008 dargestellt. Zwischen Januar 2006 und Januar 2008 sind die Weizenpreise um 141 % angestiegen. Auch die Betriebsmittel haben sich im selben Zeitraum verteuert, wobei diese Verteuerungen jedoch relativ schwächer ausfielen als die der Produkte. Die größten Preiszuwächse gab es bei Düngemitteln (N: +40 %, P: +80 %, K: 33 %) und Energien (12 %). Pflanzenschutzmittel bzw. Material (Maschinen, Ausrüstung, Einrichtung) haben sich im Vergleichszeitraum mit 6 bzw. 4 % relativ gering verteuert. Die erhöhten Terms of Trade (Preisverhältnis von Out- zu In-

puts) führen auf der einen Seite zu einer Erhöhung der Flächenverwertung und damit zu einer erhöhten Flächenkonkurrenz bzw. zu steigenden Pachten. Auf der anderen Seite induziert der relative Preisanstieg der Produkte eine Erhöhung der optimalen speziellen Intensität. Insbesondere beim Pflanzenschutz und bei der Bewässerung sind Intensitätssteigerungen zu erwarten.

Substratpreise

Zwischen dem Substratpreis von Rohstoffen für Biogasanlagen und dem allgemeinen Preisniveau von pflanzlichen Rohstoffen existiert ein enger Zusammenhang, da die Anbaualternativen um dieselbe Fläche konkurrieren. Ein Landwirt trifft seine Anbauentscheidung in

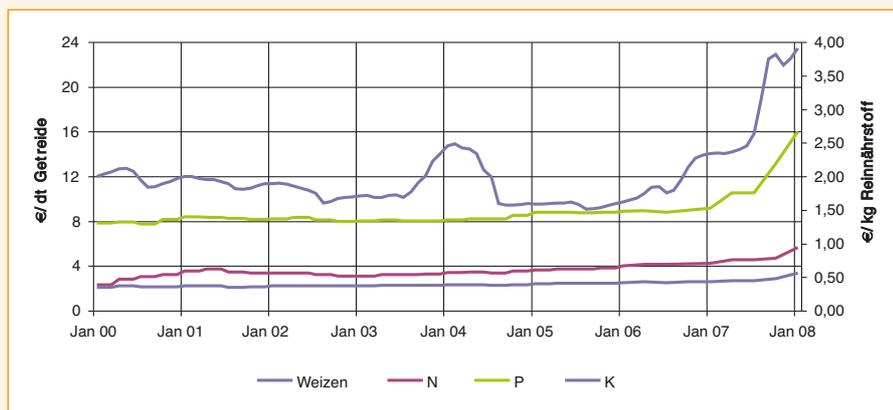


Abb. 7-1: Entwicklung der Weizen- und Reinnährstoffpreise (N, P, K)
Quellen: EUROSTAT, Statistisches Bundesamt



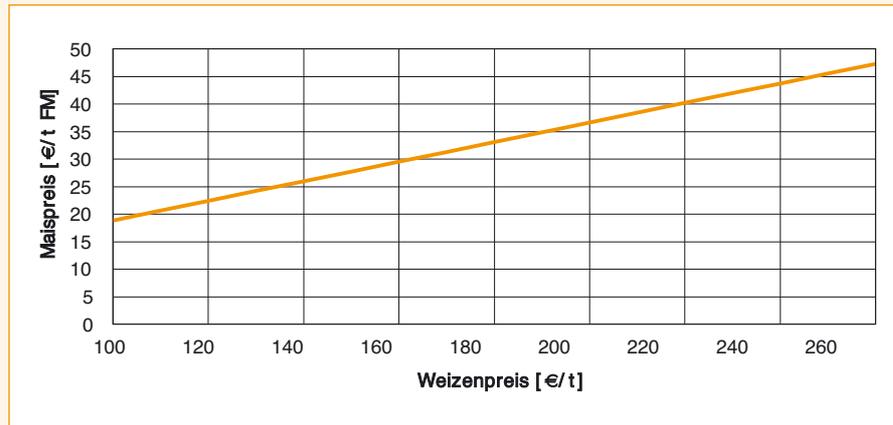


Abb. 7-2: Indifferenzpreise für Maissilage (eingelagert) in Abhängigkeit vom Weizenpreis

Abhängigkeit von den Erwartungswerten zu Erträgen und Preisen der unterschiedlichen Anbaualternativen.

Das durchschnittliche Ertragsniveau in Deutschland von Silomais bzw. Winterweizen beträgt nach der Kreisstatistik 42,7 t/ha bzw. 7,1 t/ha (Statistisches Bundesamt 2007, Auswertungszeitraum: 1999 – 2005). Für dieses Ertragsverhältnis lassen sich Indifferenzpreise für Silomais in Abhängigkeit vom Weizenpreis ableiten (vgl. Abb. 7-2). Die Indifferenzpreise ergeben sich unter der Bedingung, dass der Gewinnbeitrag je Hektar beim Silomais- dem des Weizenanbaus entspricht. Geht man mittelfristig von einem Weizenpreis von 190 €/t aus, dann resultiert hieraus ein Silomaispreis von 35 €/t (ohne MwSt, eingelagert, aus dem Silo verkauft, 32 % TM-Gehalt). Bei einem Methanbildungspotenzial von 95 m³/t FM Mais resultiert hieraus ein Methanpreis von 37 ct/m³.

Ökonomische Bewertung der Fruchtfolgeglieder

Aus betriebswirtschaftlicher Sicht sollte die Verwertung des knappsten Faktors maximiert werden. Dies ist derzeit der Boden. In Tabelle 7-1 sind die Gewinnbeiträge für die wichtigsten Fruchtfolgeglieder (Frucht x Fruchtfolgestellung) des Grundversuchs nach Standorten und Jahren differenziert dargestellt. Die Gewinnbeiträge werden ermittelt, indem von den Leistungen (Methanbildungspotenzial x 37 ct/m³ CH₄) alle Kosten abgezogen werden. Die Saatgut- und die Pflanzenschutz aufwendungen werden mit Preisen von 2007 bewertet. Der Düngerbedarf wurde in Anlehnung an den Deckungsbeitragskalkulator der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft abzüglich der Nährstoffrücklieferung der Gärreste bestimmt und mit Preisen von Januar 2008 bewertet. Die Arbeitserledigungskosten für alle Arbeiten einschließ-



lich Ernte, Einlagerung und Gärrestaubsbringung werden nach Verrechnungssätzen für Lohnarbeiten berechnet.

Der Vergleich (vgl. Tab. 7-1) bezieht sich im Wesentlichen auf die Jahre 2006 und 2007, weil in 2005 nur Sommerungen angebaut wurden. Im Mittel über alle Standorte und Jahre (unterste Zeile) lieferte Mais in Hauptfruchtstellung mit 673 €/ha den höchsten Gewinnbeitrag. Von Jahr zu Jahr variierten die Gewinnbeiträge erheblich. 2007 war der Gewinnbeitrag mit 875 €/ha annähernd doppelt so hoch wie 2006 (457 €/ha), während er 2005 (686 €/ha) eine Mittelstellung einnahm. Im Mittel über alle Standorte gab es in keinem Jahr eine Kultur, die eine höhere Flächenverwertung als der Mais zeigte.

Wird jedoch auch nach Standorten differenziert, dann war in 2006 Wintergetreide-GPS in Dornburg (521 gegen 420 €/ha), in Güterfelde (111 gegen 30 €/ha) und in Trossin (198 gegen 143 €/ha) gegenüber Mais überlegen. Zur Risikostreuung, aus Fruchtfolgegründen (Wintergetreide-GPS als Vorfrucht für Wintererbsen), zur besseren Lagerraumnutzung und für eine höhere Auslastung der Erntetechnik ist Wintergetreide-GPS deshalb ein interessantes Fruchtfolgeglied.

Klee- oder Luzernegras (zusammengefasst als Leguminosegras) lieferte im Mittel über das zweite und dritte Nutzungsjahr einen Gewinnbeitrag von immerhin 216 €/ha. Die Ansaat erfolgte nach einer Getreidehauptkultur, so dass für das Leguminosen-Gras im ersten Jahr keine

Flächenkosten anfallen. Die Etablierungskosten wurden annähernd durch die Leistungen des ersten Aufwuchses gedeckt.

Im Vergleich zum Maisanbau entgehen durch den Leguminosen-Gras-Anbau im Mittel über alle Standorte und Jahre 457 €/ha. In 2006 waren die Differenzen in Ascha, Trossin (hier war der Mais unterlegen), und Werlte sowie 2007 in Ascha und Trossin jedoch geringer.

Die Leguminosengräser besitzen aus ökologischer Sicht auch einige Vorteile. So sind die Bodenruhe und die phytopathologische Sanierungsfunktion in getreidebetonten Fruchtfolgen, die Einsparung von Stickstoff und die Mehrererträge der Folgefrucht nicht zu unterschätzen. Eine abschließende ökonomische Bewertung kann erst nach dem noch zu bewertenden Vergleichs-Fruchtfolgeglied Winterweizen vorgenommen werden. Wintergetreide-GPS brachte bei früher Ernte (TM-Gehalt unter 30 %) keine positiven Gewinnbeiträge, so dass mit der Ernte besser bis Ende Mai/Mitte Juni gewartet werden sollte. Der Zweitfruchtanbau von Futterhirse brachte im Mittel einen Gewinnbeitrag von 366 €/ha und war so den Sudangrasybriden (76 €/ha) klar überlegen. Dennoch liegt die Differenz zum Silomais in Zweitfruchtstellung immer noch bei 200 €/ha. Allgemein kann für Sorghumarten und Sonnenblumen festgehalten werden, dass sie dann interessante Anbaualternativen werden können, wenn die Verdaulichkeiten bzw. die Gasausbeuten und die TM-Gehalte zum Erntezeitpunkt durch neue Sorten erhöht werden.





Tab. 7-1: Gewinnbeiträge der wichtigsten Fruchtfolgeglieder differenziert nach Jahren, Standorten und Fruchtfolgestellung (Hauptfrucht versus Zweit- oder Zwischenfruchtanbau)

Jahr/ Standort	Hauptfrucht						Wi.-Zw. Fr.		Zweitfrucht			So. Zw.Frucht	
	Leguminosengras ¹	Mais	Sonnenblume	Sudangras	Wintergetreide	Zuckerhirse	Wintergetreide früh ²	Wintergetreide	Mais	Sudangras	Zuckerhirse	Sudangras	Zuckerhirse
2005		686	-244	145		465				-72			
Ascha		566		12									
Dornb.		541		314									
Ettl.		871	-202			465				-68			
Güterf.		595	-286	181									
Trossin		767		184									
Werlte		642		33									
Gülzow	818									-77			
2006	180	457	-198	103	300		-225	-89	435	140	248	-86	
Ascha	441	689			187			0	412	121			
Dornb.	-54	420		147	521			-1	306	22			
Ettl.	239	769	-17		456			-90	642	109	310		
Güterf.	-48	30	-211		111			-227	177	212		-86	
Trossin	167	143	-211	59	198		-225				186		
Werlte	262	369			323			-82	484	134			
Gülzow	254	782			303			-136	590	244			
2007	252	875	-144	173	320	303	-79	7	684	159	485	-140	-25
Ascha	596	967			449			320	330	-120			-127
Dornb.	503	1003			495		-39		626	337			72
Ettl.	187	973			433			-106	984	223	485		
Güterf.	-102	756			64		-155	-199	515	207			131
Trossin	233	464	-144	173	105	303	-59					-140	-37
Werlte	-59	837			189			12	822	164			
Gülzow	410	1126			508		-63		826	143			-163
Mittel	216	673	-195	140	310	384	-152	-41	560	76	366	-113	-25

¹ Mittelwert von zweitem und drittem Nutzungsjahr von Klee- und Luzernegras;

² Das Wintergetreide-GPS wurde so früh geerntet, dass im Anschluss noch eine Hauptkultur angebaut werden konnte





Zweikultur-Nutzungssystem

Der Zweikulturanbau ist insbesondere in Form von Winterroggen-GPS und Mais als Zweitfrucht interessant. Im Mittel über alle Standorte und die Versuchsjahre 2006 und 2007 (vgl. Tab. 7-2, unterste Zeile) war Mais in Hauptfrucht (Gewinnbeitrag: 791 €/ha) dem Zweikultur-Nutzungssystem (725 €/ha) überlegen. Aber in 2006 konnte durch das Zweikultur-Nutzungssystem im Mittel über alle Standorte ein um 100 €/ha höherer Gewinnbeitrag realisiert werden als mit Mais im Hauptfruchtanbau. In Gülzow war das Zweikultur-Nutzungssystem in beiden Jahren überlegen, ansonsten war es in 2007 an allen Standorten unterlegen.

Dies lag vor allem auch daran, dass die Maiserträge 2007 bei früher Aussaat sehr hoch waren.

Fazit

Da alle Kulturen um dieselbe Fläche konkurrieren, gibt es einen engen Zusammenhang zwischen den Preisen für Rohstoffe für Biogasanlagen und anderen pflanzlichen Rohstoffen. Bei einem Weizenpreis von 190 €/t beträgt der Indifferenzpreis von Silomais 35 €/t FM bzw. 109 €/t TM.

Die bisherigen Auswertungen bewerten die einzelnen Fruchtfolgeglieder anhand ihrer Gewinnbeiträge. Wintergetreide-GPS ist aus rein betriebswirt-

Tabelle 7-2: Gewinnbeiträge von Mais und Roggen in Abhängigkeit vom Nutzungssystem

	Hauptkulturnutzung		Zweikultur-Nutzungssystem		
	Mais	WRog	Mais	WRog	WRog+Mais
2006	684	673	526	261	786
Dornburg	379	687	202	295	497
Gülzow	681	496	612	218	830
Haus Düsse	860	805	850	334	1184
Rauischholz.	666	825	372	175	547
Straubing	789	803	648	239	888
Werlte	510	534	341	164	505
Witzenhausen	903	559	655	398	1053
2007	899	563	220	444	664
Dornburg	839	560	333	446	778
Gülzow	494	480	-19	522	502
Haus Düsse	1155	429	396	392	788
Rauischholz.	948	803	136	512	647
Straubing	1272	728	382	500	883
Werlte	689	350	104	305	409
Witzenhausen	894	588	209	434	643
Mittel	791	618	373	353	725





schaftlicher Sicht nach den bisherigen Ergebnissen eine interessante Ergänzung zum Silomais. Der Gewinnbeitrag von Klee- und Luzernegras ist im Mittel etwa 450 €/ha geringer als der von Mais, wobei die positiven Fruchtfolgeeffekte zu berücksichtigen sind, die aber sicher die Differenz im Gewinnbeitrag zum Mais nicht kompensieren können.

Damit Sorghumarten eine noch bessere Anbaualternative werden, müssten die Gasausbeuten und die TM-Gehalte zum Erntezeitpunkt erhöht werden.

Das Zweikultur-Nutzungssystem bestehend aus Winterroggen-GPS (Ernte in der ersten Juni-Dekade; TM-Gehalt 31 %) und Mais als Zweitfrucht ist eine Alternative zum Maisanbau in Hauptfruchtstellung. Die Ergebnisse waren jedoch nicht einheitlich. 2006 schnitt der Zweikulturanbau (WRog+Mais) im Mittel über alle Standorte besser ab als der alleinige Maisanbau, während es 2007

umgekehrt war. Da Fruchtfolgeeffekte nach den ersten 2 bzw. 3 Anbaujahren noch nicht untersucht werden konnten, sind Ergebnisse zu einem späteren Zeitpunkt zu präzisieren.

Bei dem Fruchtartenvergleich (Grund- und Zweikulturnutzungsversuch) wurden bei den Sommerkulturen in Hauptfruchtstellung (Mais, Sudangras, Zuckerhirse) keine Kosten für eine Winterzwischenfrucht angesetzt. In erosionsgefährdeten Lagen und in Fruchtfolgen mit hohen Anteilen von Sommerkulturen wird ein Anbau von Winterzwischenfrüchten jedoch erforderlich sein, um die Bodenfruchtbarkeit nicht zu gefährden, so dass in diesen Fällen die Kosten für einen Winterzwischenfruchtanbau (ca. 165 €/ha) anzusetzen sind. Da im Zweikulturnutzungssystem und in allen Winterkulturen keine zusätzlichen Kosten für eine Winterbegrünung anfallen, gewinnen diese im oben genannten Fall an Vorzüglichkeit.





8 Zusammenfassung

Im Rahmen des EVA-Verbundprojektes konnte die Gewinnung von Biogassubstraten erstmals in einem deutschlandweiten Projektansatz und interdisziplinären Projektansatz untersucht werden.

Vergleichend wurden die Erträge aufgezeigt, die in den verschiedenen Regionen Deutschlands und in den verschiedenen Jahren des Versuchszeitraumes 2005–2007 erzielt werden konnten. Deutlich zeigte sich, dass mit vielfältigen Fruchtfolgesystemen an allen Standorten hohe Erträge möglich sind. Über die Standorte betrachtet konnte die Fruchtfolge Mais-Grünschnittroggen-Sudan-grashybride (Zweitfrucht) – Wintertriticale – Einjähriges Weidelgras bislang die höchsten Erträge erzielen.

Wenngleich Mais als ertragsstärkste und ökonomisch vorteilhafteste Kultur zur Gewinnung von Biogassubstraten weiterhin in der Gestaltung von Fruchtfolgen die größte Bedeutung haben wird, so zeigten sich doch eine Reihe von Kulturarten als interessante Alternativen, mit denen die Vielfalt in Anbausystemen bei gleichzeitig hohem Ertragsniveau gesteigert werden kann.

So lassen sich Sorghumarten hervorheben, deren Erträge unter den Bedingungen des Jahres 2006 an Standorten, die zu Trockenheit neigen, mit denen von Mais konkurrieren konnten. Auch Wintergetreidearten konnten erfolgreich eingebunden werden und zeigten hohe Er-

träge auf Standorten mit einer geringeren Vorzüglichkeit des Maisanbaus. Durch geringere Produktionskosten und hohe Methanausbeuten waren diese 2006 dort auch bei geringeren Trockenmasseerträgen ökonomisch überlegen. Wintergetreidearten wie Wintertriticale oder Winterroggen sind aus ertraglicher Sicht zu bevorzugen, da die verfügbaren Sommergetreidearten eher auf Qualität als auf maximale Biomasseleistung gezüchtet sind. Sowohl bei den Getreide- als auch den Sorghumarten wird der Züchtungsfortschritt daher in Zukunft neben der Weiterentwicklung der Produktionsverfahren ein wichtiges Kriterium sein.

Auch mehrjährige Ackerfuttermischungen lieferten hohe Erträge, wobei in maritimeren Regionen weidelgrasbetonte Mischungen und in stärker kontinental geprägten Regionen Luzerne- bzw. Kleegrasmischungen besser für den Anbau geeignet sind.





Topinambur

Die Flächeneffizienz des Zweikultur-Nutzungssystems konnte über eine Steigerung der Hektarerträge nachgewiesen werden. Im Jahr 2006 zeigte sich im Vergleich zum Hauptfruchtanbau von Silomais ein ökonomischer Zusatznutzen von durchschnittlich etwa 100 €/ha. 2007 wurde hingegen nur in Gülzow (Mecklenburg-Vorpommern) eine Gewinnsteigerung verzeichnet werden. Wichtige Voraussetzung ist eine ausreichende Wasserverfügbarkeit in der Etablierungsphase der Zweikultur, d. h. neben Niederschlägen im Frühjahr auch ein gutes Wasserhaltevermögen des Bodens.

Eine im Rahmen des Verbundprojektes geprüfte Option zur Ertragsoptimierung war die Bewässerung, durch welche im Zweikultur-Nutzungssystem im Jahr 2006 deutliche Ertragssteigerungen von bis zu 73 % am Standort Müncheberg (Brandenburg) erzielt werden konnten. Sowohl in diesem als auch in den ande-

ren Bewässerungsversuchen konnte gezeigt werden, dass sich eine Investition in Beregnungstechnik zumindest unter den Bedingungen trockener Jahre lohnen kann.

Die Versuchsergebnisse bestätigen ferner, dass es im Einzelfall möglich ist, den Faktoreinsatz ohne Ertragsverluste zu minimieren, beispielsweise über die Wahl von Kulturarten mit schnellem Bestandesschluss und der damit möglichen Verringerung des Herbizideinsatzes. Im Interesse optimaler Substrateigenschaften kann bei der Düngung in der Regel auf „Qualitätsgaben“ verzichtet werden.

Ein wichtiges Erfolgskriterium bei der Produktion von Biogassubstraten ist die Maximierung der Methanausbeuten, welche nicht nur über die Pflanzenart, sondern auch über Erntezeitpunkte bzw. beim Ackerfutter über Schnittregime zu beeinflussen ist. In der Ackerfutterproduktion sind Schnittregime mit geringerer Anzahl von Schnitten aufgrund höherer Methanhektarerträge zu bevorzugen. Erntezeitpunkte der anderen Kulturarten sollten so gewählt werden, dass



Topinamburknolle





Silageverluste und somit auch eine Minderung des Methanertrags minimiert werden. Silierhilfsmittel können vor allem bei Mais und Sudangrashybriden eine positive Auswirkung auf die Methan- ausbeute haben.

Die Rückführung der Gärreste ist aus ökologischer Sicht wichtig für eine positive Humusbilanz der Fruchtfolgen.

Auch aus Sicht der biotischen Effekte bestätigen die bisherigen Versuchsergebnisse die Bedeutung der Fruchtfolgegestaltung. Unterschiedliche Anbauzeiträume und Vegetationsstrukturen, die durch die Einbindung verschiedener Kulturarten (-gruppen) zu gestalten sind, können das Vorkommen wildlebender Tier- und Pflanzenarten fördern. Mit der sowohl in ökonomischer als auch in ökologischer Hinsicht positiven Bewertung der Fruchtfolge 1 wird auch deutlich, dass sich ein hoher Biomasseertrag und

Biodiversitätsziele nicht widersprechen müssen.

Eine vollständige Bewertung der Fruchtfolgeeffekte ist erst nach Abschluss der gesamten Fruchtfolge im Herbst 2008 möglich. Dabei ist zu betonen, dass es sich bei den in dieser Broschüre vorgestellten Ergebnissen um vorläufige Ergebnisse handelt. Eine sichere Bewertung der Fruchtfolgesysteme ist nur durch längerfristige Untersuchungen möglich. Nach den Erfahrungen der bisherigen Projektlaufzeit kann jedoch bereits resümiert werden, dass unter Berücksichtigung pflanzenbaulicher, ökonomischer und ökologischer Aspekte Fruchtfolgesysteme, die sowohl Mais als auch Getreide sowie standortabhängig weitere C3- und C4-Pflanzen integrieren, optimale Lösungen darstellen, die neben einem hohen Ertragsniveau auch Ziele wie Biodiversität und Ertragssicherheit berücksichtigen.



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

Pölkig, 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)

FNR (Hrsg.)

Handreichung Biogasgewinnung und -nutzung, 3. überarbeitete Auflage, Gülzow 2006

Relevante Internetseiten der Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe

- www.energiepflanzen.info
- www.fnr.de/energiepflanzen2007
- www.nachwachsende-rohstoffe.de

Internetseite zum EVA-Verbund

- www.tll.de/vbp





Anlage 1: Regionalfruchtfolgen

Biogas – Ganzpflanze, Marktfrucht

Bundesland	Prüf-glied	2005	2006	2007	2008
MV	6	Energie-Mais	Gerstgras	Winterraps	WW
	7	Energie-Mais	Grünschnittroggen/ Ackergras	Ackergras	WW
	8	Artenmischung S-Roggen + S-Triticale	Winterraps	WW	WW
TH	6	Hafer (GPS)	Artenmischung WT+WW+WG	Winterraps	WW
	7	Energie-Mais	Energie-Mais	Energie-Mais	WW
	8	Topinambur	Topinambur (2-j.)	Topinambur (3-j.)	WW
BB	6	S-Roggen (GPS) Senf (WZF)	Lupine (ZF)	Winterroggen (GPS)/ Futterhirse (SZF)	WRo
	7	Sonnenblume (GPS) Ölrettich (SZF)	Körnererbse	W-Triticale (GPS)/ Futterhirse (SZF)	WRo
	8	Topinambur	Topinambur (2-j.)	Topinambur (3-j.)	WRo
	9	Artenmischung Hafer + Erbse + Leindotter	Winterraps Buchweizen (SZF/GD ¹⁹)	Grünschnittroggen/ Sudangras (ZF)	WRo
BW	6	Futterhirse	Wintergerste/ Sudangras	Winterraps/ Hafer	WW
	7	Sonnenblume (GPS)	W-Triticale (WZF)/ Futterhirse	Energie-Mais	WW
	8	Energie-Mais	Grünschnittroggen/ Körnermais	Energie-Mais	WW
	9	Sommergerste (GPS) Wi-Erbse	Grünschnittroggen/ Futterhirse	Energie-Mais	WW
SN	6	S-Roggen (GPS)	Winterraps (GPS) Landsb.-Gem. (WZF)	Sudangras	WRo
	7	Mais	Grünschnittroggen/ Futterhirse	Kartoffel (Knollen)	WRo
	8	S-Triticale (GPS) Gelbsenf (GPS)	Sonnenblume (GPS) Phacelia (Wi-ZwF)	Hanf (GPS)	WRo

Weiter auf Seite 80 ▼

¹⁹GD-Gründungung



▲ Fortsetzung von Seite 79

Bundesland	Prüf-glied	2005	2006	2007	2008
NS	6	Energie-Mais	Grünschnittroggen/ E-Mais (ZF)	Grünschnittroggen E-Mais (ZF)	WW
	7	Energie-Mais	W-Triticale	Wintergerste (GPS)	WW
	8	<i>Körnermais</i>	WW (GPS)	<i>Wintergerste</i>	WW
BY	6	Silomais	Grünschnittroggen/ Silomais (ZF)	Wickroggen/ Sudangras (ZF)	WW
	7	Körnermais (CCM)	Winterweizen	Winterraps (GPS)/ Sudangras	WW
	8	<i>Körnermais</i>	Welsches Weidelgras <i>Kartoffel</i>	Winterweizen Erbse	WW





Anlage 2: Beteiligte Institutionen am EVA-Verbundprojekt

Brandenburgisches Landesamt für Verbraucherschutz, Landwirtschaft und Flurneuordnung (LVLf)

Referat Ackerbau und Grünland
Berliner Str. • 14532 Güterfelde
Tel.: 03329/6914-05
www.mluv.brandenburg.de/cms/detail.php/164981

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

Institut für Betriebslehre der Agrar- und Ernährungswirtschaft
Bundesallee 50 • 38116 Braunschweig
Tel.: 0531/596-2318 • www.jki.bund.de

Justus Liebig Universität Gießen

Senckenbergstr. 3 • 35390 Gießen
Tel.: 0641/99-37243
www.uni-giessen.de/cms/fbz/fb09

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

Dorfplatz 1 • 18276 Gülzow
Tel.: 03843/789-0
www.landwirtschaft-mv.de

Landwirtschaftliches Technologiezentrum Augustenberg (LTZ)

Außenstelle Rheinstetten-Forchheim
Kutschenweg 20 • 76287 Rheinstetten
Tel.: 0721/9518-30
www.ltz-augustenberg.de

Landwirtschaftskammer Niedersachsen (LWK Nds)

Mars-la-Tour-Str. 13 • 26121 Oldenburg
Tel.: 0441/801-433
www.lwk-niedersachsen.de

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

Max-Eyth-Allee 100 • 14469 Potsdam
Tel.: 0331/5699-0
www.atb-potsdam.de

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

Eberswalderstr. 84 • 15374 Müncheberg
Tel.: 033432/82-390 • www.zalf.de

Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL)

Gustav-Kühn-Str. 8 • 04159 Leipzig
Tel.: 0341/9174-148
www.smul.sachsen.de/lfl

Technologie- und Förderzentrum im Kompetenzzentrum Nachwachsende Rohstoffe (TFZ)

Schulgasse 18 • 94315 Straubing
Tel.: 09421/300-012 • www.tfz.bayern.de

Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft (TLL)

TZNR- Thüringer Zentrum Nachwachsende Rohstoffe
Abteilung Pflanzenproduktion
Apoldaerstr. 4 • 07778 Dornburg
Tel.: 036427/868-129 • www.tll.de

Universität Kassel

Fachgebiet Grünlandwirtschaft und NaWaRo
Steinstr. 19 • 37213 Witzenhausen
Tel.: 05542/98-1544
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