Thüringer Landesanstalt
für Landwirtschaft



Abschlussbericht 2009

zum Teilprojekt 1

Entwicklung und Optimierung von standortangepassten Anbausystemen für Energiepflanzen im Fruchtfolgeregime

Dieses Verbundvorhaben wird vom BMELV über die FNR gefördert und seitens der TLL koordiniert.

Themenblatt-Nr.: 42.27.430

FKZ: 22002305

Thüringer Ministerium
für Landwirtschaft,
Naturschutz und Umwelt

Freistaat Thüringen

Langtitel: **Entwicklung und Vergleich von optimierten Anbausystemen für die landwirtschaftliche Produktion von Energiepflanzen unter den verschiedenen Standortbedingungen Deutschlands (EVA)**

Kurztitel: **Entwicklung und Optimierung von standortangepassten Anbausystemen für Energiepflanzen im Fruchtfolgeregime**

Projektleiter:	Dr. habil. A. Vetter
Abteilung:	400
Abteilungsleiter:	Dr. habil. A. Vetter
Laufzeit:	01.04.2005 bis 31.01.2009
Auftraggeber:	Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (BMELV)
Projektträger:	Fachagentur für Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR), Hofplatz 1, 18276 Gülzow
Namen der Bearbeiter:	Dr. A. Nehring, Dr. A. Vetter
Beteiligte:	Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft **(TLL)** Landesforschungsanstalt für Landwirtschaft und Fischerei **(LFA)** Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie **(LfULG)** Landwirtschaftliches Technologiezentrum Augustenberg **(LTZ)** Technologie- und Förderzentrum im Kompetenzzentrum für Nachwachsende Rohstoffe **(TFZ)** Landwirtschaftskammer Niedersachsen **(LWK NS)** Brandenburgisches Landesamt für Verbraucherschutz, Landwirtschaft und Flurneuordnung **(LVLF)**

Dornburg, Juni 2009

(P. Ritschel)
Präsident

(Dr. habil. A. Vetter)
Projektleiter

Inhaltsverzeichnis

1	**Einleitung**	**5**
2	**Methoden**	**5**
2.1	Standortcharakteristik	5
2.1.1	Bodenphysikalische und bodenchemische Kenngrößen der Versuchsstandorte	5
2.1.2	Klimatische Kenngrößen der Versuchsstandorte	6
2.2	Witterungsverlauf und Klimatische Wasserbilanz	6
2.3	Versuchsaufbau und Versuchsdurchführung	8
2.4	Datenerhebung / Berechnungsgrundlagen	9
2.4.1	Nährstoffbilanz (N, P)	10
2.4.2	Humusbilanz	11
2.4.3	Theoretischer Biogas- und Methangasertrag	11
3	**Ergebnisse und Diskussion**	**12**
3.1	Fruchtfolgeversuch	12
3.1.1	Ertragsentwicklung einzelner Fruchtarten	12
3.1.2	Vergleich der Fruchtfolgen an den einzelnen Standorten (Anlage I, Anlage II)	15
3.1.3	Winterweizen- und Winterroggenerträge (Anlage I)	20
3.1.4	Regionalfruchtfolgen (Anlage I, Anlage II)	22
3.2	Nährstoffbilanz (N, P)	23
3.3	Humusbilanz	26
3.4	Theoretischer Biogas- und Methangasertrag	31
3.5	Anbauempfehlungen für die Regionen	32
4	**Weiterführende Anbauversuche**	**38**
4.1	Einfluss der Bodenbearbeitung auf den Ertrag der einzelnen Fruchtfolgen	38
4.2	Reduzierung von Pflanzenschutzmitteln und Düngung (Dr. Kathrin Deiglmayer, TFZ Straubing)	42
4.3	Variierung der Erntezeitpunkte (Dr. Gunter Ebel, LVLF Brandenburg)	45
4.4	Mischfruchtanbau (Matthias Dietze, LFA Mecklenburg-Vorpommern; Dr. Kathrin Deiglmayr, Dr. Maendy Fritz, TFZ Straubing)	46
4.5	Eignung von Ackerfuttermischungen für die energetische Nutzung (Carsten Rieckmann, LWK Niedersachsen)	55
5	**Literatur**	62
6	**Anhang**	63

1 Einleitung

Mit der steigenden Anzahl an Biogasanlagen wird deutlich, dass der Energiepflanzenanbau auf immer größeres Interesse stößt. Der Biogasanlagenbetreiber muss während der Vegetationszeit soviel Biomasse wie möglich produzieren. Zurzeit erfolgt hauptsächlich der Anbau von Mais als bewährte biomassereiche Pflanze, zunehmend wird jedoch über Alternativkulturen diskutiert. Neben der Wahl der entsprechenden Kultur beeinflusst auch die richtige Sortenwahl den Produktionserfolg. Darüber hinaus sind ein effizienter Energieeinsatz und eine nachhaltige Produktion maßgebliche Kriterien für einen erfolgreichen Energiepflanzenanbau.

2 Methoden

2.1 Standortcharakteristik

2.1.1 Bodenphysikalische und bodenchemische Kenngrößen der Versuchsstandorte

Für die Umsetzung des Forschungsvorhabens wurden verschiedene Standorte in Deutschland ausgewählt, welche jeweils eine bestimmte Anbauregion repräsentieren. Tabelle 1 gibt einen Überblick über die Kenngrößen der Böden an den einzelnen Versuchsstandorten. Mit Hilfe der Korngrößenverteilung (Textur) wurde die Bodenart ermittelt. Die Korngrößenverteilung kann als eine der wichtigsten Eigenschaften für die Bodenentwicklung, Ertragsfähigkeit sowie Puffer- und Filtereigenschaften der Böden genannt werden (SCHEFFER, 2002). Die häufigste Bodenart ist lehmiger Sand (lS). Eine weitere wichtige Kenngröße stellt der pH-Wert des Bodens dar. In Thüringen befindet sich der pH-Wert im schwach alkalischen Bereich, wohingegen bei den übrigen Standorten der pH-Wert im Bereich mäßig sauer bis schwach sauer eingestuft werden kann. Nach den Richtlinien für den anzustrebenden pH-Wert in Abhängigkeit von der Bodenart (C_{org}-Gehalt < 4%) sind die ermittelten Werte für die einzelnen Standorte als optimal einzuschätzen. Entsprechend der Humusgehalte lassen sich die Standorte in schwach humos und mittel humos klassifizieren. Es wurden C_{org}-Gehalte zwischen 1,0 und 2,2 % ermittelt. Das entspricht den Angaben von ANDERSON (2000), welcher für Ackerböden einen mittleren C_{org}-Gehalt von 1,0 bis 4,0 % angibt. Nach der Ermittlung der Nährstoffversorgung (P-, K-, Mg-Gehalt) der Versuchsflächen wurde entsprechend der Gehaltsklassen eine mineralische Düngung vorgenommen.

Tabelle 1: Übersicht zu den Kenngrößen der Böden an den einzelnen Versuchsstandorten

Standorte	**NS Werlte**	**MV Gülzow**	**BB Güterfelde**	**SN Trossin**	**TH Dornburg**	**BY Ascha**	**BW Ettlingen**
Bodentyp	Humoser Sandboden	Pseudogley-Braunerde	Sand-Tieflehm-Fahlerde	Bänderpara-braunerde	Humus-Parabraun-erde	Braunerde	Pseudogley-Parabraun-erde
Bodenart	lS - lehmiger Sand	lS - lehmiger Sand	lS - lehmiger Sand	Su_3 - mittel-schluffiger Sand	Ut_4 - stark toniger Schluff	lS - lehmiger Sand	Uls bis Ul - sandig-lehmiger Schluff bis lehmiger Schluff
AZ	31	51	29	31	65	47	75

2.1.2 Klimatische Kenngrößen der Versuchsstandorte

Anhand der klimatischen Kenngrößen wird ersichtlich, dass die Standorte Ettlingen, Werlte und Ascha über einen mittleren Jahresniederschlag von > 740 mm verfügen und sich deutlich von den übrigen Standorten abheben. Die höchste Jahresdurchschnittstemperatur wird am Standort Ettlingen (11,1 °C) erreicht (Tabelle 2).

Tabelle 2: Klimatische Kenngrößen

Standorte	**NS Werlte**	**MV Gülzow**	**BB Güterfelde**	**SN Trossin**	**TH Dornburg**	**BY Ascha**	**BW Ettlingen**
mittlerer Niederschlag (mm)	797 (1996-2005)	559 (1977-2006)	547 (1995-2005)	574 (1994-2005)	596 (1963-2002)	807 (1971-2000)	742 (1995-2006)
Jahresdurchschnitts-temperatur (°C)	9,6 (1996-2005)	8,4 (1977-2006)	9,1 (1995-2005)	9,1 (1994-2005)	8,8 (1963-2002)	7,5 (1971-2000)	11,1 (1995-2006)
Höhenlage (m ü. NN)	31	10	43	120	260	460	170

2.2 Witterungsverlauf und Klimatische Wasserbilanz

Die vergleichende Betrachtung der ***Jahresniederschläge*** zum langjährigen Mittel an den einzelnen Standorten ergab starke Abweichungen in den betrachteten Versuchsjahren (Abbildung 1). So konnten 2007 in den einzelnen Bundesländern deutlich höhere Niederschläge gemessen werden [Gülzow (303 mm), Werlte (207 mm), Dornburg (181 mm), Ascha (197 mm), Trossin (100 mm), Güterfelde (146 mm), Ettlingen (137 mm)], wohingegen 2005 und 2006 starke Defizite zum langjährigen Mittel zu erkennen waren. Besonders deutlich wird dies 2005 in Ettlingen (-245 mm) und Dornburg (-148 mm) bzw. 2006 in Güterfelde (-143 mm), Werlte (-124 mm) und Dornburg (-110 mm). In Ascha lagen die Niederschläge von 2005 bis 2008 immer über dem langjährigen Mittel. Anhand der ***Temperaturentwicklung***

wird ersichtlich, dass ab 2006 ein Temperaturanstieg zu erkennen ist, vor allem in Gülzow (1,8 °C). Im Versuchsjahr 2007 lagen an den Standorten Gülzow, Güterfelde, Trossin die Temperaturen mit 2°C über dem langjährigen Mittel. 2008 betraf dies wiederum die Standorte in Gülzow und Güterfelde. An den übrigen Standorten lagen die Temperaturen um 1°C höher.

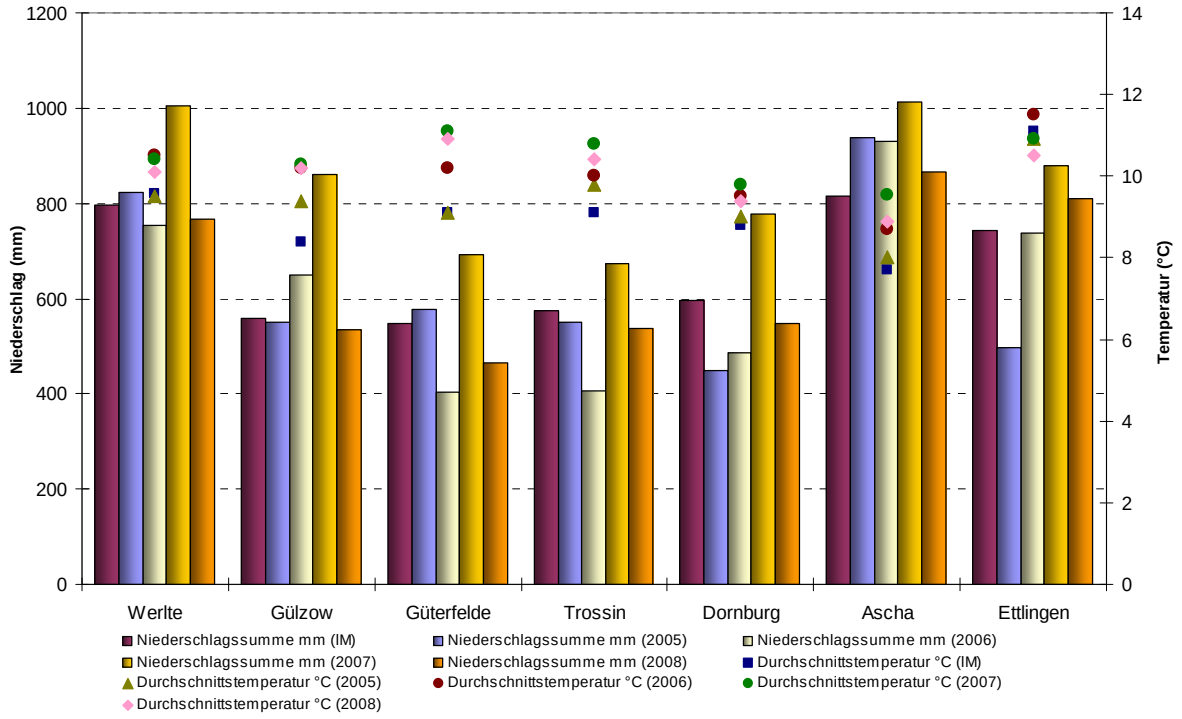


Abbildung 1: Vergleichende Betrachtung der Niederschlagssummen (2005 bis 2008) zum langjährigen Mittel an den einzelnen Standorten.

Die ***klimatische Wasserbilanz (KWB)*** errechnet sich aus der Differenz zwischen Niederschlagssumme und der Summe der potenziellen Verdunstung. Somit ist eine präzisere Gesamteinschätzung der Witterung der einzelnen Versuchsjahre möglich. Für die Berechnung der potenziellen Verdunstung wurde die Penman-Methode herangezogen. Der Verdunstungsprozess wird hierbei im System Boden-Pflanze-Atmosphäre betrachtet. Für die Berechnung der KWB wurde auf Daten des Deutschen Wetterdienstes zurückgegriffen. Eine zusammenfassende Darstellung der klimatischen Wasserbilanz kann aus dem Anhang 1 bzw. für die einzelnen Standorte aus den Teilberichten (Anhang 3) entnommen werden.

Die Betrachtung der KWB im Versuchsjahr 2005 über den Zeitraum Mai bis September verdeutlicht, dass in Werlte und Ascha eine recht ausgeglichene KWB vorlag. Gülzow, Güterfelde, Dornburg und Trossin befanden sich auf einem ähnlichen Niveau, wobei Ettlingen deutlich von den übrigen Standorten abweicht. Dieser Trend ist auch für die folgenden Versuchs-

jahre zu erkennen. Die nähere Betrachtung der Standorte verdeutlicht, dass in Werlte die KWB für das Jahr 2007 durchweg positiv ausfiel. In den Jahren 2005/2006/2008 war sie ab Juni als defizitär einzustufen und ab Ende September konnte wieder ein Anstieg beobachtet werden. In Gülzow wurde für 2007 aufgrund der hohen Niederschläge eine relativ ausgeglichene KWB erreicht. Deutlicher Wassermangel trat jedoch in den Vorsommer- und Sommermonaten 2005, 2006 und vor allem 2008 auf. Für Güterfelde lässt sich die Aussage treffen, dass 2006 und 2008 eine extrem negative KBW gegenüber 2007 vorlag. Vor allem 2008 verursachten die geringen Niederschläge und überdurchschnittlich hohen Temperaturen im Februar eine untypische negative KWB. Die Monate Mai bis August 2008 zeigten einen zeitiger und stärker negativ ausgeprägten Kurvenverlauf als die gleichen Zeiträume der Jahre 2005 und 2007. In Trossin lagen die klimatischen Wasserbilanzen von Januar bis April im positiven bis neutralen Bereich. Bis zum Jahresende stellte sich jedoch ein negativer Verlauf ein, welcher eine ungenügende Auffüllung der Bodenwasservorräte zur Folge hatte. Für Dornburg konnte ein ähnliches Bild beobachtet werden. Auch hier sind die klimatischen Wasserbilanzen bis März positiv und fallen anschließend bis zum Jahresende ab. In Ascha wird die Frühjahrstrockenheit in 2007 gut sichtbar. Hier begann bereits Ende März eine Zehrung der gespeicherten Wasservorräte. Trotz hoher Niederschläge im Frühjahr 2006, fiel die klimatische Wasserbilanz sehr negativ aus. Im Vergleich zu den übrigen Bundesländern war die KWB 2006/2005/2008 am Standort bis Ende April positiv. Für Ettlingen kann festgehalten werden, dass bis Mitte Mai die potenzielle Verdunstung in etwa durch die Niederschläge kompensiert wurde. Im weiteren Verlauf der Jahre verdunstete hingegen erheblich mehr Wasser als durch Niederschläge zugeführt wurde. Das Jahr 2005 war weitaus trockener als die anderen Versuchsjahre.

2.3 Versuchsaufbau und Versuchsdurchführung

Mit Beginn des Projektes im Frühjahr 2005 wurde an den einzelnen Standorten ein Fruchtfolgeversuch mit acht bis neun Fruchtfolgen angelegt, welcher sich aus fünf identischen (Fruchtfolgen 1 bis 5) und drei bis vier regionalspezifischen Fruchtfolgen zusammensetzte (Tabelle 3). Im weiteren Verlauf wird diese als Anlage I bezeichnet. Auf eine Darstellung der regionalspezifischen Fruchtfolgen wird an dieser Stelle verzichtet (Anhang 2). Zusätzlich wurden im Rahmen des Fruchtfolgeversuches verschiedene Satellitenversuche zur Bodenbearbeitung, Düngung- und Pflanzenschutz bzw. zu den Erntezeitpunkten angelegt. Zur Minimierung der Witterungseinflüsse bei der Auswertung zur Fruchtfolgewirkung und damit zur Präzisierung der Ergebnisse erfolgte im Frühjahr 2006 nochmals die Etablierung des Fruchtfolgeversuches (Anlage II).

Tabelle 3: Fruchtfolgeversuch an den einzelnen Standorten, Fruchtfolgen 1 bis 5

Anlage 1 Anlage 2 Fruchtfolge	**2005 2006 1. Jahr**	**2006 2007 2. Jahr**	**2007 2008 3. Jahr**	**2008 2009 4. Jahr**
FF 1	Sommergerste / Ölrettich (SZF)	Mais	Wintertriticale (GPS) / SZF Zuckerhirse	Winterweizen oder Winterroggen (Korn)
FF 2	Sudangras / Grünschnittroggen (WZF)	Mais (ZF)	Wintertriticale (Korn)	Winterweizen oder Winterroggen (Korn)
FF 3	Mais / Grünschnittroggen (WZF)	Sudangras (ZF)	Wintertriticale (GPS) /Einjähriges Weidelgras	Winterweizen oder Winterroggen (Korn)
FF 4	Sommergerste / US Luzerne o. Kleegras	Luzerne oder Kleegras	Luzerne oder Kleegras	Winterweizen oder Winterroggen (Korn)
FF 5	Hafersortenmischung	Wintertriticale (GPS)	Winterraps (Korn)	Winterweizen oder Winterroggen (Korn)

Aufgrund der gegebenen Standortverhältnisse wurde in Brandenburg und Sachsen an Stelle von Sommergerste Sommerroggen angebaut und der Abschluss der Fruchtfolgen wurde mit Winterroggen statt mit Winterweizen vorgenommen.
Die Wahl der Versuchsanlage erfolgte entsprechend den örtlichen Gegebenheiten. Es wird mit vier Wiederholungen gearbeitet und aufgrund der technischen Realisierbarkeit teilweise auf eine Randomisierung der Anlage verzichtet.

2.4 Datenerhebung / Berechnungsgrundlagen

Im Verbundprojekt wurden umfangreiche Bonituren durchgeführt, welche die Datengrundlage für die Ertragsermittlung, die biotischen und abiotischen Folgewirkungen bzw. die ökonomische Bewertung bilden. Tabelle 4 gibt einen Überblick über die Prüfmerkmale im Versuch.
Im folgenden Abschnitt werden die Berechnungsgrundlagen für die Nährstoff- und Humusbilanz bzw. der theoretischen Biogasausbeute kurz beschrieben. Auf die ökonomische Bewertung wird an dieser Stelle nicht eingegangen, da von der Uni Gießen hierfür ein gesonderter umfangreicher Bericht vorliegt.

Tabelle 4: Prüfmerkmale

- **Erfassung der Wetterdaten**
- **Bodenuntersuchungen**
  N_{min}, S_{min}, P, K, Mg
  Bodentiefen: 0-30 cm, 30-60 cm, 60-90 cm
  Zeitpunkte: Vegetationsbeginn, Ernte, Vegetationsende
- **Bestandesstruktur**
  Aufgang
  Bestandesdichte
  Bodenbedeckung
  Bestandeshöhe
  Unkrautbesatz
  Lagerneigung, Mängelbonituren, Krankheiten und Schädlinge
- **Abiotische Folgewirkungen**
  Biomasseschnitte und N-Gehalte der Grünschnitte,
  N_{min} und Bodenwassergehalt auf Flächen der Grünschnitte
- **Analyse Erntegut** (in Abhängigkeit vom Standort)
  Erträge
  Elementaranalyse (CNPS)
  Rohasche
  Gesamtzucker/Stärke
  NfE
  Rohfaser
  Rohprotein
  Rohfett
  Trockensubstanz
  ADF, NDF, ADL
  Mineral-, Mikronährstoffe
  Brennwert, Heizwert
  Silierversuche und Gärtests (ATB)
- **Ökonomische Bewertung** (Universität Gießen)
  Arbeitsgänge und Betriebsmittel
  Fruchtarten

2.4.1 Nährstoffbilanz (N, P)

Eine Nährstoffbilanz ist ein Instrument für die nachhaltige Landbewirtschaftung und gilt als Indikator für die Erhaltung der Bodenfruchtbarkeit in einem Agrarökosystem. Sie errechnet sich aus der Nährstoffzufuhr abzüglich der Nährstoffabfuhr. Die Nährstoffzufuhr erfolgt durch mineralische und organische Düngung sowie durch die Fixierung des Luftstickstoffs durch Leguminosen. Die Nährstoffabfuhr erfolgt durch den Nährstoffentzug des Pflanzenbestandes, Nährstoffauswaschung und volatile Verluste.

Nicht bilanziert werden atmosphärische Deposition, NO_3-Auswaschung und N_2-Bindung durch frei lebende Bakterien. Nährstoffe, die in Pflanzenresten auf der Fläche verbleiben, werden ebenfalls nicht bilanziert. Hierzu gehören z. B. Mulch, Gründung, Strohdüngung bei Druschfrüchten und Wurzeln (Heß und Zorn, 2008).

Für die Nährstoffbilanz ergibt sich somit folgenden Formel:

Zufuhr	Mineralische Düngung N_2-Fixierung*
Abfuhr	Nährstoffentzug
Saldo	**Zufuhr – Abfuhr**

* nur bei N-Bilanz

2.4.2 Humusbilanz

Mit der Humusbilanz soll die Veränderung der Humusvorräte abgeschätzt werden, welche durch die jeweiligen Kulturpflanzen, deren Fruchtfolge und die Zufuhr von organischen Materialien verursacht werden. Durch die angebauten Pflanzen wird in unterschiedlicher Art und Weise der Zuwachs bzw. Verlust an Humus im Boden beeinflusst. Aus der Menge und Qualität der zugeführten Ernterückstände sowie organischer Dünger lässt sich deren unterschiedliche Fähigkeit zur Humusreproduktion ermitteln. Somit ergibt sich der Humussaldo aus der Zufuhr organischer Dünger (Ernterückstände, Stallmist, Gülle, Kompost) und der anbauspezifischen Veränderung des Humusvorrates (Humusbedarf). Die Berechnung der Humusbilanz erfolgte nach Cross Compliance, wobei hier zur Quantifizierung der Humusersatzleistung auf die unteren Werte der Humusäquivalente (kg Humus-C ha^{1-}) aus der VDLUFA-Methode zurückgegriffen wurde. Zu beachten ist, dass der Humusbilanzsaldo im Bereich zwischen -75 kg und +125 kg Humus-C/ha/Jahr liegen sollte bzw. den Wert von -75 kg Humus-C/kg/Jahr im dreijährigen Durchschnitt nicht unterschreiten darf (Zorn et al, 2007).

2.4.3 Theoretischer Biogas- und Methangasertrag

Zur Ernte wurden bei allen Kulturen repräsentative Proben zur Bestimmung der Trockensubstanz und zur Inhaltsstoffanalyse entnommen. Über die Inhaltsstoffe (Rohasche, Rohfett, Rohprotein, Rohfaser, N-freie Extraktstoffe) und die Trockenmasseerträge wurde mittels Schätzformel die theoretische Biogas- und Methangasausbeute (je kg oTM) berechnet (FNR, 2007). Hierfür wurden für jede Kultur die Verdaulichkeitsquotienten der relevanten Inhaltsstoffe in Abhängigkeit vom Entwicklungsstadium herangezogen (DLG, 1997). Für Kulturen bei denen keine Verdaulichkeitsquotienten aus der Literatur hervorgehen (z. B. Sudangras), wurden die Verdaulichkeiten ähnlicher Kulturarten herangezogen (Futterhirse). Fehlten zu den entsprechenden Entwicklungsstadien die Werte, wurden frühere Reifestadien der Kulturen einbezogen. Als Verdaulichkeitsquotient für Wintertriticale wurden die gemittelten Werte von Weizen und Roggen verwendet.

3 Ergebnisse und Diskussion

3.1 Fruchtfolgeversuch

Für die Auswertung der Ergebnisse wurde auf die Zwischenberichte der einzelnen Projektpartner (TP 1) zurückgegriffen, welche als Anlage an den Bericht angefügt sind (Anhang 3).

3.1.1 Ertragsentwicklung einzelner Fruchtarten

Die vorliegenden Ergebnisse ermöglichen eine vergleichende Betrachtung der Ertragsentwicklung von Sudangras und Mais in Hauptfruchtstellung (HF) an den einzelnen Standorten im Mittel der Jahre 2005 und 2006 für Sudangras bzw. 2005 bis 2007 für Mais. Insgesamt betrachtet ergab der Fruchtartenvergleich, dass an allen Standorten die Maiserträge über Sudangras lagen, außer in Güterfelde. In Gülzow, Ettlingen und Ascha wurden mit > 200 dt TM/ha die höchsten Maiserträge erzielt. Werlte, Dornburg und Trossin befinden sich mit 160 dt TM/ha auf einem ähnlichen Ertragsniveau. Wobei zu beachten bleibt, dass in Trossin im Jahr 2005 im Vergleich zu den übrigen Versuchsjahren, aufgrund der optimalen Witterungsbedingungen, sehr hohe Maiserträge erreicht wurden. Geringer fiel der Maisertrag in Güterfelde aus. Bei Sudangras erreichten die Standorte Dornburg, Ettlingen und Gülzow ein annähernd gleiches Ertragsniveau von 130 dt TM/ha. In Güterfelde und Trossin wurden Erträge von 124 bzw. 128 dt TM/ha realisiert. Deutlich geringer ist der Sudangrasertrag in Werlte ausgefallen. Als mögliche Ursachen sind hier neben den Witterungseinflüssen auch anbautechnische Probleme zu nennen (Abbildung 2).

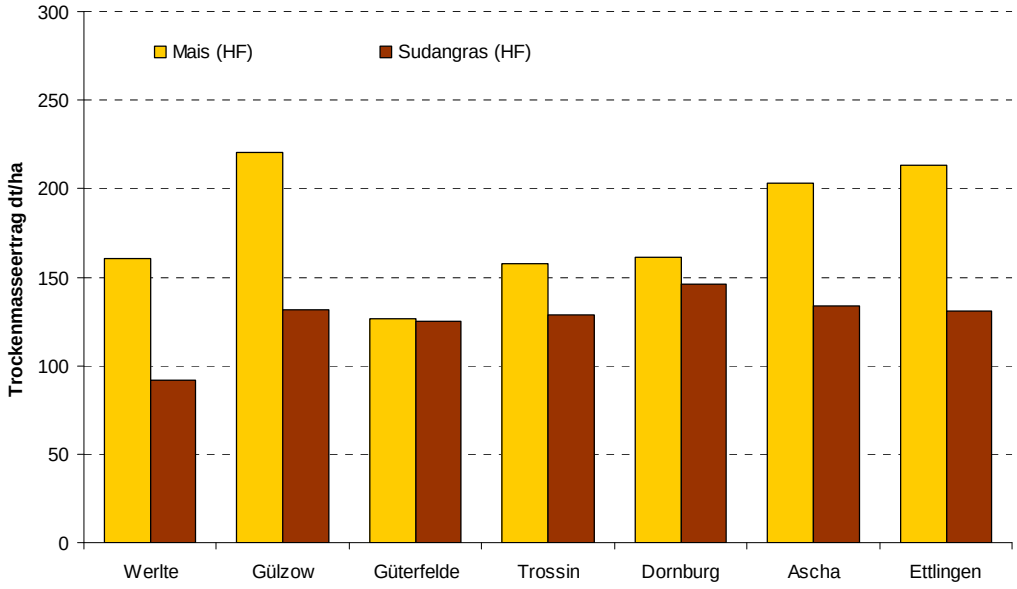


Abbildung 2: Ertragsentwicklung von Mais und Sudangras in Hauptfruchtstellung. Dargestellt ist das arithmetische Mittel aus den Versuchsjahren 2005 und 2006 für Sudangras bzw. 2005 bis 2007 für Mais.

Neben dem Anbau in Hauptfruchtstellung erfolgte im Versuch auch der Anbau in Zweitfruchtstellung (ZF) nach Grünschnittroggen. Die zweijährigen Ergebnisse verdeutlichen, dass mit Mais in Zweitfruchtstellung höhere Erträge als mit Sudangras in Zweitfruchtstellung erreicht werden können, wobei die Ertragsdifferenz in Güterfelde (6 dt TM/ha) und Ascha (13 dt TM/ha) am geringsten ausfiel. Höhere Unterschiede konnten für Werlte (58 dt TM/ha), Gülzow (58 dt TM/ha) und Ettlingen (63 dt TM/ha) errechnet werden (Abbildung 3).

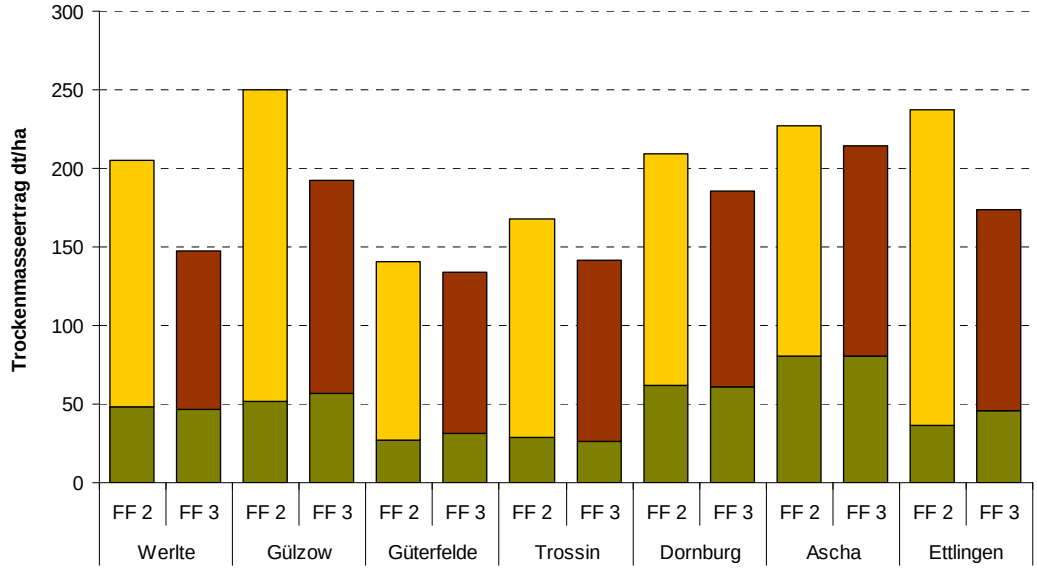


Abbildung 3: Erträge Mais (FF2) und Sudangras (FF3) in Zweifruchtstellung nach Winterzwischenfrucht Grünschnittroggen, arithmetisches Mittel aus den Versuchsjahren 2006 und 2007.

Neben Sudangras und Mais erfolgte auch der Anbau von Ganzpflanzengetreide, wie Sommergerste, Sommerroggen, Hafersortenmischung und Wintertriticale (Abbildung 4). Anhand der Ertragsdaten wird ersichtlich, dass mit Wintertriticale an allen Standorten höhere Erträge im Vergleich zu den Sommerungen erzielt werden konnten. Insgesamt betrachtet wurden an den Standorten Gülzow, Dornburg und Ettlingen repräsentative Ganzpflanzenerträge erreicht. Vergleichsweise niedrige Erträge wurden in Güterfelde und Trossin ermittelt.

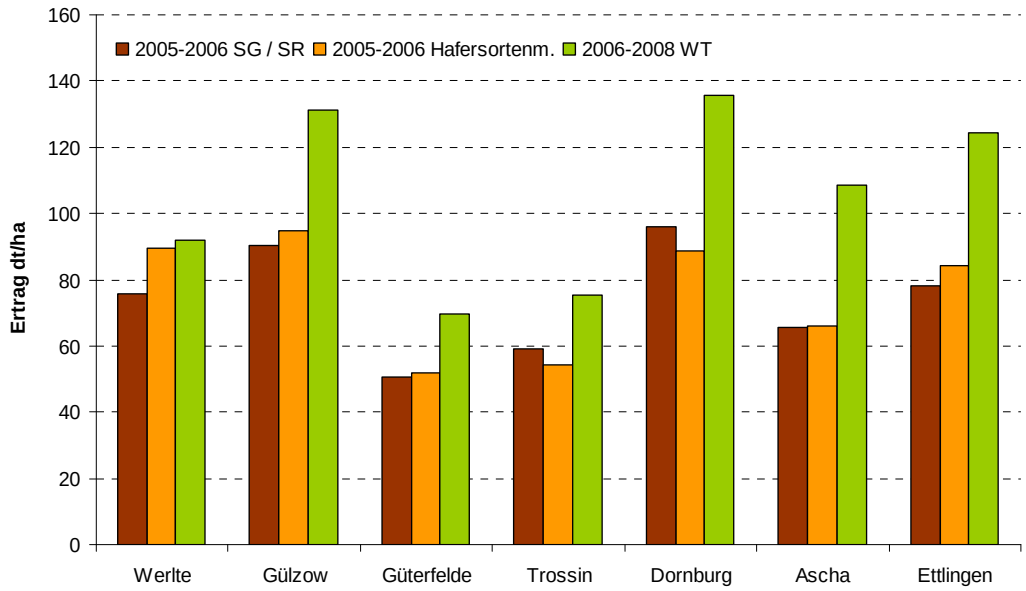


Abbildung 4: Trockenmasseerträge von Ganzpflanzengetreide an den einzelnen Standorten. Dargestellt sind die arithmetischen Mittelwerte aus den Versuchsjahren 2005 und 2006 für die Sommergetreidearten. Bei Wintertriticale aus den Versuchsjahren 2006 bis 2008.

In den einzelnen Fruchtfolgen wurden des Weiteren Sommer- und Winterzwischenfrüchte integriert. Als Sommerzwischenfrüchte kamen Ölrettich, Zuckerhirse und einjähriges Weidelgras zum Anbau. Insgesamt betrachtet sind die Erträge der Sommerzwischenfrüchte gering ausgefallen und der optimale Trockensubstanzgehalt zur Silierung wurde nicht erreicht. Mit Ölrettich wurden in Abhängigkeit vom Standort Erträge zwischen 20 und 31 dt TM/ha erzielt bei einem TS-Gehalt von 8 bis 13 %. Bei Ölrettich ist es demzufolge sinnvoll, diesen als Gründüngung zur Humusreproduktion auf der Fläche zu belassen. Mit 14 bis 54 dt TM/ha lagen die Erträge der Zuckerhirse deutlich über dem Ölrettich, jedoch konnten auch hier nur TS-Gehalte zwischen 15 und 24 % realisiert werden. Ein ähnliches Bild ist bei dem einjährigen Weidelgras zu erkennen, es wurden Erträge zwischen 23 und 52 dt TM/ha bei einem TS-Gehalt zwischen 14 und 24 % erzielt. Bei der Winterzwischenfrucht Grünschnittroggen wurden Erträge ermittelt, welche sich auf dem Niveau der Sommerzwischenfrucht Zuckerhirse befanden. Die Erträge lagen zwischen 27 und 81 dt TM/ha bei einem TS-Gehalt von 17 bis 30 %.

3.1.2 Vergleich der Fruchtfolgen an den einzelnen Standorten (Anlage I, Anlage II)

Im Folgenden wird auf die in den Versuchsjahren 2005 (Anlage I) und 2006 (Anlage II) angelegten Fruchtfolgeversuche eingegangen und eine vergleichende Betrachtung der Gesamterträge über die einzelnen Standorte vorgenommen. Die Anlage I wurde komplett abgeschlossen, wohingegen für die Anlage II die Ergebnisse des Winterweizens noch ausstehen. Auf die Winterweizenerträge der Anlage I wird deshalb gesondert eingegangen. Das beerntete Stroh wird in den einzelnen Abbildungen schraffiert dargestellt, fließt jedoch nicht mit in den Gesamttrockenmasseertrag ein. Das Stroh verbleibt auf dem Feld und wird zur Humusreproduktion herangezogen.

Die ***Gesamtbetrachtung der Fruchtfolgen*** über die einzelnen Standorte lässt erkennen, dass in der Anlage I mit der Fruchtfolge 3[1] (478 dt TM/ha) ein deutlich höherer Gesamttrockenmasseertrag erzielt wurde als mit den Fruchtfolgen 1[2] (404 dt TM/ha), 2[3] (364 dt TM/ha) und 4[4] (291 dt TM/ha). Geringere Gesamterträge wurden mit der Fruchtfolge 5 (214 dt TM/ha) erreicht, wobei auch hier das Rapsstroh nicht mit in die Bewertung einfloss. Eine ähnliche Ertragsentwicklung konnte in der zweiten Anlage beobachtet werden. Neben der Fruchtfolge 3 (465 dt TM/ha) wurde mit der Fruchtfolge 1 (475 dt TM/ha) der höchste Ertrag erreicht. Der Ertrag der Fruchtfolge 2 fiel mit 417 dt TM/ha im Vergleich zur ersten Anlage 53 dt höher aus. Auch bei der Fruchtfolge 4 war ein Mehrertrag von 35 dt zu verzeichnen.

Insgesamt betrachtet konnten mit den Fruchtfolgen 3 und 1 dicht gefolgt von der Fruchtfolge 2 hohe Gesamterträge erzielt werden. Die mehrjährige Nutzung von Ackerfutter lag mit den Erträgen deutlich darunter.

Der Vergleich der ***Standorte*** hinsichtlich ihrer Ertragsleistung ergab, dass mit der Fruchtfolge 3 an den Standorten Gülzow bzw. Ascha Erträge > 570 dt TM/ha erzielt werden konnten (Anlage I), wohingegen in Ettlingen eine Ertrag von 500 dt TM/ha ermöglicht wurde. In Dornburg lag der Gesamtertrag bei 488 dt TM/ha. Somit liegt zu den vorher genannten Standorten eine Ertragsdifferenz von durchschnittlich 94 dt TM/ha vor. Werlte und Trossin befanden sich auf einem ähnlichen Ertragsniveau von 430 dt TM/ha (Abbildung 5). Auf dem trockenen, sandigen Standort Güterfelde wurden deutlich geringere Erträge erzielt (338 dt TM/ha). Für die Standorte Ettlingen und Ascha lassen sich die hohen Erträge mit den guten bzw. mittleren Böden, kombiniert mit hohen Niederschlägen, erklären. In Gülzow liegt eine mittlere Bo-

[1] Mais/WZF Grünschnittroggen/Sudangras (ZF)/Wintertriticale (GPS)/einj. Weidelgras
[2] Sommergerste (GPS)/Ölrettich (ZF)/Mais (HF)/Wintertriticale (GPS)/SZF Zuckerhirse
[3] Sudangras/WZF Grünschnittroggen/Mais (ZF)/Wintertriticale (Korn)
[4] Sommergerste + Untersaat Luzerne-/Kleegras/1. Nutzungsjahr/2. Nutzungsjahr

dengüte vor, kombiniert mit hohen Niederschlägen und mittleren Jahresdurchschnittstemperaturen. Insgesamt betrachtet wurde an allen Standorten mit Mais in der Fruchtfolge der höchste Ertrag erzielt. Mit Sudangras und Wintertriticale (GPS) wurde innerhalb der Standorte ein ähnliches Ertragsniveau erreicht. Dies gilt ebenfalls für die Zwischenfrüchte Grünschnittroggen und einjähriges Weidelgras. In der zweiten Anlage erreichten Gülzow, Dornburg und Ascha Erträge > 500 dt TM/ha, dicht gefolgt von Ettlingen (486 dt TM/ha) und Werlte (450 dt TM/ha). 2006 sind die Maiserträge in Güterfelde, Trossin und Dornburg geringer ausgefallen, wohingegen mit Sudangras deutlich höhere Erträge erzielt wurden als in der ersten Anlage. Der Vergleich Sudangras zu Wintertriticale (GP) verdeutlicht, dass auch hier innerhalb der Standorte ein ähnliches Ertragsniveau erreicht wurde.

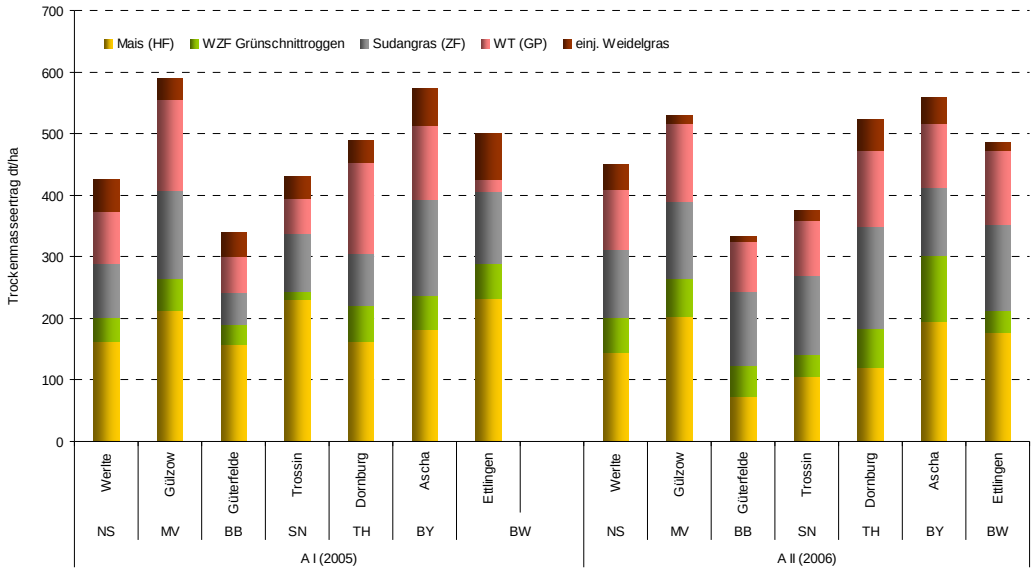


Abbildung 5: Kumulierte Erträge der Fruchtfolge 3 an den einzelnen Standorten Anlage I und II.

Mit der Fruchtfolge 2 wurden in Dornburg, Gülzow und Ettlingen im Mittel der Standorte 403 dt TM/ha erzielt (Abbildung 6). Eine Berücksichtigung der geernteten Strohmenge am Gesamtertrag der Fruchtfolge wurde an dieser Stelle nicht vorgenommen, diese ist jedoch in der Abbildung schraffiert mit dargestellt. In Werlte, Güterfelde und Trossin liegen die Erträge im Mittel bei 321 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 den trockenen, sandigen 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. In der zweiten Anlage wurden in Gülzow,

Ascha und Ettlingen Erträge > 460 dt TM/ha erzielt. In Dornburg konnten nur 440 dt TM/ha geerntet werden. In Werlte ist der Ertrag der Fruchtfolge 2 um 25 dt TM höher ausgefallen als in der Anlage I. Allgemein konnte festgestellt werden, dass 2007 die Maiserträge in Zweitfruchtstellung zwischen 150 und 216 dt TM/ha lagen und sich somit deutlich über den Ergebnissen von 2006 befinden. Des Weiteren geht aus den Ergebnissen hervor, dass Sudangras in Hauptfruchtstellung 2006 geringere Erträge erzielte als 2005.

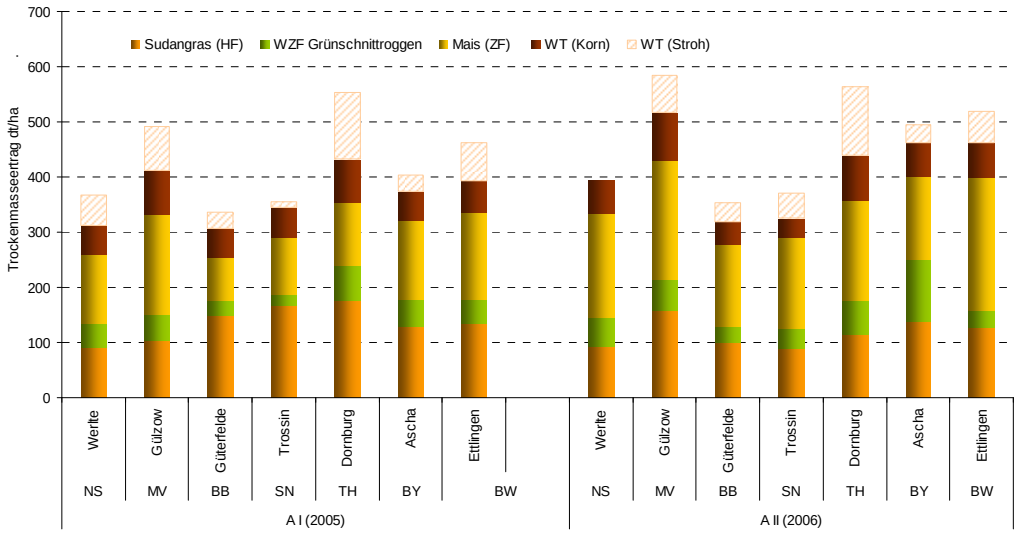


Abbildung 6: Kumulierte Erträge der Fruchtfolge 2 an den einzelnen Standorten Anlage I und II.

In Gülzow und Ettlingen wurden mit der Fruchtfolge 1 die höchsten Erträge (> 450 dt TM/ha) erreicht (Abbildung 7). Mit dem Ölrettich als SFZ[5] wurden Erträge zwischen 16 und 34 dt TM/ha erzielt. Wegen des niedrigen Flächenertrages und der eingeschränkten Silierbarkeit, aufgrund des geringen Trockenmassegehaltes, sollte der Ölrettich jedoch auf der Fläche verbleiben und zur Humusreproduktion genutzt werden. Auch hier wird deutlich, dass mit der Kombination Mais (HF) und Wintertriticale (GPS) hohe Erträge realisierbar sind. Der darauf folgende Anbau von Zuckerhirse als Sommerzwischenfrucht war in Güterfelde (86 dt TM/ha) erfolgreich. Dornburg und Trossin lagen mit 55 dt TM/ha deutlich darunter. In Ascha und Gülzow lagen die Erträge bei 16 bzw. 20 dt TM/ha. In Ettlingen wurde mit der Zuckerhirse ein Ertrag von 155 dt TM/ha erreicht, wobei hier aufgrund der Aussaat Anfang Mai die Zuckerhirse nicht als Sommerzwischenfrucht bezeichnet werden kann (Anhang, Berichte Partner).

[5] SZF - Sommerzwischenfrucht

In Gülzow und Ettlingen wurden in der zweiten Anlage Erträge von durchschnittlich 550 dt TM/ha erzielt. Ölrettich als SZF erzielte Erträge zwischen 8 und 43 dt TM/ha. Im Vergleich zur ersten Anlage konnte mit Mais ein durchschnittlicher Mehrertrag von 84 dt TM/ha und mit Wintertriticale von 21 dt TM/ha erzielt werden. Die darauf folgenden SZF Zuckerhirse erreichte jedoch deutlich geringere Erträge.

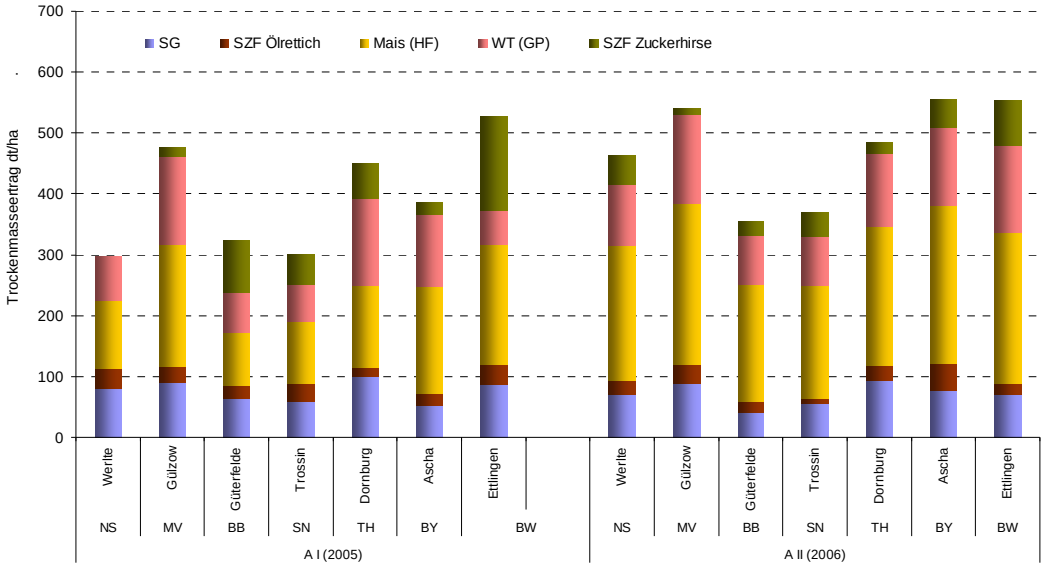


Abbildung 7: Kumulierte Erträge der Fruchtfolge 1 an den einzelnen Standorten Anlage I und II.

Mit der Getreide-Raps-Fruchtfolge (FF 5) konnten in Abhängigkeit vom Standort Erträge zwischen 152 und 256 dt TM/ha erreicht werden (Abbildung 8). Als ertragsschwache Standorte zeichneten sich hier Güterfelde und Trossin ab. Auch in der zweiten Anlage traten Gülzow und Dornburg als ertragsstarke Standorte auf. In Werlte ist der Ertrag deutlich geringer ausgefallen.

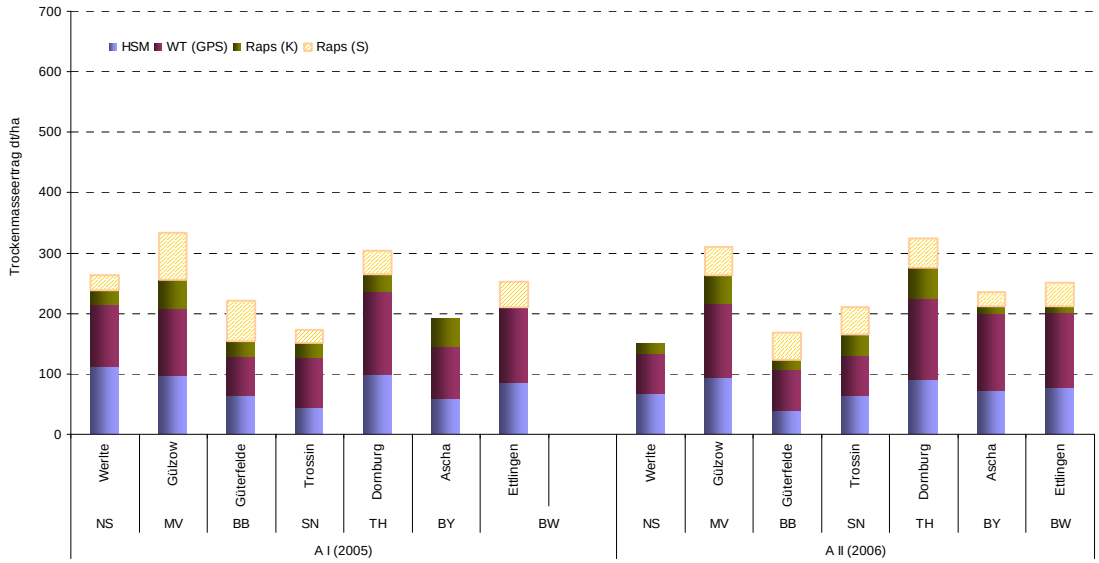


Abbildung 8: Kumulierte Erträge der Fruchtfolge 5 an den einzelnen Standorten Anlage I und II.

In der Fruchtfolge 4 erfolgte der Anbau von Sommergerste / Sommerroggen in Kombination mit einer Untersaat (Abbildung 9). Bereits im Ansaatjahr konnte in Werlte und Ascha neben dem Sommergetreide die Untersaat (2 Schnitte) genutzt werden. Im 1. Nutzungsjahr (2006) war dann eine dreischnittige Nutzung möglich, so dass sich ein Flächenertrag von 230 dt TM/ha realisieren ließ. Bei den übrigen Standorten konnte im 1. Nutzungsjahr eine zweischnittige Nutzung der Untersaat erfolgen, wobei Ettlingen (216 dt TM/ha) dem Ertragsniveau 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 385 dt TM/ha erzielt. Güterfelde ist an dieser Stelle als ertragsschwach einzustufen. In der zweiten Anlage spiegelt sich eine ähnliche Tendenz wider, wobei hier in Werlte, Gülzow, Güterfelde und Dornburg deutlich höhere Gesamterträge erreicht wurden. Außer in Güterfelde konnte im Ansaatjahr an den übrigen Standorten neben dem Sommergetreide auch die Untersaat genutzt werden.

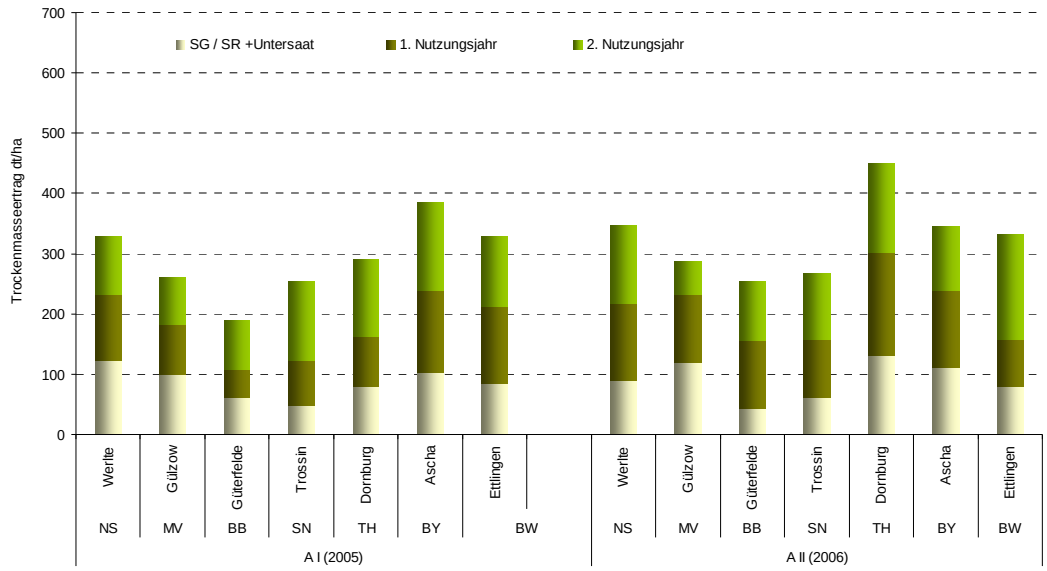


Abbildung 9: Kumulierte Erträge der Fruchtfolge 4 an den einzelnen Standorten Anlage I und II.

3.1.3 Winterweizen- und Winterroggenerträge (Anlage I)

Die Fruchtfolgen der Anlage I wurden 2008 mit Winterweizen bzw. Winterroggen (Güterfelde, Trossin) als Marktfrucht abgeschlossen, um Fruchtfolgeeffekte hinsichtlich Ertrag und Qualität herauszustellen. Folgende Fruchtarten wurden vor Winterweizen bzw. Winterroggen angebaut:

- Fruchtfolge 1 - SZF Zuckerhirse,
- Fruchtfolge 2 - Wintertriticale (Korn),
- Fruchtfolge 3 - einjähriges Weidelgras,
- Fruchtfolge 4 - Luzerne- oder Kleegras,
- Fruchtfolge 5 - Winterraps (Korn).

In Abbildung 10 sind die Kornerträge von Winterweizen und Winterroggen an den einzelnen Standorten für das Jahr 2008 dargestellt. In Werlte werden die guten Vorfruchtwirkungen von Winterraps und Kleegras auf den Ertrag deutlich. Nach der Fruchtfolge 2 wurde am Standort der geringste Ertrag erzielt, wobei sich die übrigen Fruchtfolgen auf einem ähnlichen Ertragsniveau befanden. In Gülzow wurden nach der Fruchtfolge 1 deutliche Mindererträge gegenüber den Fruchtfolgen 3 bis 5 erzielt, aber ein Mehrertrag gegenüber der Fruchtfolge 2. Ackergras und Winterraps zeigten auch hier eine gute Vorfruchtwirkung, wohingegen die Getreidevorfrucht in der Fruchtfolge 2 deutliche Mindererträge zur Folge hatte. In Güterfelde

erfolgte der Anbau von Winterroggen zum Abschluss der Fruchtfolgen. Hier wurde nach der Fruchtfolge 3 der geringste Ertrag erzielt und nach der Fruchtfolge 5 ist eine gute Vorfruchtwirkung des Winterrapses zu erkennen. Die Auswertung der Fruchtfolgen 1 bis 4 ist jedoch aufgrund der großen Streuungsbereiche der Werte erschwert. Als Hauptursache sind bodenbedingte Trockenstellen zu nennen. Für Trossin konnte kein Einfluss der Fruchtfolgen auf den Winterroggenertrag ermittelt werden. In Dornburg ist eine deutliche Vorfruchtwirkung auf den Ertrag des Winterweizens zu erkennen, so wurden mit den Fruchtfolgen 3 und 5 die höchsten Erträge erzielt. Deutlich niedriger sind die Erträge nach den Fruchtfolgen 1, 2 und 4 ausgefallen. Der Bestand reifte hier schneller ab. Für Ettlingen konnten im Jahr 2008 keine repräsentativen Kornerträge erzielt werden, was sich mit einem erheblichen Krankheitsdruck nach der Blüte bzw. Wildschäden erklären lässt. Rückschlüsse auf die Fruchtfolgeeffekte sind somit nicht möglich. In Ascha konnten deutliche Ertragsunterschiede zwischen den Fruchtfolgen herausgestellt werden, obwohl auch hier nicht das standorttypische Ertragspotenzial ausgeschöpft wurde. Der höchste Ertrag wurde nach der Fruchtfolge 5 erreicht, wohingegen sich zwischen den Fruchtfolgen 3 und 4 keine Ertragsunterschiede herausstellen ließen. Am niedrigsten war der Ertrag nach der Fruchtfolge 2, was sich mit der Vorfrucht Wintertriticale und den frühzeitig aufgetretenen Fußkrankheiten erklären lässt.

Insgesamt betrachtet wurden in Gülzow und Dornburg Erträge > 90 dt/ha erreicht. Werlte und Ascha befinden sich auf einem ähnlichen Niveau von 61 bzw. 64 dt/ha. Deutlich geringere Erträge erreichten die Standorte Güterfelde und Trossin mit 50 bzw. 55 dt/ha. Auch in Ettlingen sind die Erträge unerwartet gering ausgefallen. Eine Fruchtfolgewirkung wird vor allem an den Standorten Gülzow, Dornburg und Ascha deutlich. Die Auswertung der Ergebnisse in Güterfelde wurde durch Trockenschäden und in Ettlingen durch Wildschäden stark erschwert.

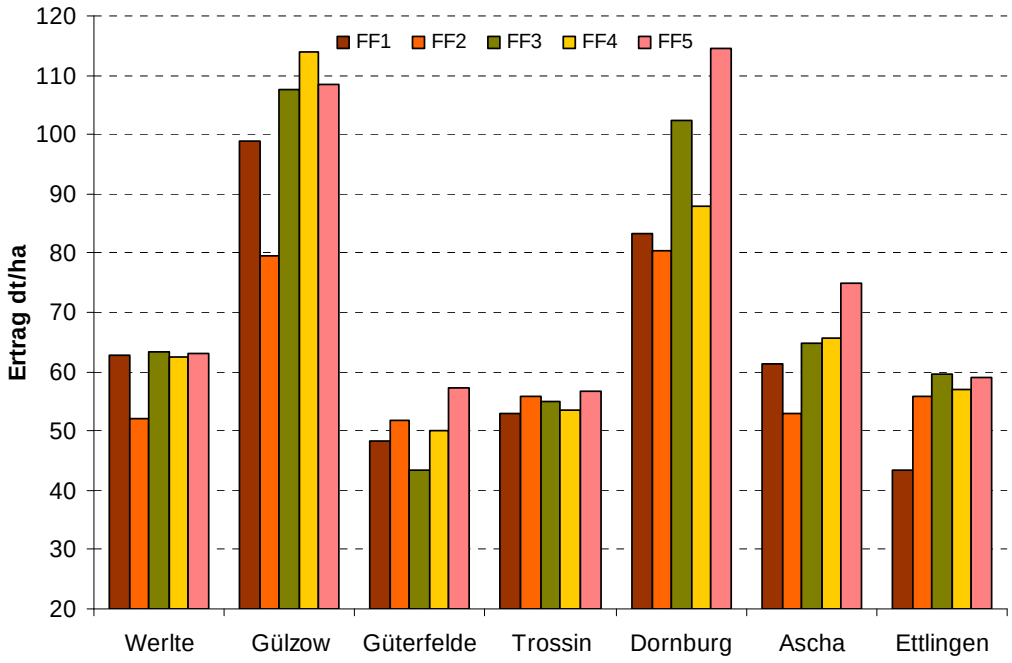


Abbildung 10: Kornerträge Winterweizen bzw. Winterroggen, 2008, Anlage I.

3.1.4 Regionalfruchtfolgen (Anlage I, Anlage II)

Zur Abrundung des Fruchtfolgeversuches wurden neben den fünf einheitlichen Fruchtfolgen je Standort drei bis vier Regionalfruchtfolgen angebaut, welche direkt auf den Standort abgestimmte Fruchtartenkombinationen enthielten. Im Folgenden soll eine vergleichende Betrachtung der Regionalfruchtfolgen zur Fruchtfolge 3[6] vorgenommen werden (Abbildung 11), wobei hier nur der Gesamtertrag gegenüber gestellt wird und keine ökonomische Bewertung zugrunde liegt. In Werlte wurde mit der Fruchtfolge 6[7] der höchste Ertrag erreicht (585 dt TM/ha), dicht gefolgt von der Fruchtfolge 3 (426 dt TM/ha). An den Standorten Güterfelde und Gülzow lagen die Regionalfruchtfolgen (FF 6 bis 8) im Ertrag deutlich hinter der Fruchtfolge 3. In Trossin erzielte die Fruchtfolge 7 (406 dt TM/ha)[8] neben der Fruchtfolge 3 (434 dt TM/ha) gute Erträge. Die Fruchtfolgen 3 und 7[9] waren in Dornburg mit 488 dt TM/ha und 522 dt TM/ha die ertragreichsten Fruchtfolgen, wohingegen in Ascha die Fruchtfolgen 3 (575 dt TM/ha) und 6 (506 dt TM/ha)[10] sowie in Ettlingen die Fruchtfolgen 7 (606 dt TM/ha)[11] und 8

[6] Mais/WZF Grünschnittroggen/Sudangras/ Wintertriticale (GPS)/einj. Weidelgras (SZF)
[7] E-Mais/WZF Grünschnittroggen/E-Mais/WZF Grünschnittroggen/E-Mais
[8] Mais/WZF Grünschnittroggen/Zuckerhirse/Kartoffel (Knolle)
[9] Mais/Mais/Mais
[10] Silomais/WZF Grünschnittroggen/ Silomais/Wickroggen/Sudangras/ Weizen

(563 dt TM/ha)[12] am besten abschnitten. Für die zweite Anlage stellt sich eine ähnliche Tendenz heraus, wobei in Ascha mit Fruchtfolge 6 ein Mehrertrag von 43 dt TM/ha im Vergleich zur Fruchtfolge 3 erzielt wurde. In Ettlingen fallen die Erträge der Fruchtfolgen 7 und 8 im Vergleich zur Anlage I deutlich geringer aus, jedoch befinden sie sich immer noch auf dem Ertragsniveau der Fruchtfolge 3.

Insgesamt betrachtet konnten an den Standorten Werlte, Dornburg, Ascha und Ettlingen mit den Regionalfruchtfolgen zum Teil höhere bzw. gleiche Erträge wie mit der Fruchtfolge 3 erzielt werden. Im Gülzow, Güterfeld und Trossin wird ersichtlich, dass die Regionalfruchtfolgen im Ertrag teilweise deutlich hinter der Fruchtfolge 3 lagen.

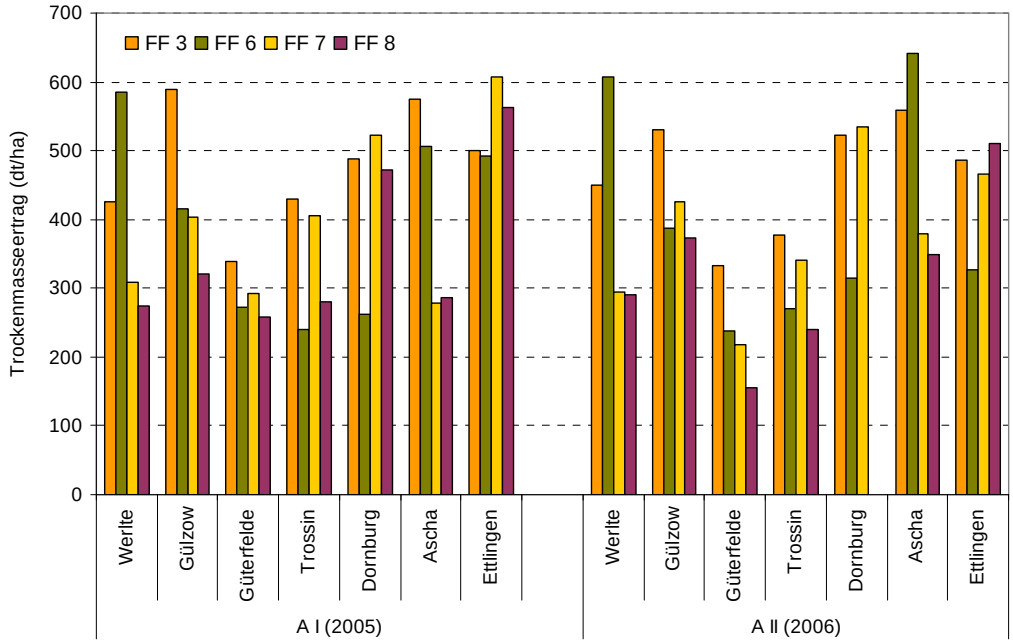


Abbildung 11: Vergleichende Betrachtung der Fruchtfolge 3 zu den Regionalfruchtfolgen an den einzelnen Standorten, Anlage I und Anlage II.

3.2 Nährstoffbilanz (N, P)

Die Nährstoffbilanz bewertet das Verhältnis der für den Anbau aufgewendeten und mit der Ernte entzogenen Nährstoffe für einzelne Schläge oder Betriebe. In Abbildung 12 ist der ***N-Saldo*** der Fruchtfolgen 1 bis 5 an den einzelnen Standorten dargestellt. In Werlte wurde für die Fruchtfolgen 1, 4 und 5 ein positiver N-Saldo berechnet. In der Fruchtfolge 1 wurde eine Düngung zu Ölrettich vorgenommen, jedoch verblieb dieser aufgrund des geringen Tro-

[11] Sonnenblume/Wintertriticale (GPS)/Zuckerhirse/Mais
[12] Mais/Futterroggen/Körnermais/Mais

ckenmassegehaltes auf der Fläche. Der positive Saldo in der Fruchtfolge 4 ergab sich aufgrund der Stickstofffixierungsleistung der angebauten Leguminosen, wohingegen in der Fruchtfolge 5 keine standorttypischen Winterrapserträge erzielt wurden und sich somit ein hoher Überschuss ergab. Einen ausgeglichenen Saldo erreichte die Fruchtfolge 2 und Fruchtfolge 3 verdeutlicht, dass Mais, Sudangras und einjähriges Weidelgras mehr Stickstoff entzogen haben als zugeführt wurde. In Gülzow sind die N-Salden der Fruchtfolgen 1 bis 5 durchweg negativ ausgefallen, jedoch war keine negative Wirkung auf den Ertrag feststellbar. Am Standort Güterfelde konnten für die Fruchtfolgen 1, 3, 4 und 5 leicht positive N-Salden ermittelt werden. Lediglich bei der Fruchtfolge 2 wurde ein negativer N-Saldo von -38 kg N/ha errechnet. In Trossin wurden für Stickstoff, mit Ausnahme der Fruchtfolge 4, bei allen Fruchtfolgen negative Salden ermittelt. Mit der Fruchtfolge 3 wurden hohe Erträge erreicht, was eine starke Abfuhr an Nährstoffen zur Folge hatte und somit zu einer vergleichsweise hohen negativen Bilanz führte. Der Anbau von Zwischenfrüchten in der Fruchtfolge 1 zur Gründüngung verbesserte das Bilanzergebnis deutlich, ohne jedoch das Defizit bei Stickstoff vollständig zu beseitigen. In Dornburg waren die N-Bilanzen überwiegend negativ, vor allem bei Fruchtfolge 4. Als mögliche Ursache ist hier die schlechte Etablierung der Untersaat zu nennen. Trotz der negativen Bilanzen konnten für den Standort typische Erträge erreicht werden. Die N-Bilanzen der ertragsstarken Fruchtfolgen 2 und 3 sind in Ascha überwiegend negativ, da hier die Entzüge deutlich über der Zufuhr an Stickstoffdünger lagen. Am Standort wurden die Ertragserwartungen von Mais und Sorghum deutlich übertroffen. Vor allem in der Fruchtfolge 5 konnte ein N-Überschuss beobachtet werden, da hier die Kulturen aufgrund der schwachen Bestandesentwicklung die Stickstoffgaben nicht verwerten konnten. Werden hier aber die mittleren jährlichen N-Salden über die einzelnen Fruchtfolgen betrachtet, so wurden in allen Varianten mit maximal +70 kg N/ha und Jahr die Vorgaben der Düngeverordnung eingehalten. In Ettlingen erfolgte ebenfalls die Düngung nach guter fachlicher Praxis, welche sich am Entzug der Pflanzen bei entsprechender Ertragserwartung orientiert. Die untersuchten Fruchtfolgeglieder zeigten teilweise, aufgrund höherer Erträge höhere Entzüge als angenommen wurde, woraus im nach hinein die negativen N-Bilanzen resultieren. Bei den Fruchtfolgen 1 und 5 wurden positive Bilanzen ermittelt. Der Ausfall der Kornernte in Fruchtfolge 5 hatte zur Folge, dass der gesamte zur Verfügung stehende Stickstoff auf der Fläche verblieb. Es ist auch hier darauf zu verweisen, dass die laut Düngeverordnung vorgeschriebenen Werte im Mittel der Jahre eingehalten wurden.

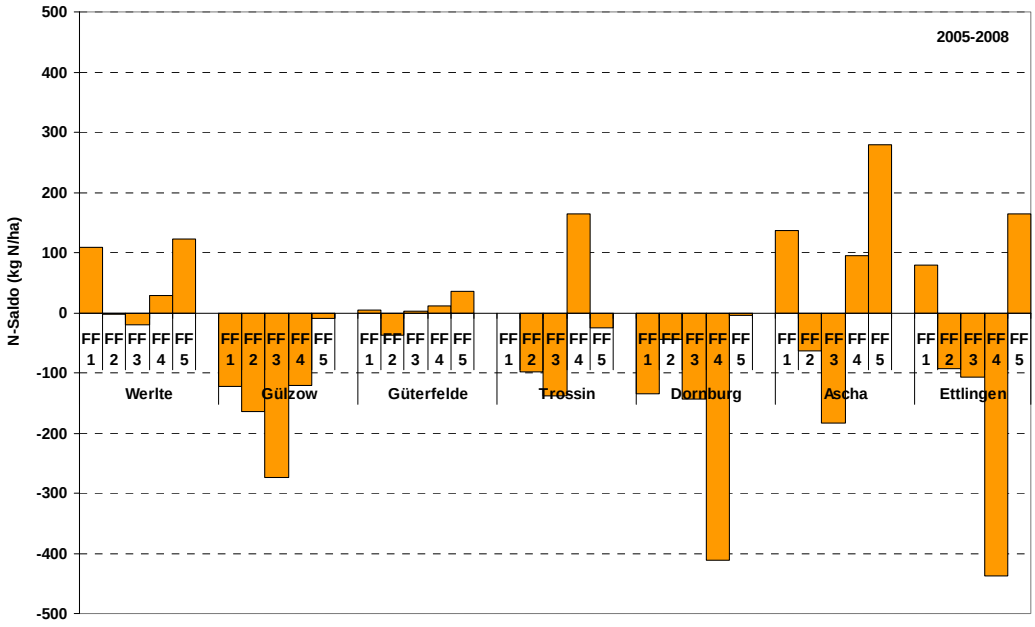


Abbildung 12: N-Saldo der Fruchtfolgen 1 bis 5 an den einzelnen Standorten, 2005-2008.

P-Bilanz

Die P-Düngung sollte im Mittel der Jahre auf eine ausgeglichene Nährstoffversorgung ausgerichtet werden, da der Boden wesentlich besser in der Lage ist Phosphor zu speichern als mobilen Stickstoff.

Am Standort Werlte wurden über die Fruchtfolgen durchschnittlich 31 kg P/ha gedüngt, was in der Regel zu den Hauptkulturen der Fall war. Der größte P-Entzug erfolgte bei den Fruchtfolgen 3 und 4, wobei die übrigen Fruchtfolgen einen positiven P-Saldo aufwiesen (Abbildung 13). Von den Kulturen entzogen Silomais und das Kleegras die höchsten P-Mengen. Dem Mais wurde jedoch, aufgrund der Unterfußdüngung mit einem Stickstoff-Phospatdünger, mehr Phospat zur Verfügung gestellt als er dem Boden entzogen hat, sodass in diesem Fall ein positiver P-Saldo vorherrschte. Beim Kleegras übersteigt der Entzug die Düngung mit der Folge negativer P-Bilanzen. In den Getreidevarianten war ein ausgeglichener bis positiver P-Saldo festzustellen. In Gülzow wurden für die Fruchtfolgen 1 bis 5 hohe negative P-Salden berechnet, jedoch konnten für die Versuchsfläche immer noch die Gehaltsklassen D bis E ermittelt werden. Somit wird auch in EVA II auf eine P-Düngung in allen Fruchtarten, außer Mais als Unterfußdüngung, verzichtet. Für Güterfelde wurden bei den Fruchtfolgen 1 bis 3 negative Salden ermittelt, wohingegen die Salden in den Fruchtfolgen 4 und 5 als positiv zu bewerten waren. Zu Beginn der Versuche wurde am Standort Trossin die Gehaltsklasse E

ermittelt. Die Berechnung der Entzüge der einzelnen Kulturen und Fruchtfolgen macht jedoch deutlich, dass mit Energiefruchtfolgen eine starker Abbauprozess einhergeht, der eine sorgfältige Kontrolle der Gehaltsklassen erforderlich macht. Am Standort Dornburg erfolgte zu Versuchsbeginn bei den einzelnen Fruchtarten eine P-Zufuhr von 40 kg P/ha. Bereits 2007 wurde entsprechend der Bodenuntersuchung nochmals eine P-Düngung mit 18 bis 31 kg P/ha vorgenommen. Die P-Bilanzen fallen durchweg negativ aus, wobei die Fruchtfolge 3 den höchsten negativen Saldo erreichte. Eine Veränderung der Gehaltsklasse konnte jedoch nicht beobachtet werden. In Ascha waren die mittleren jährlichen Salden über die Fruchtfolgeglieder in allen Fruchtfolgevarianten ausgeglichen, nur die Fruchtfolgen 3 und 4 wiesen eine leichte Unterversorgung auf. Im Mittel der Versuchsjahre wurde in Ettlingen bei den Fruchtfolgen 1, 3 und 5 ein P-Überschuss von durchschnittlich 15 kg P/ha und Jahr ermittelt. Die Fruchtfolgen 2 und 4 waren jedoch nahezu ausgeglichen. Die Überversorgung einzelner Fruchtfolgen lässt sich durch die Mindererträge der integrierten Marktfrüchte erklären, die dementsprechend zu einem niedrigeren Entzug als erwartet geführt haben.

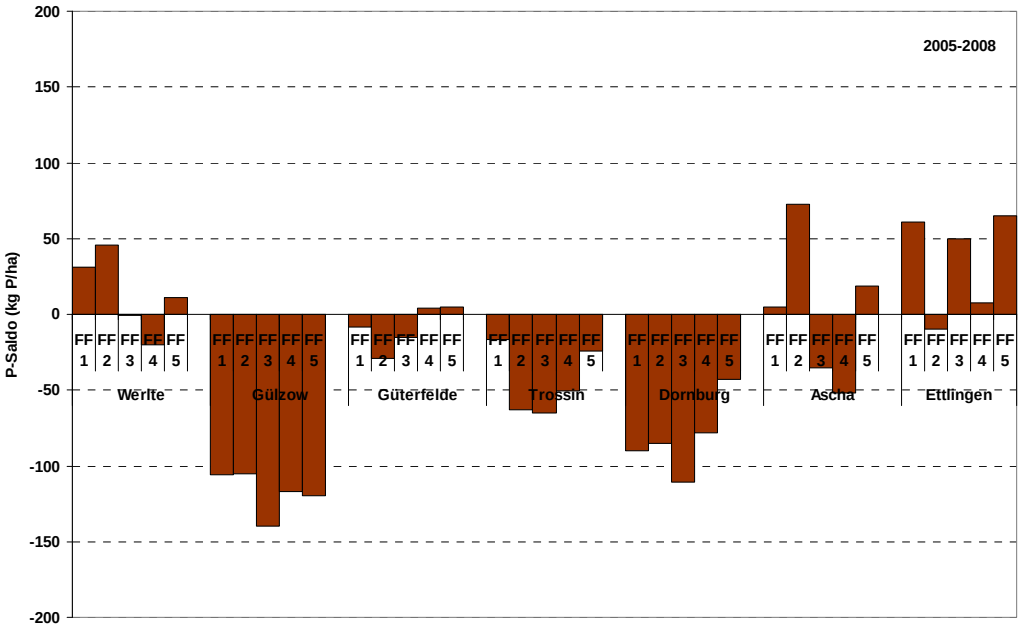


Abbildung 13: P-Saldo der Fruchtfolgen 1 bis 5 an den einzelnen Standorten, 2005 - 2008.

3.3 Humusbilanz

Entsprechend der Cross Compliance-Vorgaben muss jeder Landwirt eine Humusbilanz über den gesamten Betrieb erstellen. Dabei soll der Humussaldo zwischen -75 und +125 kg Humus-C/ha/Jahr liegen und darf den Wert von -75 kg Humus-C/kg/Jahr im dreijährigen Durchschnitt nicht unterschreiten. Im Folgenden werden die Humusbilanzen der Fruchtfolgen der

einzelnen Standorte betrachtet unter der Annahme, dass zum einen keine Gärreste zurückgeführt werden und zum anderen eine 100 %ige Rückführung von Gärresten auf die Fläche erfolgt. Die Berechnungsgrundlagen wurden vom ZALF Müncheberg den Partnern zur Verfügung gestellt. Die Abbildungen für die einzelnen Humusbilanzen können aus dem Anhang entnommen werden.

In ***Werlte*** wird bei der Bilanzierung der Humuswerte ohne Gärrestrückführung deutlich, dass mit Ausnahme der Fruchtfolge 4 (Kleegras) alle anderen Fruchtfolgen einen negativen Saldo aufweisen. Am stärksten humuszehrend ist die Fruchtfolge 6 mit hohem Maisanteil, in der mit Ausnahme des Winterweizens 2008 alle anderen Aufwüchse zur Biomasseproduktion genutzt werden. Relativ gut schneiden die Varianten ab, in denen Getreide als Marktfrucht, aber auch als GPS genutzt werden. Darüber hinaus bewirken auch die Zwischenfrüchte eine Verbesserung der Humusbilanz.

Unter Berücksichtigung der Gärrestrückführung verändert sich das Ergebnis enorm. Die Kleegras-Fruchtfolge 4 verbessert sich dadurch noch weiter, aber auch alle übrigen Fruchtfolgen erreichen einen positiven Humussaldo mit Ausnahme der Fruchtfolge 8. Hier schlägt die nicht nachvollziehbare Einstufung des Maises bei schwachen Erträgen, wie es 2005 in dieser Fruchtfolge der Fall war, zu Buche. Überraschenderweise ist auch die maisdominierte Variante 6 im positiven Bereich, weil aufgrund hoher Erträge der Mais scheinbar einen Beitrag zur Humusmehrung leisten kann; zusätzlich unterstützt der positive Saldo des Grünschnittroggens das Ergebnis dieser Fruchtfolge.

Bei der Bilanzierung der Anlage I in ***Gülzow*** ist nach dieser Berechnung das in der Fachwelt stark diskutierte Problem einer stärkeren Humuszehrung von Energiefruchtfolgen scheinbar nicht nachvollziehbar. Im Gegenteil, durch Gärrestausbringung würden sich alle Fruchtfolgen, außer die Fruchtfolge 1, in der Gruppe E etablieren. Laut VDLUFA wäre in dieser Gruppierung ein erhöhtes Risiko für Stickstoff-Verluste und eine niedrige N-Effizienz zu erwarten. Dies kann allerdings nicht das gewünschte Ziel einer nachhaltigen Landbewirtschaftung sein. Die hier theoretisch mögliche Gärrestausbringung muss an die in der Düngeverordnung empfohlene Menge von maximal 170 kg N_{Gesamt}/ha*a auf Ackerland angepasst werden. Die Bilanzierung zeigt, dass auf dem Gebiet der Bewertung der Fruchtfolgen unbedingt noch Handlungsbedarf besteht. Die Berechnungsgrundlagen und angenommenen Berechnungswerte sollten nochmals überdacht und eventuell verbessert werden.

Mit der Bilanzierung nach der CC-Verordnung werden in ***Güterfelde*** für das Luzerne- und Kleegras die höchsten Humussalden ausgewiesen. Eine positive Bilanzierung ergibt sich weiterhin für Mischungen mit großkörnigen Leguminosen bzw. dem Zwischenfruchtanbau sowie für die Fruchtarten mit Kornnutzung unter der Voraussetzung, dass das Stroh im System verbleibt. Negative Bilanzen ergeben sich für die Pflanzenarten zur Gärsubstratbereit-

stellung, wenn keine Gärreste auf die Fläche ausgebracht werden. Mit einer Gärrestdüngung verbessern sich die Humussalden generell. Auch wenn eine Gärrestdüngung vorgenommen wird, ist Mais aus Sicht der Humusbilanz als schlechteste Fruchtart mit negativen Salden zu bewerten, gefolgt von Sommer- und Wintergetreide sowie Sonnenblumen für die Ganzpflanzennutzung. Aus den getroffenen Aussagen ergibt sich für Fruchtfolge 4 (Kleegrasanbau) der höchste Humussaldo und für die Fruchtfolge 1 mit den Humuszehrern Mais, Wintertriticale-Ganzpflanze und Sorghum als Sommerzwischenfrucht der schlechteste Humussaldo. Mit der Ausbringung von Gärresten sind nach der CC-Bilanzierung für alle Fruchtfolgen positive Salden ermittelt wurden.

Die Ergebnisse der Anlage I in ***Trossin*** verdeutlichen, dass fruchtfolgeabhängig unterschiedliche Humussalden auftreten. So ist die Fruchtfolge 1 insgesamt mit -99 kg Humus-C/ha durch einen niedrigen Humussaldo (Gruppe B) geprägt, der nur mittelfristig auf humusreichen Böden tolerierbar ist. Die hier anfallenden Gärrückstände vermögen bei gegebener Ertragslage 64 - 84% der durch Mais, Sorghumhirse und Getreideganzpflanzen abgebauten Humus-C-Mengen zu ersetzen. Einen wichtigen Beitrag zur Verbesserung der negativen Bilanz leistet in diesem Anbausystem der Ölrettich als Gründüngung. In den Fruchtfolgen 2 und 3, die einen hohen kumulativen Trockenmasseertrag erzielten, fallen größere Mengen an Gärrückständen an. Sie führen bei der Mehrheit der angebauten Kulturen zu hohen bis sehr hohen Humussalden. Sie stellen Luxusbilanzen dar, die nur mittelfristig akzeptabel sind bzw. mit Salden > 300 kg Humus-C ein erhöhtes Risiko für Stickstoffverluste und niedrige N-Effizienz in sich bergen. In diesen Fruchtfolgen müsste deshalb der hohe Gärresteinsatz zu Sudangras und Mais reduziert werden.

Der mehrjährige Luzerne-Kleegras-Anbau in Fruchtfolge 4 ist in der Lage, einen sehr hohen Humus-C-Gewinn zu realisieren. Derartige Systeme sind deshalb besonders für sehr humusarme Böden oder Standorte mit hohem negativen Saldo (Versorgungsgruppe A) zu empfehlen.

Bezogen auf die angebauten Energiepflanzen ist in Fruchtfolge 5 eine negative Humusbilanz zu verzeichnen. Hier ist zu beachten, dass in dieser Bilanz von den angebauten Marktfrüchten (Raps, Wintertriticale) nur das Rapsstroh als Humusquelle berücksichtigt wurde. Gleichwohl unterstreichen die Ergebnisse, dass in kombinierten Energie-/Marktfruchtfolgen das Stroh als Humus-C-Quelle im System verbleiben muss, um ausgeglichene Bilanzen zu gestalten. In den regionalspezifischen Fruchtfolgen 6 und 8 wurden positive Humussalden ermittelt, die vor allem dem Anbau von Landsberger Gemenge mit stark positivem Saldo (FF 6) und dem hohen Anteil Gründüngungspflanzen (FF 8) geschuldet sind.

Die Berechnung der Humusbilanz für den Standort ***Dornburg*** ergab für den Fall ohne Rückführung von Gärresten, außer bei Fruchtfolge 2 (D-hoch), für alle Fruchtfolgen einen negati-

ven Saldo. Der hohe Saldo in Fruchtfolge 2 ist auf den hohen Stroheintrag von Wintertriticale und Winterweizen zurückzuführen. Beim dreijährigen Topinamburanbau wurde ein sehr niedriger Saldo ermittelt, somit ist mit einer ungünstigen Beeinflussung der Bodenfunktion und Ertragsleistung zu rechnen. Die übrigen Fruchtfolgen weisen einen niedrigen Saldo (B) auf.
Mit der Rückführung von Gärresten ergibt sich jedoch für alle Fruchtfolgen ein positiver Saldo. Die Fruchtfolgen befinden sich alle in der Gruppe D, wobei die Fruchtfolge 2 den höchsten Saldo erreichte, dicht gefolgt von den Fruchtfolgen 3, 4 und 5.
Unter der Annahme der 100 % igen Rückführung von Gärresten wird für ***Ascha*** deutlich, dass alle Fruchtfolgen der ersten Anlage eine positive Humusbilanz aufweisen. Vor allem in Fruchtfolge 4 (mehrjähriger Kleegrasanbau) wird eine Humusüberversorgung über die gesamte Fruchtfolge erzielt (713 kg Humus-C/ha/Jahr). Auch ohne die Rückführung von Gärresten konnte hier ein Plus von 370 kg Humus-C/ha ermittelt werden. An dieser Stelle scheint es sinnvoll, humuszehrende Fruchtarten in die Fruchtfolge zu integrieren. Auch die ertragsstarke Fruchtfolge 3 wies aufgrund der relativ geringen Humuszehrung und des großen Gärrestanfalls einen sehr positiven Saldo auf. Jedoch müssen die Annahmen, unter welchen die Humusbilanz berechnet wurde, kritisch betrachtet werden. So bestehen hinsichtlich der Kennzahlen für die fruchtartenspezifische Humuswirkung noch erhebliche Lücken in der Datenlage.
In ***Ettlingen*** zeigt sich, dass der humuszehrende Anbau von Silomais, Triticale und Sommergetreide sowie Sonnenblumen und der Anbau der Sorghum-Arten über die gesamte Fruchtfolge betrachtet nur bedingt mit dem Anbau von Getreide zur Kornnutzung und Belassen des Strohs auf dem Feld (z. B. Winterweizen) bzw. Gründüngung (Ölrettich, Erbse, Sommertriticale) ausgeglichen werden. Vor allem die maisbasierten Fruchtfolgen 7 und 8, aber auch die vorrangig Mais bzw. andere C_4-Pflanzen und GPS-Getreide enthaltenden FF 1, 3 und 6 liegen in der Gesamtübersicht stark im humuszehrenden Bereich. Den niedrigsten Humus-Saldo weisen die FF 7 und 8 auf (-780 kg/ha), wobei angemerkt werden muss, dass in FF 8 leider der Strohertrag beim Körnermaisanbau nicht festgehalten wurde. Bei einem Korn-TM-Ertrag von 84 dt TM (86%)/ha und der Annahme eines harvest index von 0.5 bzw. einem Verbleib des Strohs auf der Fläche kann das Fruchtfolgeglied Körnermaisanbau einen positiven Humussaldo von 280 kg C/ha zur Fruchtfolge beitragen. Somit würde die Humusbilanz der FF 8 -504 kg C/ha betragen, wäre damit aber immer noch im stark zehrenden Bereich. Neben dem Anbau von mehrjährigem Ackerfutter (FF 4 Luzernegras, +1211 kg C/ha) kann die Rückführung der Gärreste auf die Fläche einen wesentlichen Beitrag zur ausgeglichenen oder positiven Humusbilanz leisten.
Als zentrales Ergebnis bleibt festzuhalten, dass alle in diesem Versuch betrachteten Fruchtfolgen zu einer Verbesserung der Bodenstruktur beitragen können, wenn die Rückführung

der Gärreste auf die Fläche gegeben ist. Vor allem in den stark mais- bzw. C_4-Planzenbasierten FF 1, 3, 7 und 8, die kein Fruchtfolgeglied zur Kornnutzung und somit keine auf dem Feld verbleibenden Nebenprodukte beinhalten, ist die Gärrestrückführung notwendig um eine ausgeglichene Humusbilanz über die Anbaujahre erzielen zu können. Diese Aussage gewinnt an Bedeutung, wenn keine Gärreste anfallen z. B. bei der Verwendung der Biomasse für die BTL-Erzeugung.

Fazit:

Energiefruchtfolgen mit vorwiegender Ganzpflanzennutzung (Mais, Sorghum, Ganzpflanzengetreide) sind als stark humuszehrende Anbausysteme einzustufen. Für eine optimale Humusbilanz ist ein ausreichender Einsatz organischer Dünger erforderlich, um die Fruchtbarkeit und Ertragsleistung des Bodens langfristig zu erhalten. Hierfür bietet sich in Fruchtfolgen mit dem Ziel Biogassubstrate zu erzeugen, die Rückführung von Gärresten an. Anhand der berechneten Humusbilanzen konnte gezeigt werden, dass die Gärrestrückführung wesentlich zur Schließung von Humusdefiziten beitragen kann.

Der gewählte methodische Ansatz ist jedoch kritisch zu betrachten:

So bestehen hinsichtlich der Kennzahlen für die fruchtartenspezifische Humuswirkung erhebliche Lücken in der Datenlage, die einerseits durch die veränderte Nutzung von Fruchtarten (Ganzpflanzengetreide statt Kornnutzung) und andererseits durch die Einführung neuer Kulturen bedingt ist.

So wurde der Grünschnittroggen, obwohl eine Beerntung stattfand, als Winterzwischenfrucht betrachtet und fließt mit einer Reproduktionsleistung von +120 kg Humus-C/ha in die Bewertung ein.

Das Wintergetreide, welches als Ganzpflanze geerntet wurde, wird wie bei der Kornnutzung mit -280 kg Humus-C/ha angesetzt. Für Sorghum wurde ebenfalls dieser Wert herangezogen.

Bei der Humusreproduktionsleistung von Stroh bleibt die Pflanzenart unberücksichtigt, wobei davon auszugehen ist, dass die Reproduktionsleistung von Rapsstroh überschätzt wurde.

Standortbedingungen, Bodenbearbeitung und vor allem Erträge werden unzureichend berücksichtigt.

Eine weitere Unschärfe stellt der geschätzte Gärrestanfall dar, da einerseits recht hohe Erträge in die Berechnung einfließen und andererseits die Biogasausbeuten eventuell zu niedrig eingestuft wurden. Die Berechnung erfolgte über die Verdaulichkeit nach DLG-Futterwerttabelle und spiegelt nicht die tatsächliche Abbaurate in der Biogasanlage wider.

3.4 Theoretischer Biogas- und Methangasertrag

Neben den Biomasseerträgen stellen die potenziellen Methan-Erträge ein wichtiges Instrument dar, die Effizienz einzelner Fruchtfolgen bzw. Fruchtfolgeglieder und somit deren relative Vorzüglichkeit am Standort bewerten zu können. Die Berechnung des Methanertrages der einzelnen Fruchtarten bildet die Grundlage für die kumulierte Betrachtung der Methanerträge der einzelnen Fruchtfolgen. Wobei das Verhältnis von Fruchtarten zur Biogasnutzung und Kornnutzung in den einzelnen Fruchtfolgen zu beachten ist.

Am Standort ***Werlte*** konnten mit den Energiefruchtfolgen 3 und 6[13] die höchsten Methanerträge (11.793 m³/ha und 17.102 m³/ha) erreicht werden, dicht gefolgt von den Fruchtfolgen 4, 2 und 1 (9006 m³/ha, 8856 m³/ha, 8315 m³/ha). In ***Gülzow*** wurde mit den reinen Energiefruchtfolgen 1 und 3 der höchste Methanertrag erreicht, dicht gefolgt von der Fruchtfolge 7[14] und 2. Es konnten Methanerträge zwischen 9.019 und 14.899 m³/ha erreicht werden. Für die Fruchtfolgen in ***Güterfelde*** ergaben sich Methanerträge von 3000 bis 9100 m³/ha (AI) bzw. 2900 bis 10.000 m³/ha (AII). In den Fruchtfolgen mit Ganzpflanzen- und Kornnutzung sind die geringeren Methanerträge durch die Nutzung von je einem Fruchtfolgeglied als Marktfrucht begründet. Die Fruchtfolgen 1 und 3 mit den Fruchtarten Mais und Sudangras in Haupt- und Zweitfruchtstellung, Grünschnittroggen und Wintergetreide als Ganzpflanze ergeben die höchsten Gesamtmethanerträge. Fruchtfolge 4 mit Luzernegras hatte vergleichbare Erträge, wobei die Topinamburkrautnutzung (FF 8) im Fruchtfolgevergleich die geringsten Methanerträge mit ca. 40 bis 60 % der Fruchtfolgen 1 bzw. 3 erbrachte. Die ertragsstarken Fruchtfolgen 3 und 7[15] (AI) erreichten in ***Trossin*** die höchsten kumulativen Methanerträge bis 12.000 m³/ha. Die Fruchtfolgeleistung wird wesentlich durch den Maisanbau bestimmt. Die Fruchtfolgen 1 und 2 weisen ebenfalls ein hohes Leistungsvermögen (ca. 7200 bis 7400 m³/ha) auf, welches durch den Anbau von Mais und Sorghum beeinflusst wird. Im mittleren Leistungsbereich liegen die Fruchtfolgen 4, 6 und 8 mit 5000 bis 6000 m³/ha. Die Fruchtfolge 5 verdeutlicht, dass die Integrierung leistungsschwächerer Energiepflanzen (Hafer, Wintertriticale als Ganzpflanze) in Fruchtfolgen zur Nahrungsmittelproduktion zu einem geringeren Gasertrag führt. In ***Dornburg*** wurde der höchste Methanertrag mit den Fruchtfolgen 1, 3 und 7 erreicht, welche wesentlich durch den Maisanbau bestimmt wird (11.700 bis 14.900 m³/ha). Auch mit den Fruchtfolgen 2 und 8[16] konnten hohe Methanerträge erwirtschaftet werden. Die Fruchtfolgen 4, 5 und 6 erzielten die geringsten Methanerträge, was auf die Integrierung von Marktfrüchten in der Fruchtfolge 5 und 6 zurückzuführen ist bzw. in Fruchtfolge 4 auf die geringen Erträge des Luzernegrases. Am Standort ***Ascha*** konnte in beiden Anlagen mit den

[13] E-Mais/Grünschnittroggen/E-Mais (ZF)/Grünschnittroggen/E-Mais (ZF)
[14] E-Mais/Grünschnittroggen/Ackergras/Ackergras
[15] Mais/Grünschnittroggen/Zuckerhirse/Kartoffel (Knolle)
[16] Topinamburkraut/Topinamburkraut/Topinamburkraut und -knolle

Fruchtfolgen 3 und 6[17] der höchste Methanerträge erreicht werden (AI FF 3 15.130 m³/ha/ FF 6 13.945 m³/ha; AII FF 3 14.826 m³/ha/ FF 6 18.612 m³/ha), dicht gefolgt von der Fruchtfolge 1 und 2. Bei der Fruchtfolge 6 erfolgte der Anbau von Mais kombiniert mit Grünschnittroggen und Sudangras.

In ***Ettlingen*** wurde in der ersten Anlage mit den ertragsstarken Fruchtfolgen 7 bis 9[18] die höchsten Methanerträge erreicht (16.00 m³, 14.400 m³, 14.000 m³). Die Fruchtfolgen 1, 3 und 6 erreichten Methanerträge von 12.250 m³/ha, wohingegen die Methanerträge der Fruchtfolge 4 und der getreidebetonten Fruchtfolgen 2 und 5 nicht in dem Maße mit den übrigen Fruchtfolgen konkurrieren konnten.

3.5 Anbauempfehlungen für die Regionen

Der Standort ***Werlte*** soll im Verbundprojekt die ***Futterbau-Veredlungsregion*** widerspiegeln. Für den niedersächsischen Standort lässt sich allgemein sagen, dass die Witterungseinflüsse maßgeblich das Ertragsverhalten einzelner Kulturen beeinflusst haben. In der ersten Anlage wurden kumulierte Erträge zwischen 240 und 586 dt TM/ha erzielt, wobei sich hier die Fruchtfolgen 6, 3, 2 und 4 als ertragsstärkste Fruchtfolgen herausstellten. Im Folgejahr ist ein ähnliches Bild zu erkennen, wobei hier auch die Fruchtfolge 1 gute Erträge erzielte. Für den Standort Werlte kann festgehalten werden, dass die Sommergerste im Vergleich zu Wintergetreide wirtschaftlich nicht von Interesse ist. Mit Sorghum konnten keine repräsentativen Erträge aufgrund fehlender Erfahrungen im Pflanzenschutz erzielt werden. Der Vergleich der Fruchtfolgen 2 und 3 zeigt, dass das Sudangras in Zweitfruchtstellung nach Grünschnittroggen deutlich schlechter abschneidet als der Mais in Zweitfruchtstellung. Auch in der Fruchtfolge 6 wurden mit Mais in Zweitfruchtstellung hohe Erträge erzielt. Insgesamt betrachtet konnte die Fruchtfolge als ertragsstärkste für den Standort herausgestellt werden.

Der Anbau des einjährigen Weidelgrases als Sommerzwischenfrucht konnte nicht kostendeckend erfolgen, da wegen der kurzen Nutzungszeit nicht genügend Ertrag erzielt wurde. Sinnvoll wäre der Anbau mehrjähriger Mischungen. Mit Hafer konnte aufgrund des ohnehin niedrigen Ertragspotenzials, mit der Nutzung als Ganzpflanze, kein konkurrenzfähiger Ertrag erzielt werden. Auch Wintertriticale (GPS) reagierte in den Anbaujahren stark mit unterschiedlichen Leistungen auf die Witterungsbedingungen. Der Winterraps erzielte wegen starkem Vogelfraß keine realistischen Erträge.

[17] Silomais/Grünschnittroggen/Silomais (ZF)/Wickroggen/Sudangras (ZF)
[18] FF 7-Sonnenblume (GPS)/Wintertriticale (WZF)/Zuckerhirse/E-Mais
FF 8-E-Mais/Grünschnittroggen/Körnermais/Mais
FF 9-Sommergerste (GPS)/Wintererbse/Grünschnittroggen/Zuckerhirse/Mais

Teilweise konnten am Standort nicht zufrieden stellende Ergebnisse erreicht werden. Die Erträge wurden extrem durch die vorherrschenden Witterungsbedingungen beeinflusst. Daraus ergibt sich, dass eine Fortführung des Versuches dringend erforderlich ist, um aussagefähigere Ergebnisse über einen längeren Untersuchungszeitraum zu erhalten.

Der Standort ***Gülzow*** steht stellvertretend im Projekt für die ***Raps-C-Weizen-Region***. Zur Absicherung der Rohstoffbereitstellung für Biogasanlagen sind in die Fruchtfolgen Mais und Hirsen zu integrieren. Die Fruchtfolgen 3, 2 und 1 sind die ertragreichsten und somit gegenüber den anderen Fruchtfolgen zu bevorzugen, allen voran die Fruchtfolge 3. In den Anbaujahren hat sich herauskristallisiert, dass Sorghum besonders bei erhöhtem Trockenheitsrisiko eine gute Alternative zum Mais ist. Frühreife Sorten könnten das Potenzial dieser Fruchtart noch verbessern, da die TS- Gehalte im Versuch immer < 25% lagen. Weiterhin ist anzumerken, dass Sorghum in Mecklenburg Vorpommern nicht für Spätsaat (Anfang Juli) geeignet ist. Der Vegetationszeitraum reicht für die Entwicklung der gewünschten Biomasse nicht mehr aus. Deshalb ist Wintertriticale als Ganzpflanze (Ernte zur Teigreife) vor Sorghum nicht empfehlenswert. Grünschnittroggen ist als Vorfrucht effektiver. Weitere ertragreiche Alternativen zum Mais in Energiefruchtfolgen sind Wintertriticale (GPS) und Ackergräsermischungen bei ausreichender Wasserversorgung. Die genannten Fruchtarten und Mischungen sind hinsichtlich des Methanertrages dem Mais ebenbürtig. Besonders die Ackergräser zeigen zusätzlich einen positiven Effekt auf die Folgefrucht. Bei Winterweizen konnten Mehrerträge von bis zu 11 % durch die Vorfrucht Kleegras erreicht werden. Aus ökonomischer Sicht sind wiederum die Energiefruchtfolgen 3 und 1 zu favorisieren. Diese können durch hohe Methanerträge eine geringe Ackerflächenbindung im Betrieb realisieren. Dadurch ist der Landwirt in der Lage, den verbleibenden Rest seiner Ackerfläche mit gewinnbringenden Marktfrüchten, wie Winterraps und Winterweizen zu bestellen. Im Bereich der Ökologie muss angemerkt werden, dass die Methode der Humusbilanzierung nochmals überdacht und verbessert werden sollte, da diese kaum die Realität widerspiegelt. Ein wichtiger Aspekt für EVA II wird es sein, die Anbaumethoden der neuen Kulturarten zu verbessern und die favorisierte Fruchtfolge 3 hinsichtlich ihrer ökologischen und ökonomischen Bewertung mit verbesserten Methoden aussagekräftiger bewerten zu können.

Der Standort ***Güterfelde*** zählt zu den trockenen ostdeutschen Diluvialstandorten und soll die ***Roggen-Kartoffel-Region*** widerspiegeln. Die Gesamterträge der neun betrachteten Fruchtfolgen variierten zwischen 270 dt TM/ha und 425 dt TM/ha (AI) bzw. 155 dt TM/ha bis 355 dt TM/ha (AII). Die Fruchtfolgen 1, 2, 3 und 9 mit Mais und Soghumgräsern in Haupt- und Zweitfruchtstellung sind auf gleich hohem Niveau einzustufen und den anderen Fruchtfolgen

überlegen. Die höchsten Gesamtmethanerträge wurden mit den Fruchtfolgen 1 und 3 erzielt. Aus der ökonomischen Betrachtung der Versuchsdaten lässt sich die Vorzüglichkeit der Fruchtarten Mais und Winterroggen für die Ganzpflanzennutzung sowie Winterrogge/-triticale für die Kornnutzung ableiten.

Der für die Silierung optimale Erntetermin (TM-Gehalt 28 bis 35 %) ist bei Mais aufgrund des bekannten Anbauverfahrens und des großen Sortenspektrums am Besten einzuhalten. Für Ganzpflanzengetreide gestaltet sich die Einhaltung des optimalen TM-Gehaltsbereiches schwierig, da der TM-Gehalt bei anhaltender Trockenheit in kürzester Zeit den Optimalbereich gravierend überschreiten kann. Als Alternative ist dann der Drusch in Betracht zu ziehen. Wintergetreide (Winterroggen) ist aufgrund der Ertragshöhe und -stabilität dem Sommergetreide vorzuziehen. Sorghumarten sind als Biogassubstrat praxisfähig und können mit Mais vergleichbare Erträge erreichen.

Die Zweikulturnutzung sollte aus Sicht der Ertragsleistung und der Ökonomie den Standorten mit besserer Bonität (AZ > 40) und sicherer Wasserversorgung vorbehalten bleiben. Einzig mit dem Anbau von Grünschnittroggen - Zweifrucht Mais oder Sorghum wurden ähnliche Erträge erreicht wie mit dem Anbau von C_4-Arten in Hauptfruchtstellung. Wobei hier hohe variable Kosten verursacht werden und der Anbauerfolg stark von der Wasserversorgung der Zweitfrucht abhängt. Ein Zweit- bzw. Zwischenfruchtanbau nach der Ganzpflanzengetreidenutzung zur Teigreife birgt gegenüber dem Zweitfruchtanbau nach Winterzwischenfrucht das höchste Risiko. Bei Trockenheit besteht die Gefahr keinen erntewürdigen Bestand zu erzielen und bei feuchter Spätsommerwitterung den erforderlichen TM-Gehalt nicht zu erreichen.

Zur Ganzpflanzenverwertung als Gärsubstrat sind die Pflanzenarten Topinambur (Kraut und Knolle), Sonnenblume, Winterraps sowie die Zwischenfrüchte Senf und Ölrettich nicht oder nur bedingt geeignet. Als Ursache sind die geringen TM-Erträg und -gehalte bzw. Probleme bei der Vergärbarkeit zu nennen.

Der Standort ***Trossin*** wurde in die Versuche einbezogen, um einen typischen D-Süd-Standort der ***Roggen-Kartoffel-Region*** zu vertreten. Anhand der Ergebnisse kann geschlussfolgert werden, dass der Anbau fünfgliedriger Fruchtfolgen zu empfehlen ist. Als ertragsstarke und ertragsstabile Energiepflanzen haben sich dabei Energiemais, Sudangras, Zuckerhirse und Kartoffeln bewährt. Sie sollten zu 30 bis maximal 60% in der Fruchtfolge berücksichtigt werden. Von ökologischem (Humushaushalt) und ökonomischem Vorteil ist dabei der Aufbau von Fruchtfolgesystemen, die sowohl leistungsstarke Energiepflanzen als auch Marktfrüchte enthalten.

Mit den leistungsfähigsten Fruchtfolgen (1, 2, 3 und 7) sind auf den leichten Böden kumulative Trockenmasseerträge von 370 - 430 dt TM/ha für die Biogasproduktion möglich. Nach

Berechnungen können durch diese Anbausysteme 9000-12000 m³ Methan/ha erzeugt werden. Die Höhe des Gesamtertrages an Trockenmasse und Methan wird dabei wesentlich durch die Fruchtfolgeglieder Mais, Sudangras, Zuckerhirse, Kartoffel und Ganzpflanzengetreide bestimmt. In Hauptfruchtstellung, aber auch in Zweitfruchtstellung, schnitt Mais in der Ertragsleistung am Besten ab, gefolgt von Sudangras und Zuckerhirse.
In Haupt- und Zweitfruchtstellung wirken die Sorghumarten unter niederschlagsarmen und warmen Witterungsbedingungen ertragsstabilisierend und minderten das Ertragsrisiko. Sie sollten deshalb in Energiefruchtfolgekonzepten auf leichten Böden in niederschlagsarmen Regionen angemessen berücksichtigt werden. Für den Zweitfruchtanbau sind auf den leichten Böden früh räumende Vorfrüchte, wie Grünschnittroggen oder Wintertriticale (früher Erntezeitpunkt) zu empfehlen. Die Luzerne-Kleegrasgeprägte Fruchtfolge 4 weist durch die mehrschnittige Nutzung hohe Kosten und einen vergleichsweise geringen Gewinn je Flächeneinheit auf. In dieser Bewertung sind allerdings Fruchtfolgevorteile, wie Düngerersparnis und Vorfruchteffekte, nicht berücksichtigt. Die Eingliederung von Luzerne-Kleegras bietet Vorteile für den Nährstoff- und Humushaushalt leichter, diluvialer Böden. Günstig ist dabei eine zweijährige Nutzung. Allerdings zeigen die Erträge eine starke Schwankungsbreite in Abhängigkeit von den jährlichen Aufwuchsbedingungen. Bei der Eingliederung von Ganzpflanzengetreide in die Energiefurchtfolgen sind winterannuellen Arten (Wintertriticale, Winterroggen) den Sommerarten (Sommerroggen, Sommertriticale, Hafer) vorzuziehen. Sie erreichen stabilere und höhere Erträge. Auf den Ertrag der Abschlusskultur Winterroggen hatte der Energiepflanzenanbau keinen Einfluss, was die Anspruchslosigkeit der Kulturen belegt. Die berechneten Humus- und Nährstoffbilanzen belegen, dass durch den Energiepflanzenanbau ein starker Abbau der bodenfruchtbarkeitsbestimmenden Parameter stattfindet. Zum notwendigen Ausgleich sind entsprechende Maßnahmen wie z.B. die Rückführung von Gärresten oder der Anbau von Zwischenfrüchten vorzunehmen.

Am Standort ***Dornburg*** wurden über den Zeitraum 2005 bis 2008 acht Fruchtfolgesysteme zur Biogasproduktion auf ihre Ertrags- und Biogasleistung untersucht. Hierbei soll der gewählte Standort die ***E-Weizen-Standorte*** der trockenen Lößackerebenen vertreten. Als ertragstarke und stabile Energiepflanzen haben sich Mais (HF/ZF), Sudangras (HF), Wintertriticale (GP), Artenmischung (GP) und Topinamburkraut bewährt. Vorteilhaft bei der Fruchtfolgegestaltung ist die Kombination von leistungsstarken Energiepflanzen und Marktfrüchten. Die Ergebnisse verdeutlichen, dass unter den Standortbedingungen die leistungsfähigsten Fruchtfolgevarianten (2, 1, 3, 8 und 7) kumulierte Trockenmasseerträge von 431 bis 522 dt TM/ha erreichten. Mit diesen Anbausystemen sind Methangaserträge von 9.100 bis 14.900 m³/ha realisierbar. Auch die Fruchtfolgestellung hat einen wesentlichen Einfluss auf den zu

erreichenden Ertrag. Der Mais in Zweitfruchtstellung erreicht in Kombination mit der WZF Futterroggen Erträge, die dem Maisertrag in Hauptfruchtstellung recht nahe kommen. Bei Sudangras in Zweitfruchtstellung konnte in Kombination mit der WZF Futterroggen der Ertrag gesteigert werden. Bei der Eingliederung von Ganzpflanzengetreide in die Energiepflanzenfruchtfolgen sind die Wintergetreidearten (Wintertriticale, Winterroggen, Artenmischung) den Sommergetreidearten (Sommergerste, Hafer) vorzuziehen.
Das Luzerne-Gras bietet für den Nährstoff- und Humushaushalt Vorteile. Günstig ist eine zweijährige Nutzung, wobei mit starken Ertragsschwankungen in Abhängigkeit von den jährlichen Aufwuchsbedingungen zu rechnen ist.
Als Zwischenfrüchte wurden Grünschnittroggen, Zuckerhirse, Ölrettich und einjähriges Weidelgras in den Fruchtfolgen angebaut. Für den Zwischenfruchtanbau sind Grünschnittroggen und zum Teil Zuckerhirse zu empfehlen. Bei der Zuckerhirse waren hohe witterungsbedingte Ertragsschwankungen zwischen den einzelnen Jahren zu beobachten.
Die Berechnung der Humus- und Nährstoffbilanz lässt erkennen, dass der Boden durch den Energiepflanzenanbau beeinflusst wird. Zur Erhaltung der Bodenfruchtbarkeit und Sicherung eines ausgeglichenen Saldos ist es angebracht die Gärreste zurückzuführen, Nebenernteprodukte teilweise auf der Fläche zu belassen bzw. Pflanzen zur Gründüngung mit in die Fruchtfolge einzubeziehen.

Die bisherigen Ergebnisse am Standort ***Ascha***, welcher die ***Ackerfutter-Wintergersten-Region der Vorgebirgslagen*** vertritt, zeigt deutlich die Überlegenheit von Mais hinsichtlich der Ertragsleistung und der Wirtschaftlichkeit. Daraus lässt sich ableiten, dass Mais auch in Zukunft eine tragende Rolle in der Fruchtfolgegestaltung im Energiepflanzenanbau spielen wird. Der Mais in Hauptfruchtstellung (Anfang Mai gesät) hat einen deutlich höheren Deckungsbeitrag erreicht, als in Zweiftruchtstellung nach Grünschnittroggen oder zur Teigreife geernteter Winterroggen. Mais ist weiterhin die Kultur für die Biogasproduktion, jedoch sollte ein Fruchtfolgeanteil von 50 % aufgrund der starken Humuszehrung der Kultur vermieden werden. Ergänzend bietet sich hier Getreide-GPS mit Anbau einer Sommerzwischenfrucht oder die Integrierung von Futter- bzw. Brotgetreide in die Fruchtfolge an. Neben Mais liefert auch mehrjähriges Kleegras hohe und stabile Methanerträge.
Die Sorghumarten verfügen über ein hohes Biomassebildungspotenzial, jedoch erreichen die aktuell verfügbaren Sorten meist keinen ausreichenden Trockensubstanzgehalt. Bei Integrierung in die Fruchtfolgen sollte dann auf frühreife Sorten zurückgegriffen werden.
Bei einem Vergleich der Fruchtfolgen fallen große Unterschiede in der Ertragsleistung auf. Die Fruchtfolgen mit einem hohen C_4-Pflanzenanteil (Mais und Sorghumhybriden) erreichen die höchsten Trockenmasseerträge. Auch dreimal geschnittenes Kleegras lieferte gute Er-

träge. Bei den Getreidearten zur Ganzpflanzennutzung zeigte der spät geerntete Wickroggen neben Wintertriticale und Winterweizen sehr gute Trockenmasseerträge. Die Winterzwischenfrucht Grünschnittroggen blieb hinter diesen Erträgen aufgrund der ca. 3 bis 4 Wochen früheren Ernte zurück. Als früh räumende Erstkultur vor Mais erreichte er jedoch zeitig ausreichende Trockensubstanzgehalte und ist hier anderen Kulturen überlegen. Die Sommergetreide lieferten nur bescheidene Erträge.
Die Zweikulturnutzung Winterroggen-Mais erzielte etwas höhere Trockenmasseerträge als die Hauptfruchtnutzung Mais. Jedoch wird deutlich, dass eine Saatverzögerung der Zweitkulturen Mais und Sorghum hohe Ertragseinbußen zur Folge hat, welche auf einer nicht vollständig ablaufenden Bestandesentwicklung beruhen.

Bei Betrachtung der vorliegenden Erträge (sowohl Biomasse- als auch Energieerträge) am Standort ***Ettlingen*** kann für die Anbauregion ***„Körnermais-Sonnenblumen“*** festgehalten werden, dass sich in dieser Lage der Anbau von C_4-Pflanzen aufgrund der nahezu optimalen Anbaubedingungen, mit warmen und langen Sommern bei gleichzeitig guter Wasserversorgung (hoher nutzbarer Feldkapazität des Bodens), am ertragreichsten darstellt. Fruchtfolgen, die einen hohen Anteil an Mais bzw. Sorghum besitzen, können in Kombination mit einem vorhergehenden Anbau von Wintergetreide zur GPS-Nutzung die höchsten Erträge realisieren. Die Ergebnisse zur ökonomischen Betrachtung weisen darüber hinaus die positiven ökonomischen Effekte des Silomais-Anbaus nach, wobei Abstriche hinsichtlich der anderen C_4-Arten und der Wintergetreide-GPS-Nutzung gemacht werden müssen.
Da jedoch nach Cross-Compliance Vorschriften der Humusgehalt im 3-jährigen Mittel mindestens ausgeglichen sein muss, kann zumindest der alleinige Anbau von Silomais (bzw. C_4-Arten und GPS-Getreide) zur Energienutzung unter diesen Vorgaben nicht als positiv gewertet werden. Eine Rückführung des Kohlenstoffs in Form von Gärresten ist unabdingbar, jedoch fehlen bis zum momentanen Zeitpunkt verlässliche Daten, die dieses Szenario widerspiegeln. Wenn die Annahmen zur Humusbilanzierung weiterhin bestätigt werden, kann mit der Rückführung von Gärresten eine ausgeglichene Humusbilanz in allen hier betrachteten Fruchtfolgen eingehalten werden. In klimatisch begünstigten Regionen stellt sich somit der nachhaltige Anbau von maisbetont Fruchtfolgen als empfehlenswert heraus.

4 Weiterführende Anbauversuche

Zusätzlich wurden in das Verbundprojekt verschiedene Anbaukonzepte integriert. Unter anderem die Minimalbodenbearbeitung, um Kosten zu reduzieren, den Boden zu schonen bzw. um aufzuzeigen, wie sich der Energiepflanzenanbau auf die Krankheitsentwicklung und Unkrautentwicklung auswirkt (Standort Dornburg, Thüringen). Mit den Versuchen zur Reduzierung von Düngungs- und Pflanzenschutzmaßnahmen in drei Intensitätsstufen soll ein Beitrag zum effizienten Einsatz der Produktionsmitteln geleistet werden (Standort Ascha, Bayern). Die Variierung der Erntezeitpunkte am Standort Güterfelde (Brandenburg) soll es ermöglichen, diesen im Hinblick auf die Silierbarkeit, Inhaltsstoffe und Biogasausbeute zu präzisieren. Des Weiteren wurden in Brandenburg und Bayern Versuche zum Mischfruchtanbau vorgenommen mit dem Ziel, an weniger ertragreichen Standorten stabilere Erträge im Vergleich zu Reinsaaten zu erreichen. Um die Eignung mehrschnittiger Ackerfutterpflanzen für die energetische Nutzung unter unterschiedlichen regionalen Bedingungen zu ermitteln, wurde in Brandenburg, Thüringen und Niedersachsen eine umfangreiche Versuchsreihe angelegt.

4.1 Einfluss der Bodenbearbeitung auf den Ertrag der einzelnen Fruchtfolgen

Die Bodenbearbeitung hat in der Landwirtschaft verschiedene Aufgaben zu erfüllen, so soll die Bodenstruktur erhalten oder möglichst verbessert werden und die Einarbeitung von Ernte- und Wurzelrückständen erfolgen. In den letzten Jahren ist ein Wandel in der Bodenbearbeitung zu erkennen. Immer mehr Flächen wurden nicht mehr gepflügt, das heißt, es erfolgte ein Übergang von der klassischen wendenden hin zur konservierenden Bodenbearbeitung. Grundgedanken sind dabei die Reduzierung der Bodenbearbeitung in Art, Tiefe und Häufigkeit sowie das möglichst oberflächennahe Belassen der Ernte- und Wurzelrückstande (SOMMER und KLOEPFER, 1999). An dieser Stelle eröffnet sich die Frage, inwiefern mit verschiedenen Bodenbearbeitungsvarianten der Ertrag von Energiepflanzenfruchtfolgen beeinflusst wird bzw. ob mit Auswirkungen auf den Humus-, Nährstoff- und Wasserhaushalt zu rechnen ist. Hierfür wurde in dem 2005 angelegten Fruchtfolgeversuch die Bodenbearbeitung als Prüffaktor mit einbezogen. Es wird eine vergleichende Betrachtung von konventioneller Bodenbearbeitung zur Minimalbodenbearbeitung vorgenommen. Der Versuch wurde als zweifaktorielle Spaltanlage angelegt, wobei die Bodenbearbeitung den größten Flächenanspruch hat. Bei der konventionellen Bodenbearbeitung kam im Herbst der Pflug zum Einsatz. Bei der Minimalbodenbearbeitung wurde nur die Kurzscheibenegge in mehreren Arbeitsgängen eingesetzt bzw. die Kreiselegge zur Saatbettbereitung.

Die dargestellten Ergebnisse beziehen sich auf den Versuchszeitraum 2005 - 2008, wobei die Winterweizenerträge gesondert betrachtet werden, um eventuell auftretende Fruchtfolgeeffekte besser bewerten zu können.

Gesamterträge der Fruchtfolgen

In den Abbildung 14 und 15 sind die Trockenmasseerträge der Fruchtfolgen bei konventioneller Bodenbearbeitung und minimaler Bodenbearbeitung vergleichend dargestellt. Den höchsten Gesamttrockenmasseertrag über die Versuchsjahre erreichte Fruchtfolge 7 (522 dt TM/ha vs. 534 dt TM/ha), dicht gefolgt von der Fruchtfolge 3 mit 488 dt TM/ha bzw. 483 dt TM/ha. Wird bei Topinambur (FF 8) nur die oberirdische Biomasse betrachtet, so erreichte dieser einen Gesamtertrag von 473 dt TM/ha und lag knapp hinter der Fruchtfolge 3. Bei den Fruchtfolgen 1 und 2 lag der Energiepflanzenanteil bei 67 % bzw. 60 %. Mit der Fruchtfolge 1 wurde ein Gesamtertrag von 450 dt TM/ha bzw. 484 dt TM/ha erzielt, wohingegen die Erträge der Fruchtfolge 2 bei 431 dt TM/ha bzw. 420 dt TM/ha lagen. Deutlich geringere Erträge erreichten die Fruchtfolgen 5 und 6 mit 264 dt TM/ha und 241 dt TM/ha. Bei den beiden Fruchtfolgen handelte es sich um Getreide-Raps-Fruchtfolgen, wohingegen in den Fruchtfolgen 1, 2 und 3 C_3- und C_4-Pflanzen mit unterschiedlichen Anteilen kombiniert wurden.

Der Vergleich der Fruchtfolgen innerhalb der Bodenbearbeitungsvarianten verdeutlicht, dass sich bei der konventionellen Bodenbearbeitung die Fruchtfolgen 4, 5 und 6 nicht signifikant voneinander unterschieden. Alle anderen Fruchtfolgen lagen im Ertrag deutlich darüber. Bei der Minimalbodenbearbeitungsvariante hatten die Fruchtfolgen 5 und 6 ebenfalls die gleichen Erträge.

Die vergleichende Betrachtung der Bodenbearbeitungsvarianten ergab, dass sich die Erträge der Fruchtfolgen bei konventioneller Bodenbearbeitung nicht signifikant von der Minimalbodenbearbeitungsvariante abheben. Für die Praxis kann daraus die Schlussfolgerung gezogen werden, dass im Energiepflanzenanbau mit einer Minimalbodenbearbeitung Kosten gespart werden können und das Verfahren an Effizienz gewinnt.

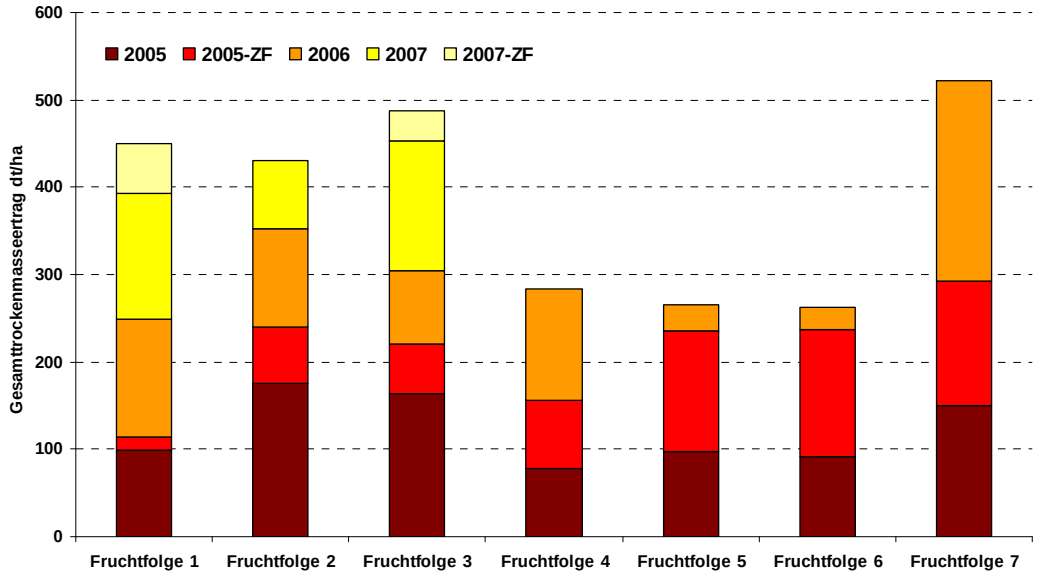


Abbildung 14: Kumulierte Erträge der einzelnen Fruchtfolgen bei konventioneller Bodenbearbeitung, Anlage I.

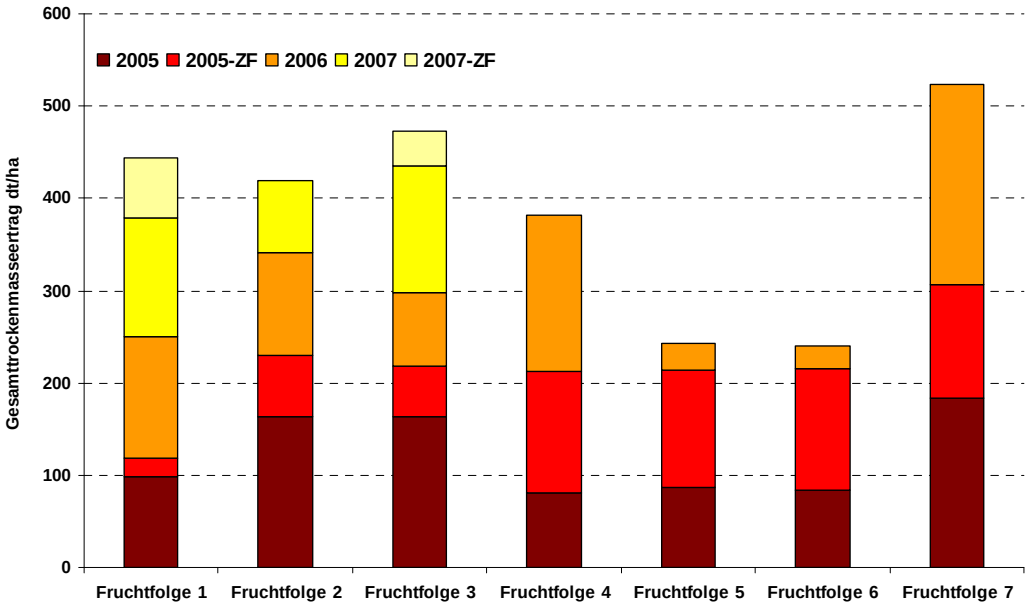


Abbildung 15: Kumulierte Erträge der einzelnen Fruchtfolgen bei Minimalbodenbearbeitung, Anlage I.

Winterweizenerträge

In Abbildung 16 ist der Kornertrag von Winterweizen gegliedert, nach den Fruchtfolgen und Bodenbearbeitungsvarianten, dargestellt (umgerechnet auf 14 % Feuchte). Es wird ein deutlicher Einfluss der Vorfrucht auf den Weizenertrag ersichtlich. In den Fruchtfolgen 5, 6 und 7 wurde bei konventioneller Bodenbearbeitung ein durchschnittlicher Ertrag von 114 dt/ha erzielt, dicht gefolgt von der Fruchtfolge 3 mit 102 dt/ha und der Fruchtfolge 8 mit 100 dt/ha. In der Fruchtfolge 8 wurde trotz des hohen Durchwuchses an Topinambur ein für den Standort repräsentativer Ertrag erreicht. Deutlich niedriger sind die Erträge bei den Fruchtfolgen 1, 2 und 4 ausgefallen. Im Durchschnitt wurde hier ein Ertrag von 84dt/ha erzielt. Die Bestände sind schneller abgereift und in der Fruchtfolge 2 ist davon auszugehen, dass von Wintertriticale (Korn) als Vorfrucht eine Krankheitsübertragung auf den Weizen stattgefunden hat (Ährenfusarium). Des Weiteren ist anzumerken, dass sich in der Fruchtfolge 4 (Minimalbodenbearbeitung) das Luzernegras besser etablieren konnte und somit im Vergleich zum Pflug eine bessere Vorfruchtwirkung zu erkennen war. Bei der Minimalbodenbearbeitung wurden insgesamt betrachtet geringere Kornerträge erzielt. Besonders deutlich wird dies bei der Fruchtfolge 2 (70 dt/ha), aber auch bei den Fruchtfolgen 6 (107 dt/ha) und 7 (96 dt/ha).

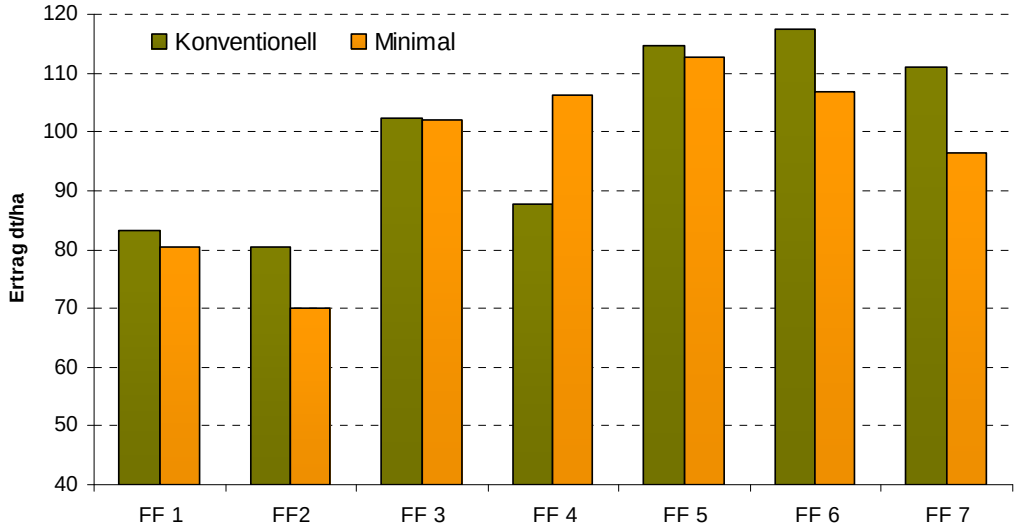


Abbildung 16: Kornertrag Winterweizen in Abhängigkeit von der Fruchtfolge und Bodenbearbeitung, Anlage I.

Neben der Ertragsermittlung spielen auch die ***Nährstoff- und Humusbilanz*** eine wesentliche Rolle im Energiepflanzenanbau. Am Standort Dornburg wurden in den vier Versuchsjahren standortspezifische Erträge erreicht. Die Stickstoffdüngung erfolgte nach Entzug unter

Berücksichtigung der SBA-Methode. Topinambur war die einzige Fruchtart, bei der der N-Sollwert zu niedrig angesetzt wurde.
Zu Beginn des Versuches (2005) wurden in allen Prüfgliedern für Phosphor die Gehaltsklasse D ermittelt. Somit lag ein hoher Gehalt an pflanzenverfügbarem Phosphor im Boden vor. Bei den meisten Prüfgliedern blieb die Gehaltsklasse trotz der negativen Salden weitgehend unverändert. Insgesamt sind abnehmende P-Gehalte im Boden zu beobachten.
Auch bei Kalium wurde zu Versuchsbeginn die Gehaltsklasse D ermittelt. In allen Fruchtfolgen waren die K-Salden negativ, so dass im Versuchsjahr 2007 eine Düngung nach Entzug erfolgte. Bei Topinambur ging der K-Gehalt soweit zurück, dass dort die Gehaltsklasse B vorlag. Insgesamt konnte festgestellt werden, dass der K-Entzug von Topinambur und Luzernegras unterschätzt wurde. Bei den in Gehaltsklasse C befindlichen Prüfgliedern erfolgt zukünftig eine Düngung nach Entzug.

Bei der Berechung der ***Humusbilanz*** wurde unterstellt, dass der Ölrettich als Gründüngung auf der Fläche verbleibt und das Stroh zur Humusreproduktion herangezogen wird. Die Berechnung der Humusbilanz erfolgte nach Cross-Compliance in Zusammenarbeit mit dem ZALF Müncheberg[19]. Werden keine Gärreste auf die Fläche zurückgeführt, sind außer bei Fruchtfolge 2 und 4 (konventionelle Bodenbearbeitung) alle Salden negativ. Der hohe Saldo in Fruchtfolge 2 ist auf den hohen Strohertrag von Wintertriticale und Winterweizen zurückzuführen. Für den Fall der Rückführung von Gärresten ergibt sich für alle Fruchtfolgen ein positiver Saldo, wobei die Fruchtfolge 2 den höchsten Saldo erreichte, dicht gefolgt von 3, 4 und 5.

4.2 Reduzierung von Pflanzenschutzmitteln und Düngung (Dr. Kathrin Deiglmayer, TFZ Straubing)

Mit dem Satellitenversuch zur Faktorminimierung soll geklärt werden, inwieweit bei einem reduzierten Faktoreinsatz mit wirtschaftlichen und ökologischen Vorteilen gerechnet werden kann. Es ist jedoch anzunehmen, dass die Minimierung der Produktionsfaktoren mittel- bzw. langfristig eine Abnahme des pflanzenverfügbaren Stickstoffs im Boden und eine Steigerung des Unkrautsamenpotenzials zur Folge hat, welche bei der Produktion von Marktfrüchten zu Problemen führen könnten. Im Folgenden werden die Ergebnisse vom Standort vorgestellt Der komplette Bericht befindet sich im Anhang 3.

[19] ZALF Müncheberg, ökologische Begleitforschung, siehe auch Abschlussbericht Teilprojekt 2

Die Düngungs- und Pflanzenschutzversuche am Standort sollen zeigen, wie sich die reduzierte Stickstoffdüngung und der Verzicht von Herbiziden auf den Trockenmasseertrag der Fruchtfolgen 3[20], 6[21] und 8[22] auswirkt. Hierfür wurden die Fruchtfolgen mit einer dreifachen Parzellenzahl im Fruchtfolgeversuch angelegt. Die Fruchtfolge 3 betrachtet vorwiegend die Produktion von Biomasse zur energetischen Nutzung, wohingegen in den Fruchtfolgen 6 und 8 die Energiepflanzenproduktion mit der Futter- und Marktfruchterzeugung verbunden wurde. Im Versuch wurde mit folgenden Intensitätsstufen gearbeitet:

Variante	**Grundversuch**	**Minimierung 1**	**Minimierung 2**
Intensität	ortsüblich optimal	-30 kg N/ha je Kultur	-30 kg N/ha je Kultur, ohne PSM

Anhand der Fruchtfolgeerträge der ersten Anlage (AI, 2005) wird ersichtlich, dass in der Fruchtfolge 3 in beiden Minimierungsvarianten die reduzierte Stickstoffdüngung Ertragseinbußen von 11 % zur Folge hatte. In der Fruchtfolge 6 konnte ein ähnlicher Minderertrag beobachtet werden, jedoch wirkte sich der Verzicht von Herbiziden noch deutlicher auf den Ertrag aus. Hier traten Ertragseinbußen von 139 dt TM/ha (23 %) auf. Bei der Fruchtfolge 8 stellten sich keine signifikanten Mindererträge heraus, da hier die Marktfrüchte Kartoffel und Winterweizen von der Faktorreduzierung ausgeschlossen waren (Abbildung 17).

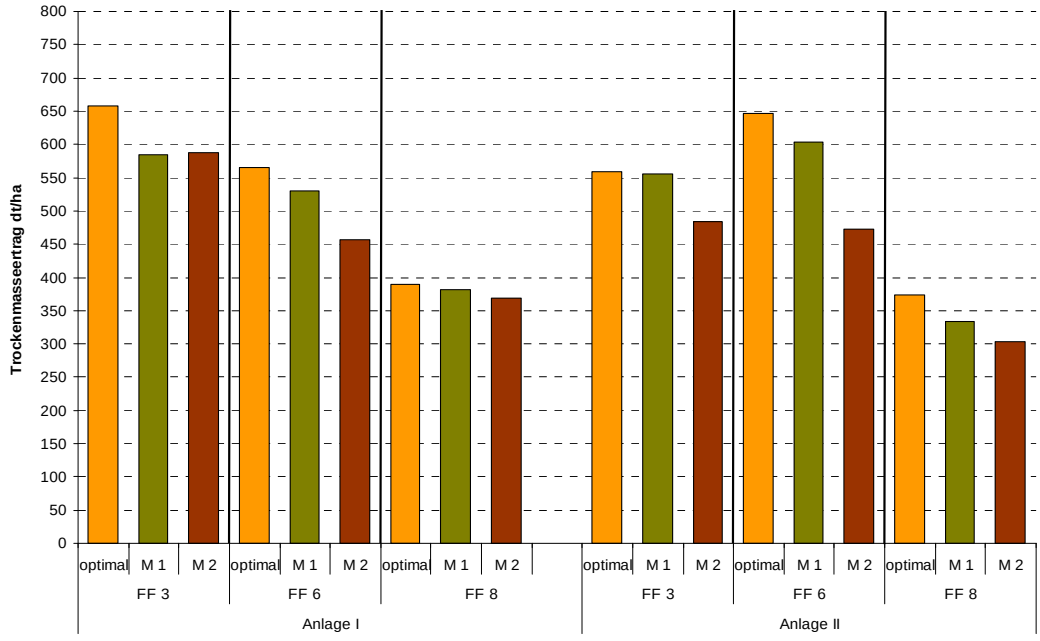


Abbildung 17: Kumulierte Erträge der Fruchtfolgen 3, 6, 8 im Versuch Faktorminimierung, Zeitraum 2005 - 2008, M1= -30 kg N/ha, M2=-30 kg N/ha ohne Herbizid.

[20] Mais/ WZF Futterroggen/Sudangras/Wintertriticale (GPS)/einj. Weidelgras
[21] Silomais/Futterroggen/Silomais/Wickroggen/Sudangras
[22] Körnermais/Welsches Weidelgras/Kartoffel/Winterweizen (GPS)/Erbse

In der zweiten Anlage (AII, 2006) werden die Effekte durch den Verzicht von Pflanzenschutzmitteln sehr deutlich. Bereits der Mais als erstes Fruchtfolgeglied weißt hohe Ertragseinbußen auf. So reduzierte sich der Gesamtertrag der Fruchtfolge 3 um 74 dt TM/ha. In der Fruchtfolge 6 betrugen die Ertragsausfälle in der zweiten Minimierungsstufe 175 dt TM/ha. Mais und Sudangras wiesen bei dem auftretenden hohen Unkrautdruck keine ausreichende Konkurrenzkraft auf. Durch die reduzierte Stickstoffdünung in der Fruchtfolge 6 ging der Ertrag um 42 dt TM/ha zurück. Die Fruchtfolgen 3 und 8 zeigten sich jedoch unbeeinflusst von der reduzierten Stickstoffdüngung. In der Fruchtfolge 8 trat aufgrund des fehlenden Herbizideinsatzes nahezu ein Totalverlust bei Körnermais auf, jedoch konnte keine Auswirkung des hohen Unkrautdruckes auf die Folgekulturen Welsches Weidelgras und Kartoffel beobachtet werden.
Abgeschlossen wurden die Fruchtfolgen der ersten Anlage mit Winterweizen als Marktfrucht, wobei hier alle Varianten optimal behandelt wurden. Anhand der Erträge ist eine Folgewirkung der reduzierten Stickstoffdüngung zu erkennen. In der Minimierungsvariante -30 kg N/ha ohne Herbizideinsatz traten in der Fruchtfolge 3 und 6 Mindererträge von 7 bzw. 6 dt TM/ha auf.

Fazit:
In den Fruchtfolgen wurde die Produktionsintensität der Stickstoffdünung und des Pflanzenschutzmitteleinsatzes reduziert. In der Tendenz konnte herausgestellt werden, dass ein reduzierter Faktoreinsatz möglich ist. Bis auf Mais und Sudangras konnten alle Kulturen erfolgreich ohne Herbizidanwendung angebaut werden. Ganzpflanzengetreide und Weidelgras bildeten wesentlich dichtere Bestände und konnten somit die auftretenden Unkräuter besser unterdrücken.

Reduzierte Stickstoffdüngung
Durch die reduzierte Stickstoffdüngung konnten bei Wintertriticale, Winterroggen und Sudangras teilweise signifikant geringere Biomasseerträge ermittelt werden. Im Mittel aller Kulturen waren Ertragseinbußen von 7 % zu erkennen, wobei diese in den einzelnen Jahren und bei den Kulturen bis auf 17 % ansteigen können. Zu beachten ist jedoch, dass die optimal behandelte Variante in den Versuchen eher verhalten gedüngt wurde und somit ein relativ hoher negativer N-Saldo vorlag. Somit wird deutlich, dass die reduzierte Stickstoffdünung sehr schnell ertragswirksam ist.

Empfehlungen für die Praxis

Die Stickstoffdüngung sollte für die einzelnen Kulturen nach Entzug bemessen werden. Bei Mais und Sudangras wird der hohe Stickstoffbedarf nicht durch die empfohlenen Stickstoffgaben abgedeckt. Langfristig ist hier zu erwarten, dass eine Stickstoffdüngung unterhalb des Entzuges mit dem Erntegut zur Senkung der Bodenfruchtbarkeit und geringeren Erträgen führen wird.

Ebenso sollte bei Mais auf einen Herbizideinsatz nicht verzichtet werden, da durch einen geringen Energieaufwand hohe Mehrerträge abgesichert werden können. Bei Ganzpflanzengetreide kann bei entsprechender Fruchtfolgegestaltung auf einen Herbizideinsatz verzichtet werden.

4.3 Variierung der Erntezeitpunkte (Dr. Gunter Ebel, LVLF Brandenburg)

Am Standort Güterfelde wurde der Fruchtfolgeversuch zusätzlich unter dem Aspekt der Optimierung des Erntezeitpunktes betrachtet. Hierfür wurde neben dem im Projekt üblichen Standardtermin die Ernte der Fruchtarten ca. 7 bis 14 Tage früher vorgenommen.

Folgende Fragen sollten geklärt werden:

- Wann wird der optimale TS-Gehalt zur Silierung (28 - 35 %) und Optimierung der Methanausbeute erreicht?
- Wie entwickelt sich der Ertrag in Abhängigkeit von der TM-Entwicklung bei vorfristiger und Standardernte?
- Gibt es einen Einfluss des Erntezeitpunktes auf die Nachfrucht?

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 Arbeitsspitzen, kleinräumige Witterungsextreme und Handlungsflexibilität bei schwankenden Preisen für Marktfrüchte und Energiesubstrate zu berücksichtigen.

Witterungsbedingt konnten im Jahr 2007 die optimalen Trockenmassegehalte zur Ernte eher eingehalten werden als in den durch Trockenheit geprägten Jahren 2006 und 2008. Besonders für Jahre mit anhaltender Trockenheit zur Blüte und Fruchtentwicklung ist der in anderen Regionen Deutschlands ermittelte Zusammenhang zwischen Entwicklungsstadien und TM-Gehaltverlauf für Standorte mit leichten Böden in Ostdeutschland (Ackerzahlen < 35) zu präzisieren.

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, es werden jedoch mindestens 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.

Beim **Klee- bzw. Luzernegras** (Fruchtfolge 4) ist in der Summe aller vier Aufwüchse, in der Variante mit der Nutzung des 1. Aufwuchses zum Ähren-/Rispenschieben/Knospenstadium, ein deutlicher Mehrertrag gegenüber der vorfristigen Ernte auffällig. Die Ertragssteigerung zwischen dem vorfristigen Erntezeitpunkt und dem Termin der Standardernte fällt von den geprüften Pflanzenarten bei Luzernegras mit ca. 40 dt TM ha^{-1} am deutlichsten aus. Bei vorfristiger Ernte glichen die Folgeaufwüchse diesen Minderertrag nicht aus, was zu geringeren Gesamterträgen führte. Die Anzahl der genutzten Aufwüchse war in beiden Varianten identisch.

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.

Für abschließende Aussagen sind mehrjährige Ergebnisse zu den Untersuchungen zu „Erntezeitpunkten“ unter Berücksichtigung der Sortenwahl und unterschiedlicher Pflanzenschutzstrategien notwendig.

4.4 Mischfruchtanbau (Matthias Dietze, LFA Mecklenburg-Vorpommern; Dr. Kathrin Deiglmayr, Dr. Maendy Fritz, TFZ Straubing)

Mit dem Mischfruchtanbau sollen auf weniger ertragreichen Standorten bei einem niedrigen Intensitätsniveau höhere und vor allem stabilere Erträge als mit Reinsaaten erreicht werden. Begründen lässt sich dieser Effekt mit der ausgeglichenen Reaktion der Mischsaaten auf Umwelteinflüsse und der Verringerung der Einflüsse auf Schaderreger und Unkräuter. Mischkulturen bilden häufig dichtere Bestände mit etagenartigem Aufbau und erreichen somit eine gute Unkrautunterdrückung. Im Energiepflanzenanbau für die Produktion von Biogas kann jedoch generell ein höherer Unkrautbesatz toleriert werden, da die hoch wachsenden Unkräuter zusammen mit der früh geernteten GPS geräumt werden, bevor sie die Samenreife erlangen. Demzufolge dürfte der Mischfruchtanbau besonders für den ökologischen Landbau und trockene Sandböden („Grenzstandorte“) geeignet sein. In Mecklenburg-

Vorpommern werden ca. 27 % der Ackerfläche den so genannten Grenzstandorten zugeordnet. Unter dem Begriff Grenzstandorte werden diejenigen Ackerbaustandorte zusammengefasst, die bei gegebener Marktlage und unter bestimmten agrarpolitischen Rahmenbedingungen nicht kostendeckend produzieren können. Dabei handelt es sich um die natürlichen Standorteinheiten D1-, D2- und grundwasserferne D3-Standorte.

Im Teilprojekt „Mischfruchtanbau zur energetischen Nutzung auf sandigen Böden“ an der Landesforschungsanstalt für Landwirtschaft und Fischerei Mecklenburg-Vorpommern (LFA) stehen folgende Aufgaben im Vordergrund:

- Prüfung von Futterpflanzen und Körnerfrüchten auf ihre Eignung für den Mischanbau nach bereits erarbeiteten Kriterien,
- Ermittlung und Vergleich der Leistungen von Futterpflanzen und Körnerfrüchten im Mischanbau und in Reinsaat,
- Erarbeitung von Produktionskennziffern,
- Prüfung „verloren gegangener“ Feldfrüchte mit hoher Biomasseleistung, die auf Grund spezifischer Eigenschaften für Sandböden geeignet waren.

Standorte und Versuchsaufbau

Der Versuch zum Mischfruchtanbau wurde in Mecklenburg-Vorpommern und in Bayern an zwei Standorten durchgeführt. Aus den Tabellen 4 und 5 können die Standortbeschreibungen entnommen werden.

Tabelle 4: Kennzeichnung der Bedingungen an den Standorten in Gülzow

	Ökofeld	**Grenzstandort**
Höhenlage	5 bis 10 m über NN	
Bodentypen	Gleye, Parabraunerde, Kolluvien	Braunerde
Bodenarten des Oberbodens	schwach-lehmige bzw. schwach-schluffige Sande	schwach-lehmige bzw. schwach-schluffige Sande
verbreitete Substrate und Substratgruppen	Sand, Sandlehm, Sandtieflehm	Sand, Sandlehm
Ackerzahl	20 bis 25	20 bis 25
Porenvolumina	36 bis 45 %	nicht bekannt
Humusgehalte	1,36 bis 3,44 %	nicht bekannt

Tabelle 5: Kennzeichnung der Bedingungen an den Standorten in Bayern

	Ascha	**Aholfing**
Höhenlage	43 m über NN	325 m über NN
Bodentypen	Braunerde	Braunerde
Bodenarten des Oberbodens	lehmiger Sand	sandiger Lehm
verbreitetes Ausgangsmaterial	Granite und Gneise mit geringen Lössbeimengungen	nicht bekannt
Ackerzahl	47	40
Humusgehalte	2,2 %	nicht bekannt

Im Mischfruchtanbau soll geprüft werden, ob sich über eine höhere Ertragsstabilität, Nutzungselastizität und Unkrauttoleranz als auch eine optimierte Zusammensetzung der Inhaltsstoffe, im Vergleich zu Reinkulturen, Vorteile für den Energiepflanzenanbau ergeben. Hierfür wurden verschiedene Winterkulturen in Mecklenburg-Vorpommern und in Bayern an jeweils zwei Standorten getestet. Die verschiedenen Reinsaaten und Gemenge der Sommerkulturen wurden in Mecklenburg-Vorpommern ebenso an beiden Standorten, in Bayern jedoch nur an einem Standort (Aholfingen) getestet. Als zusätzlicher Versuchsfaktor wurde eine Herbizidvariante in die Mischkulturversuche integriert.

Versuchsaufbau Gülzow

Die Versuchsanlage ist eine einfaktorielle Blockanlage mit vier Wiederholungen. Die Zusammenfassung bestimmter Kulturen und deren Gemenge zu Gruppen haben den Hintergrund, weitestgehend Randeffekte ausschließen zu können, ohne dass der Versuch insgesamt zu breit wird.

Beim Winterroggen und bei der Wintergerste wurde jeweils eine Variante mit und ohne Herbizid angelegt. Die Aussaat erfolgte in Gülzow auf beiden Standorten in der ersten Septemberdekade. Die Sorten und Saatstärken der jeweiligen Kulturen sowie die Menge des ausgebrachten Stickstoffs sind in Tabelle 6 aufgeführt. Der Aussaattermin stellte einen Kompromiss an die unterschiedlichen Ansprüche der geprüften Kulturen dar und ist für die Reinsaaten nicht optimal. Mit Ausnahme des Welschen Weidelgrases gab es für keine andere aufgeführte Kultur eine Zulassung. Bacara wurde mit 0,8 l/ha appliziert.

Die Stickstoffgabe für Winterrübsen in Reinsaat und im Gemenge wurde gesplittet. Die Ernte des Winterroggens und Gemenge erfolgte zum Grannenspitzen. Auf dem Versuchsstandort Gülzow wurden über Biomasseschnitte der genannten Varianten zur Blüte und Teigreife des Winterroggens weitere Ertragsschätzungen vorgenommen. Die Leguminosen wurden in Reinsaat zu Blühbeginn geerntet, wobei sich die Ernte der Leguminosen im Gemenge nach den Mischungspartnern richtet.

Die wesentlichen Informationen zu Sorten, Saatstärken, Nutzungsform und Düngung der Sommerungen sind in Tabelle 6 dargestellt. Für die Körnernutzung der Lupine wurde die Sorte „Boruta“ und für die Ganzpflanzennutzung die großwüchsige Sorte „Borlu“ gewählt. Die Aussaat konnte auf Grund der Witterung Ende März erfolgen.

Bei der Ernte des Mais und der Mais/Bokharaklee-Mischung wurde der Erntetermin auf die Siloreife des Mais gelegt, beim Sudangras und den Sudangrasgemengen war das Ziel, einen Trockensubstanzgehalt von 28 % im Erntegut zu erreichen. Die Getreidearten und die Getreidegemenge wurden zum BBCH 77 - 83 bei der Ganzpflanzennutzung und zur Körnerreife bei der Körnernutzung geerntet. Der Erntezeitpunkt von Lupine und Saflor in den Mischungen richtete sich nach den Gemengepartnern. Die Ernte der Reinsaaten wurde ebenfalls an den jeweiligen Gemengepartnern ausgerichtet. Der Bokharaklee hingegen wurde in Reinsaat erst im September geschnitten, da vorher weder Trockensubstanzgehalt noch Erntemengen für einen früheren Zeitpunkt gesprochen hätten. Zur Ernte der Hafer/Bokharaklee-Mischung wurde zur Einschätzung der relativen Gesamterträge der Gemenge gegenüber den Reinsaaten ein Biomasseschnitt vorgenommen.

Tabelle 6: Varianten, Sorten, Saatstärke und Düngung

Reinsaaten - Winterung				
Nr.	Kultur	Sorte	Saatstärke [kg/ha]	Düngung [kg N/ha]
1	W.Roggen	Avanti	180*	80
2	W.Gerste	Merlot	300*	80
3	W.Weidelgras	Fabio	40	80
4	W.Rübsen	Perko PVH	10	120
5	W.Wicke	Dr. B. Ostsaat	100	0
6	Bokharaklee		25	0
7	Inkarnatklee	Linkarus	30	0

Gemenge – Winterung

Nr.	Kulturen	Sorten	Saatstärke [in % der Reinsaat]	Düngung [kg N/ha]
8	Wickroggen	Avanti, Dr. B. Ostsaat	80/50	60
9	W.Roggen + Bokharaklee	Avanti	80/100	60
10	W.Gerste + W.Rübsen	Merlot, Perko PVH	80/60	120
11	W.Gerste + W.Rübsen + W.Wicke	Merlot, Perko PVH, Dr. B. Ostsaat	60/40/30	100
12	W.Weidelgras + Inkarnatklee	Fabio	80/20	60
13	Landsberger Gemenge		75/33/20	60

Reinsaaten – Sommerung

Nr.	Kultur	Sorte	Nutzung	Saatstärke [k.f.Kö/m^2]	Düngung [kg N/ha]
1	Mais	Lacta	GPS	8	120
2	Sudangras	Susu	GPS	30**	120
3	S.Roggen	Sorum	GPS	330	80
4	S.Gerste	Djamila	GPS	280	80
5	Hafer	Revisor	GPS	320	80
6	Bokharaklee		GPS	25**	0
7	Lupine	Borlu	GPS	90	0
8	Saflor	Sabina	GPS	30**	80

Gemenge - Sommerung

Nr.	Kulturen	Sorten	Nutzung	Saatstärke [in % der Reinsaat]	Düngung [kg N/ha]
9	Mais + Bokharaklee		GPS	75/50	80
10	Sudangras + Bokharaklee		GPS	75/50	80
11	Sudangras + Lupine		GPS	75/50	80
12	S.Roggen + S.Gerste + Hafer		GPS	50/50/50	80
13	S.Roggen + Bokharaklee		GPS	75/50	60
14	Lupine + Bokharaklee + S.Gerste		GPS	50/50/50	60
15	Lupine + Saflor + S.Gerste		GPS	50/50/50	60
16	Lupine + S.Gerste		GPS	75/75	60

*keimfähige Körner/m^2

** kg/ha

Versuchsaufbau in Ascha und Aholfing

Die Varianten der Winterungen im Mischkulturversuch stimmen weitgehend mit den in Mecklenburg-Vorpommern getesteten Varianten überein (Tabelle 7). Auf den Standorten in Bayern wurde zusätzlich der Winterraps in Reinsaat und im Gemenge geprüft, dafür wurde auf das Prüfglied Kleegras verzichtet. Ferner wurden Erntezeitpunkte teilweise unterschiedlich festgelegt. Als Versuchsanlage wurde für beide Standorte eine Blockanlage gewählt.

Tabelle 7: Übersicht zu Varianten, Sorten, Saatstärken und Düngung der getesteten Winterungen in Bayern an den Standorten Ascha und Aholfing

Reinsaaten				
Nr.	Kultur	Sorte	Saatstärke [kg/ha]	Düngung [kg N/ha]
1	W.Gerste	Merlot	167	130
2	W.Roggen	Pollino	100	130
3	W.Raps	Elektra	4,8	180
4	W.Rübsen	Perko PVH	3,4	180
5	W.Wicken	Dr. B. Ostsaat	50	0
6	Welsches Weidelgras	Taurus	34,8	100
7	Steinklee	Steinklee gelb	25	0
8	Inkarnatklee	Linkarus	30	0
Gemenge				
Nr.	Kulturen	Sorten	Saatstärke [in % der Reinsaat]	Düngung [kg N/ha]
9	Wickroggen	Pollino, Dr. B. Ostsaat	80 / 40	105
10	Landsberger Gemenge	Taurus, Dr. B. Ostsaat, Linkarus	85 / 40 / 45	80
11	W.Gerste + W.Rübsen + Wicke	Merlot, Perko PVH, Dr. B. Ostsaat	70 / 40 / 30	150
12	W.Gerste + W.Rübsen	Merlot, Perko PVH	70 / 50	150
13	W.Roggen + Steinklee	Pollino, Steinklee gelb	80 / 80	105
14	W.Raps + Wicken	Elektra, Dr. B. Ostsaat	60 / 40	110

Insbesondere bei den geprüften Varianten der Sommerkulturen gab es Unterschiede zwischen den Standorten in Mecklenburg-Vorpommern und in Bayern (Tabelle 8). Im Gegensatz zu Gülzow wurde neben der Ganzpflanzenernte keine Körnerernte durchgeführt. Lein-

dotter wurde in Reinsaat und im Gemenge mit Sommergerste und Futtererbse als Ganzpflanze geerntet. Neben Leindotter und Saflor wurde mit Senf in Ascha und Aholfing eine weitere Ölpflanze geprüft. Auf Mais, Sudangras und deren Gemenge wurde verzichtet.

Tabelle 8: Übersicht zu Varianten, Sorten, Saatstärken und Düngung der getesteten Sommerungen in Bayern an dem Standort Aholfing

Reinsaaten				
Nr.	Kultur	Sorte	Saatstärke [kg/ha]	Düngung [kg N/ha]
1	S.Gerste	Djamila	156	120
2	Futtererbse	Santana	279	0
3	Blaue Lupine	Boruta	151	0
4	Leindotter	Ligena	5,2	100
5	Senf	Samba	10,5	120
6	Saflor	Sabina	24,4	100
Gemenge				
Nr.	Kulturen	Sorten	Saatstärke [in % der Reinsaat]	Düngung [kg N/ha]
7	S.Gerste + Erbse	Djamila, Santana	75 / 75	90
8	S.Gerste + Leindotter	Djamila, Ligena	80 / 50	110
9	S.Gerste + Saflor	Djamila, Sabina	90 / 60	110
10	Erbse + Leindotter	Santana, Ligena	100 / 50	50
11	Lupine + Saflor	Boruta, Sabina	50 / 60	70
12	Lupine + Saflor + S.Gerste	Boruta, Sabina, Djamila	50 / 50 / 50	80
13	S.Gerste + Senf	Djamila, Samba	80 / 50	120
14	S.Gerste + Senf + Erbse	Djamila, Samba, Santana	50 / 50 / 30	80

Wie auch in Mecklenburg-Vorpommern wurde in den Reinsaaten der Winterkulturen (Wintergerste, Winterroggen, Winterraps) sowie der Sommerkulturen (Sommergerste, Futtererbse, Blaue Lupine, Leindotter) eine Herbizidvariante integriert.

Zusätzlich wurde in Bayern in der Vegetationsperiode 2006/2007 ein Versuch zum idealen Erntezeitpunkt in den Mischkulturversuch integriert, da bezüglich des Erntezeitfensters für Ganzpflanzensilagen (GPS) in der Praxis noch viele Fragen offen sind. Eine frühe Räumung der Erstfrucht erlaubt eine längere Kulturdauer der meist ertragreicheren Zweitfrucht (schnell

wachsende Kulturen wie Mais, Sonnenblume, Sorghum oder Futtergräser und deren Mischungen). Daher wird oft eine Ernte des GPS-Getreides zum Grannenspitzen empfohlen. Wird der ersten Kultur eine längere Vegetationszeit eingeräumt, verbessern sich die Silierei-genschaften mit steigendem Trockensubstanzgehalt enorm, ein Anwelken des Schnittgutes mit der Gefahr der Verschmutzung ist nicht mehr nötig und der Trockenmasseertrag sowie der Energiegehalt des Aufwuchses steigen. Kritisch gesehen wird allerdings ein zu starkes Abreifen der Pflanzenbestände über die Teigreife hinaus, da dann der hohe Trockensubstanzgehalt ein verlustarmes Einsilieren verhindert und die Verdaulichkeit des Materials durch die Lignifizierung vermindert wird. Bevor geklärt werden kann, wie die Erntezeitpunkte der Kulturen in einem Anbausystem mit schnell folgender Zweitfrucht gestaltet werden sollten, müssen zuerst die optimalen Erntezeitpunkte der GPS-Kulturen ermittelt werden, an denen sich Biomassegewinn durch weitere Abreife und Biogasverlust durch verminderte Verdaulichkeit aufheben. Ziel der zusätzlich in die Mischkulturversuche integrierten Erntezeitreihen war eine Ermittlung der Trockenmasseerträge und Trockensubstanzgehalte bedeutender GPS-Kulturen im Reinanbau.

Fazit:

Die Untersuchungen der Mischkulturen erstreckten sich über den Zeitraum von 2005 bis 2007. Auf je zwei Versuchsstandorten in Mecklenburg-Vorpommern und Bayern wurden die Versuche auf Grenzstandorten angelegt. In dem Versuch wurde der Ansatz verfolgt, mit Gemengen aus Getreide, Leguminosen und Ölpflanzen eine größere Ertragssicherheit zu erreichen.

Über alle Jahre und Standorte wiesen die Winterkulturen Wintergerste und Winterroggen sowie das Gemenge Wickroggen und Roggen-Bokharaklee sehr hohe Erträge auf. Dabei zeigte sich die Wintergerste insbesondere auf dem Grenzstandort in Gülzow als ertragreichste Kultur mit den höchsten Methan-Hektarerträgen. Auf den bayerischen Standorten lieferten hingegen Winterroggen und Wickroggen die besseren Ertragsleistungen. Bei den Gemengen Wickroggen und Winterroggen-Bokharaklee ist zu berücksichtigen, dass diese Varianten trotz einer um 20 % verminderten Stickstoffdüngung an die Erträge der Reinsaaten heranreichten. Damit können sie bei steigenden Düngemittelpreisen gegenüber dem Winterroggen in Reinkultur an Vorzüglichkeit gewinnen. Die übrigen Gemenge blieben hinter den Ertragserwartungen zurück und brachten auch im Hinblick auf die Ertragssicherheit keinen Vorteil.

Eine Ausnahme bildeten die Ackerfuttermischungen Landsberger Gemenge und Kleegras, die zusammen mit dem Welschen Weidelgras bei mehrmaliger Schnittnutzung, bei hohen Niederschlagssummen 2007, die höchsten Gesamterträge lieferten. In 2006 konnte jedoch

aufgrund der Sommertrockenheit nur ein einmaliger Schnitt erfolgen, was insbesondere auf den Standorten in Mecklenburg-Vorpommern zu erheblichen Ertragseinbußen führte. Dennoch sollten diese Kulturen bei der Fruchtfolgeplanung im Energiepflanzenbau stärker Beachtung finden, da sie sowohl die Humusbilanz positiv beeinflussen und eine gute Vorfruchtwirkung besitzen, als auch die Biodiversität der Kulturlandschaft erhöhen und ein langes Blütenangebot sichern.

Bei den Sommerkulturen wurden in Mecklenburg-Vorpommern und Bayern eine Vielzahl und je nach Standort unterschiedliche Reinsaaten und Gemenge getestet. Die Ertragsleistungen schwankten dabei stark zwischen den Jahren und den einzelnen Versuchsstandorten. In Mecklenburg-Vorpommern erzielten auf dem Ökofeld über beide Versuchsjahre Mais und das Gemenge Mais-Bokharaklee die höchsten Erträge vor Sommerroggen, Bokharaklee und dem Getreidegemenge Sommerroggen-Sommergerste-Hafer. Dagegen zeigte sich auf dem Grenzstandort das Gemenge Sommergerste-Lupine-Saflor nach Mais und Mais-Bokharaklee als relativ ertragsstark, das insbesondere im trockenen Jahr 2007 deutlich besser als die Reinsaat Sommergerste abschnitt. In Bayern wurden die Sommerkulturen nur am Standort Aholfing getestet. Hier zeigte sich 2006 Sommergerste und das Gemenge Sommergerste-Leindotter überlegen, wobei letzteres trotz eines etwas geringeren Trockenmasse-Ertrages höhere theoretische Methan-Hektarerträge erbrachte. In 2007 waren nach der Frühjahrstrockenheit die Reinsaaten Saflor und Futtererbse der Sommergerste überlegen. Insbesondere die hohe Biogasausbeute von Saflor lässt diesen in trockenen Jahren als vorzügliche Alternative zu Sommergetreide erscheinen. Bei der Fruchtfolgeplanung ist jedoch zu berücksichtigen, dass Saflor erst spät das Feld räumt.

Die Ergebnisse des zusätzlich angelegten Versuchs zum Herbizideinsatz waren etwas überraschend, da keine gesicherten Mehrerträge durch die Unkrautbehandlung nachgewiesen werden konnten. In den Kulturen Erbse und Leindotter kam es durch die zu kurzfristig vor dem Auflaufen durchgeführte Herbizidbehandlung zu Spritzschäden, die sich bis zur Ernte an den Pflanzen abzeichneten. Da in den Gemengen im Allgemeinen eine dichte Bestandesstruktur und damit gute Unkrautunterdrückung erreicht wurde, kann auf die problematische Herbizidbehandlung generell verzichtet werden.

Der integrierte Versuch zu Erntezeitpunkten von Ganzpflanzengetreide sowie anderen Ganzpflanzenkulturen wies auf erst spät erfolgende, aber hohe Ertragszuwächse einiger Kulturen wie Winterroggen hin. Gleichzeitig nahmen allerdings die Trockensubstanzgehalte zu, so dass zur Maximierung der Substratqualität sowie zur Sicherstellung guter Siliereigenschaften eine Beerntung vor dem Ertragsmaximum angebracht ist. Winterrübsen sind nicht allein wegen der hohen Produktionsintensität, sondern auch wegen der unerwünscht hohen Schwefelgehalte für die Biogasproduktion eher ungeeignet. Die bis zum Entwicklungsstadi-

um 80 sehr niedrigen Trockensubstanzgehalte, die dann sprunghaft viel zu hoch werden, erlauben kaum eine gute Silagebereitung.
Der Mischfruchtanbau ist für die ausschließliche Maximierung der Biomasseerträge nicht das geeignete Instrument. Als Extensivvariante in einseitigen Fruchtfolgen oder auf Grenzstandorten kann er hinsichtlich der Nährstoffversorgung der Folgekultur, der Unterbrechung von Krankheitsketten oder aber auch hinsichtlich der Bodensanierung zur Optimierung des gesamten Systems beitragen. Die Humusbilanz kann er durch sein im Vergleich zur Reinsaat größeres Wurzelwerk positiv beeinflussen. Aus ökologischer Sicht ist neben dem Blütenangebot von Winterwicke, Saflor, Leindotter und anderen Kulturen auch die Erhöhung der Biodiversität in der Kulturlandschaft ein Gewinn. Zudem bietet der Mischfruchtanbau die Möglichkeit, Produktionsmittel und dabei insbesondere energieintensive Stickstoffdüngemittel einzusparen und damit einen positiven Beitrag zum Klimaschutz zu leisten.

4.5 Eignung von Ackerfuttermischungen für die energetische Nutzung (Carsten Rieckmann, LWK Niedersachsen)

Im Projekt sollte, die Eignung verschiedener Ackerfutterpflanzen unter den unterschiedlichen regionalen Standortbedingungen in Brandenburg, Thüringen und Niedersachsen für die energetische Nutzung zu ermitteln.
Es wurden mehrjährige Ackergrasmischungen und Leguminosen-Gras-Gemenge hinsichtlich ihrer Eignung für die energetische Nutzung (Biogas, Methan) geprüft. Hierfür wurden im Frühjahr 2005 in den Bundesländern entsprechende Versuche angelegt.

Folgende Versuchsfrage war zu klären:
Welche Ackerfuttermischungen bringen bei unterschiedlicher Schnittfrequenz die höchsten Biomasseerträge und wie wirken sich veränderte Schnittzeitpunkte auf die Gasausbeute des Erntematerials aus?

Ziel der Versuche ist es, das Leistungsvermögen verschiedener Mischungen und Gemenge von langlebigeren, mehrschnittigen Futterpflanzen aus Sicht der Ertragsbildung und Qualitätsentwicklung unter den differenzierten Standortbedingungen bei intensiver früher und bei späterer Schnittnutzung zu überprüfen (Tabelle 9).

Tabelle 9: Schnittzeitpunkte

Abstufung	**Schnittzeitpunkt**	**Beschreibung**	**Schnitte je Jahr**
1)	1. Aufwuchs	Beginn Ährenschieben (BBCH 51)	4 bis 5
	Folgeaufwüchse	Ende Schossphase (BBCH 39)	
2)	1. Aufwuchs	Ende Ähren-/Rispenschieben (BBCH 59) bei Gräsern bzw. Ende Knospenbildung bei Leguminosen (BBCH 59)	3 bis 4
	Folgeaufwüchse	Ende der Schossphase / Beginn Ähren/Rispenschieben (ab BBCH 39)	

Die Wahl der Mischungspartner erfolgte unter Berücksichtigung der unterschiedlichen Standortansprüche. Während in Niedersachsen schwerpunktmäßig weidelgrasreiche Mischungen mit vorwiegend kurzlebigen Arten, wie z. B. Welsches Weidelgras ausgewählt wurden, dominieren in Thüringen und Brandenburg ausdauernde Ansaatmischungen. Der Einsatz von Leguminosen beschränkt sich in Niedersachsen auf Rotkleegras, während in den östlichen Bundesländern neben Rotklee- auch Luzernegras für trockenere Standorte eingesetzt wurde.

Als Vergleichsvariante wurde an allen Standorten die Mischung A 3, bestehend aus Welschem Weidelgras, Bastardweidelgras und Deutschem Weidelgras geprüft (Tabelle 10).

Tabelle 10: Ackerfuttermischung

Mischung	Art	Sorte	Saatmenge kg/ha
Brandenburg			
1. Gräsermischung A 2	Wiesenschweidel Welsches Weidelgras	Paulita (t) Fabio (t)	15 20
2. Weidelgrasmischung A 3	Welsches Weidelgras Bastardweidelgras Dt. Weidelgras	Mondora (t) Ibex (t) Twins (t)	10 10 15
3. Weidelgrasmischung A 3 plus Rotklee	Welsches Weidelgras Bastardweidelgras Dt. Weidelgras Rotklee	Mondora (t) Ibex (t) Twins (t) Titus (t)	7,5 7,5 10 10
4. Gräsermischung plus Rotklee	Wiesenschweidel Wiesenschweidel Rotklee	Paulita (t) Liphlea Titus (t)	8 2 12
5. Luzerne plus Gräser-mischung (Berge)	Wiesenschweidel Wiesenlieschgras Luzerne	Paulita (t) Liphlea Planet	8 2 18
5. Bastardweidelgras plus Rotklee (Paulinenaue)	Bastardweidelgras t Rotklee	Ibex (t) Temara (t)	15 10
6. Luzerne-Rotklee-Gräsermischung	Wiesenschweidel Wiesenlieschgras Rotklee Luzerne	Paulita (t) Liphlea Titus (t) Planet	8 2 2 12
Thüringen			
1. Rotkleegras	Wiesenschwingel Wiesenlieschgras Rotklee	Lifara Comer Temara (t)	9 3 13
2. Luzernegras	Knaulgras Luzerne	Treposno Planet	2 18
3. Luzerne-/Rotkleegras	Wiesenschwingel Wiesenlieschgras Rotklee Luzerne	Lifara Comer Temara (t) Planet	5 2 6 7
4. Weidelgrasmischung A 3	Welsches Weidelgras Bastardweidelgras Dt. Weidelgras	Taurus (t) Redunca (t) Magyar, Sirius (t)	10 10 15
5. Gräsermischung	Dt. Weidelgras Wiesenschwingel Wiesenlieschgras	Magyar, Sirius (t) Lifara Comer	14 8 3

Fortsetzung Tabelle 10: Ackerfuttermischung

Niedersachsen			
Mischung	**Art**	**Sorte**	**Saatmenge** kg/ha
1. Weidelgrasmischung A 2	Einj. Weidelgras Welsches Weidelgras	Lemnos (t) Fabio (t), Mondora (t)	15 30
2. Weidelgrasmischung A 1, diploid	Welsches Weidelgras	Zarastro, Alamo	40
3. Weidelgrasmischung A 1, tetraploid	Welsches Weidelgras	Mondora (t), Fabio (t)	50
4. Weidelgrasmischung A 3	Welsches Weidelgras Bastardweidelgras Dt. Weidelgras	Mondora (t) Ibex (t) Twins (t)	10 10 15
5. Bastardweidelgras	Bastardweidelgras	Rusa (t), Ibex (t)	45
6. Weidelgrasmischung A 5	Dt. Weidelgras früh Dt. Weidelgras mfr. Dt. Weidelgras spät	Lacerta (t) M Twins (t), Tivoli (t)	9 12 9
7. Mischung A 3 plus Rotklee	Welsches Weidelgras Bastardweidelgras Dt. Weidelgras Rotklee	Mondora (t) Ibex (t) Twins (t) Temara (t)	7,5 7,5 10 10
8. Bastardweidelgras plus Rotklee	Bastardweidelgras Rotklee	Ibex (t) Temara (t)	15 12
9. Mischung A 1	Welsches Weidelgras	Alamo Fabio (t)	22,5 22,5

Nach der guten Etablierung der Ackerfuttermischungen in allen drei Bundesländern im Anlagejahr 2005, mussten witterungsbedingt auf einzelnen Standorten und in bestimmten Parzellen Auswinterungsschäden festgestellt und zum Teil durch Nachsaaten wieder etabliert werden.

Im Jahr 2006 konnten auf allen Standorten die Mischungen entsprechend dem Witterungsverlauf und des Nutzungsregimes drei bis sechs mal beerntet werden. In Abhängigkeit von den Auswirkungen der Auswinterungsschäden bzw. der Sommertrockenheit wurden deutlich unterschiedliche Ertragsleistungen erzielt. Das Jahr 2007 war durch überdurchschnittlich hohe Niederschläge gekennzeichnet, die prinzipiell eine gute Wachstumsentwicklung der Aufwüchse ermöglichten. So konnten auf den trockenheitsgefährdeten Standorten 2007 zum Teil wesentlich höhere Erträge erzielt werden. Auf den niedersächsischen Standorten wurde erkennbar, dass insbesondere die Mischungen mit den kurzlebigeren Ansaatmischungen nicht mehr das volle Ertragsvermögen aufweisen, da die im Herbst 2006 angelegten Neuansaaten durchweg höhere Erträge erzielten.

Die Entscheidung, in den jeweiligen Anbaugebieten differenzierte, d. h. neben den Vergleichsmischungen standortangepasste Mischungen anzubauen, hat wesentlich zum Gelingen des Projektes beigetragen. Die Ergebnisse der Jahre 2006 und 2007 belegen, dass je nach Standortverhältnissen einzelne Mischungen deutlich besser mit den Witterungsverhältnissen zurechtkommen, als es auf anderen Standorten der Fall war. Aber auch die unterschiedlichen Jahresbedingungen spiegeln sich in veränderten Ertragsanteilen der Mischungspartner und der sich verschiebenden Ertragsleistungen einzelner Mischungen wider. Während die Luzernemischungen 2006 auf den stark trockenheitsbeeinflussten Standorten begünstigt waren, kehrten sich die Verhältnisse 2007 wieder um. Ein gegenläufiges Verhalten war bei weidelgrasbetonten Mischungen festzustellen.

In der Abbildung 18 sind die Erträge der Vergleichsmischung A 3 an den verschiedenen Standorten mit der jeweils ertragreichsten Mischung dargestellt. Während in Niedersachsen die Weidelgrasmischungen Vorteile aufwiesen, schnitten 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.

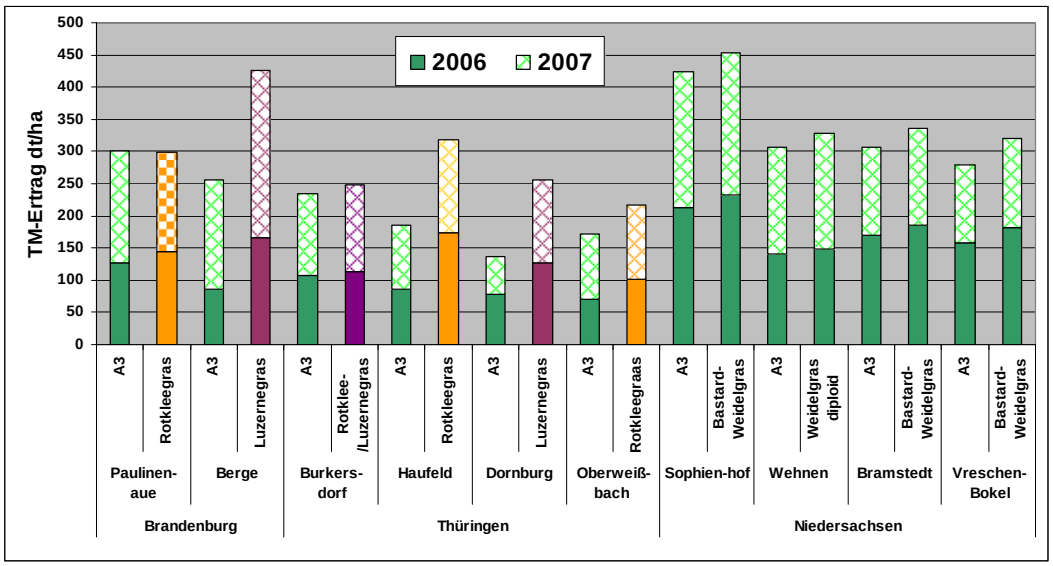


Abbildung 18: Vergleich der Ertragsleistungen (Summe der Jahre 2006 und 2007) zwischen der A 3 Mischung und der jeweils besten Mischung am Standort.

Methanausbeuten bei Ackerfuttermischungen

Bei den Versuchen zur Ackerfutterproduktion wurde der Einfluss verschiedener Schnittregime auf die Methanausbeute untersucht (Abbildung 19). Unabhängig von den verschiedenen Mischungen wird deutlich, dass die Nutzung mit verminderter Schnittfrequenz insgesamt höhere TM-Erträge pro Hektar und Jahr liefert.

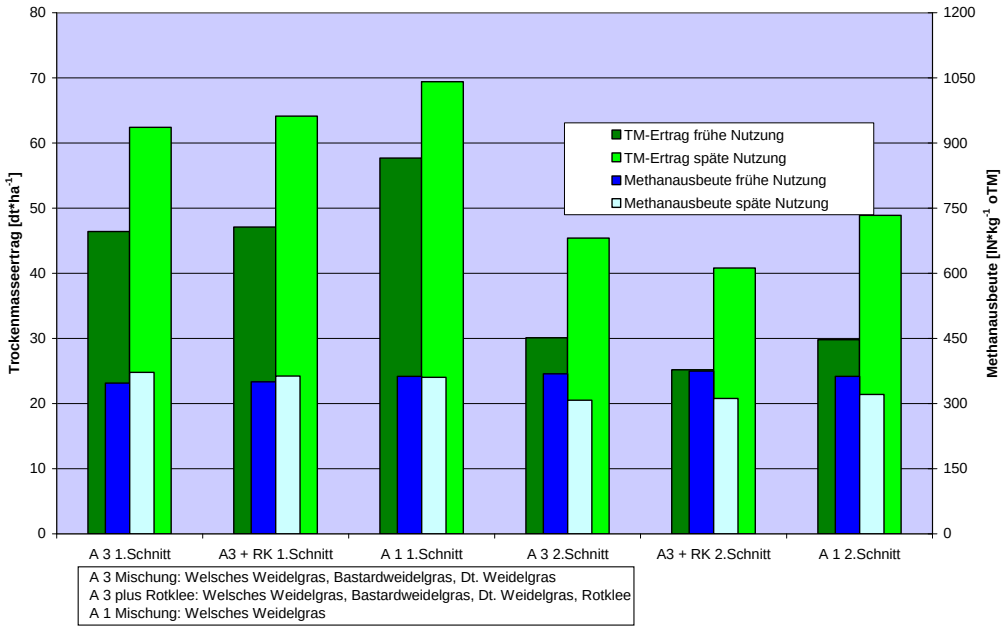


Abbildung 19: TM-Erträge sowie gemessene Methanausbeuten der Silagen des 1. und 2. Schnittes, Standort Wehnen, 2006.

Erste Ergebnisse zu den Methanbildungspotenzialen 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. Damit decken sich diese Ergebnisse in der Tendenz mit den nach der Biogasformel (Berechnung lt. Handreichung Biogasgewinnung und -nutzung der Fachagentur für Nachwachsende Rohstoffe 2006) berechneten Werten, wie sie an den drei Standorten Berge, Dornburg und Wehnen deutlich wurden.

Die Berechnungen der ökonomischen Leistungen der Ackerfuttermischungen in den einzelnen Bundesländern an ausgewählten Standorten haben die ertraglichen Ergebnisse monetär untermauert. Es zeigt sich, dass die standortangepasste Auswahl der Mischungen von entscheidender Bedeutung für den wirtschaftlichen Einsatz der Aufwüchse für die Biogasproduktion ist. Ebenso müssen auch die standörtlichen Gegebenheiten bei der Wahl der angebauten Arten berücksichtigt werden. Es wurde klar erkennbar, dass unter den eher ariden

Klimabedingungen an den östlichen Standorten die Leguminosenmischungen ertragliche und ökonomische Vorteile aufweisen, während unter den mehr humiden Bedingungen Niedersachsens die weidelgras betonten Mischungen trotz höherer Düngungskosten ökonomisch sinnvoller einzusetzen sind. Aufgrund der derzeit rechnerisch ermittelten relativ geringen Unterschiede in der Gasausbeute bei früher bzw. später Schnittnutzung muss die spätere und in der Regel auch reduzierte Schnittnutzung aus ökonomischer Sicht empfohlen werden.

Empfehlungen für die Praxis

Mit der Verwendung standortangepasster Ackerfuttermischungen lassen sich hohe Trockenmasseerträge je Hektar erzielen. Eine reduzierte Schnittfrequenz liefert höhere TM-Erträge und Deckungsbeiträge 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 im EVA I Projekt (FF4 in Bayern, Niedersachsen und Baden-Württemberg) erkennbar. Der Anbau ausdauernder Ackerfuttermischungen kann auf Standorten interessant sein, wo Sommerungen wie Mais oder Hirse ertraglich keine Vorteile bieten bzw. Abreife- und Ernteprobleme im Herbst bestehen. Bei steigenden Markterlösen auf ackerfähigen Standorten werden in bestimmten Regionen Grasaufwüchse von Dauergrünlandstandorten zur Biomassenutzung stärkere Bedeutung gewinnen. Um diese Möglichkeiten für die Landwirtschaft näher zu beleuchten, werden im Folgeprojekt auch Versuchsanstellungen im Dauergrünlandbereich untersucht.

5 Literaturverzeichnis

ANDERSON, T.-H. (2000): Bewertung bodenmikrobiologischer Kennwerte nach langjähriger Beobachtung von Waldstandorten - Vergleich zu Ackerböden. Mitt. Dt. Bodenkdl. Ges. 93. 120-123.

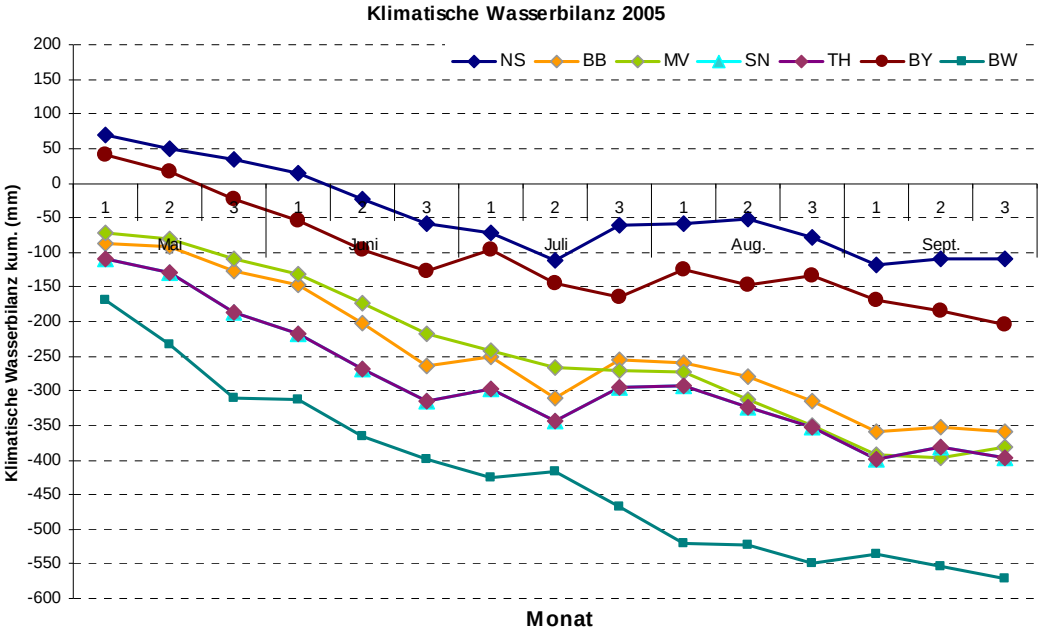
FNR (Hrsg.) (2005): Handreichung: Biogasgewinnung und -nutzung. Tangram documents, Bentwisch.

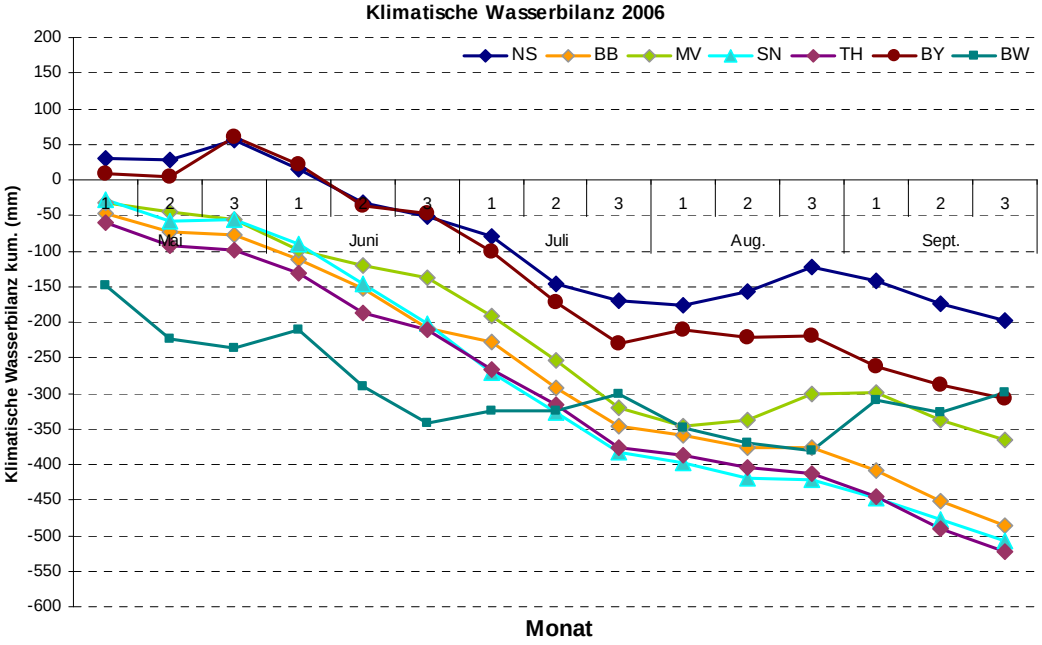
SCHEFFER, F. (2002): Lehrbuch der Bodenkunde / Scheffer / Schachtschabel. 15. Aufl. neubearb. und erw. von Hans-Peter-Blume. Spektrum Verlag, Heidelberg.

6 Anhang

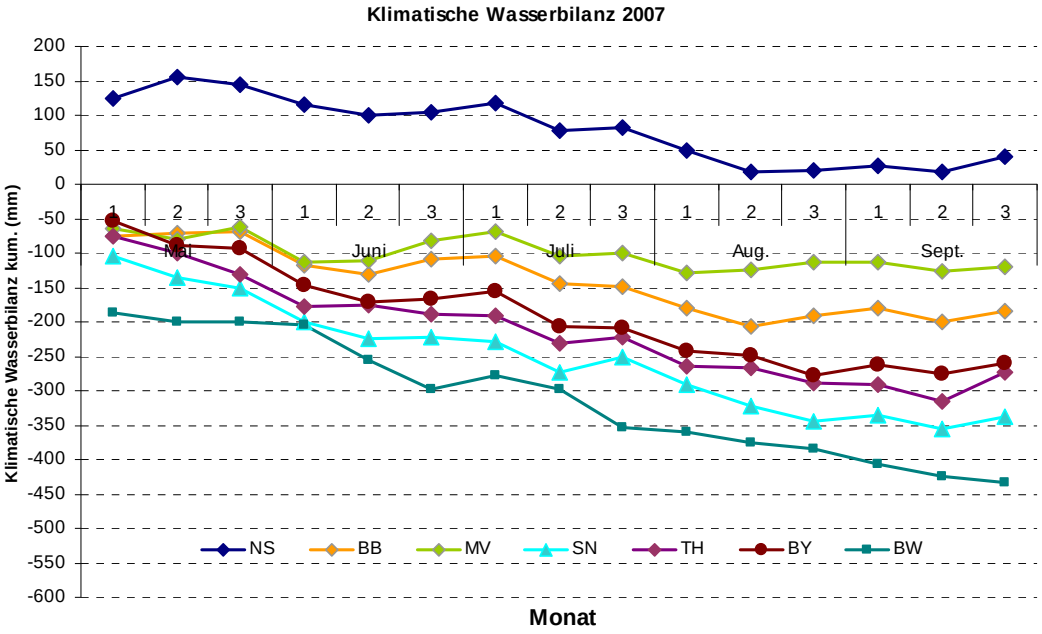
Anhang 1	**Klimatische Wasserbilanz der Standorte, 2005-2006**	**64**
Anhang 2	**Regionalfruchtfolgen an den einzelnen Standorten**	**66**
Anhang 3	**Abschlussberichte der Projektpartner zum Fruchtfolgeversuch-Teilprojekt 1**	**67**
3.1	Landwirtschaftskammer Niedersachsen (LWK NS), Niedersachsen	67
3.2	Landesforschungsanstalt für Landwirtschaft und Fischerei (LFA), Mecklenburg-Vorpommern	93
3.3	Brandenburgisches Landesamt für Verbraucherschutz, Landwirtschaft und Flurneuordnung (LVLF), Brandenburg	119
3.4	Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (LfULG), Sachsen	157
3.5	Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft (TLL), Thüringen	193
3.6	Technologie- und Förderzentrum im Kompetenzzentrum für Nachwachsende Rohstoffe (TFZ), Bayern	223
3.7	Landwirtschaftliches Technologiezentrum Augustenberg (LTZ), Baden-Württemberg	245
Anhang 4	**Weiterführende Versuche**	**271**
4.1	Faktorminimierung - Reduzierung von Pflanzenschutzmitteln und Düngung, Dr. Kathrin Deiglmayer	271
4.2	Einfluss der Bodenbearbeitung auf den Ertrag der einzelnen Fruchtfolgen Minimalbodenbearbeitung, Dr. Arlett Nehring	285
4.3	Variierung der Erntezeitpunkte, Dr. Gunter Ebel	307
4.4	Mischfruchtanbau, Matthias Dietze, Dr. Kathrin Deiglmayer, Dr. Maendy Fritz	319
4.5	Eignung von Ackerfuttermischungen für die energetische Nutzung, Carsten Rieckmann	363
4.6	Tätigkeitsbericht 2008 Arbeitsgruppe Biogas, Frank Hengelhaupt, Dr. Katja Gödeke	403
4.7	Bonitur von Halmbasis- und Wurzelpathogenen an Weizen- und Roggenpflanzen und Mykotoxinuntersuchung von Weizenkörnern im Untersuchungsjahr 2008 aus dem EVA-Fruchtfolgeversuch, Prof. Dr. Bärbel Gerowitt	417

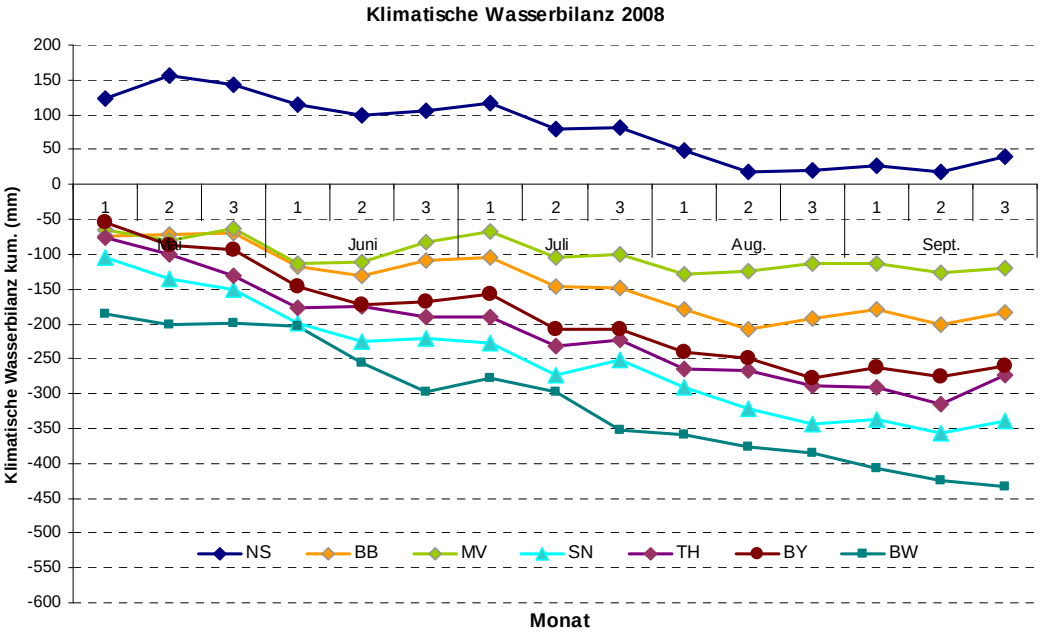
Anhang 1: Klimatische Wasserbilanz der Standorte, 2005-2006





Fortsetzung Anhang 1: Klimatische Wasserbilanz der Standorte, 2007-2008.





Anhang 2: Regionalfruchtfolgen an den einzelnen Standorten

Bundes-land	Prüf-glied	2005	2006	2007	2008
MV	6	**E-Mais**	**Gerstgras**	Winterraps	WW
	7	**E-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	**E-Mais**	**E-Mais**	**E-Mais**	WW
	8	**Topinambur**	**Topinambur (2-j.)**	**Topinambur (3-j.)**	WW
BB	6	**S-Roggen (GPS) Senf (WZF)**	Lupine (ZF)	**Winterroggen (GPS)/ Zuckerhirse (SZF)**	WRo
	7	**Sonnenblume (GPS) Ölrettich (SZF)**	Körnererbsen	**W-Triticale (GPS)/ Zuckerhirse (SZF)**	WRo
	8	**Topinambur**	**Topinambur (2-j.)**	**Topinambur (3-j.)**	WRo
	9	**Artenmischung Hafer + Erbse+ Leindotter**	**Winterraps** Buchweizen (SZF/GD[23])	**Grünschnittroggen / Sudangras (ZF)**	WRo
BW	6	**Zuckerhirse**	**Wintergerste/ Sudangras**	**Winterraps/ Hafer**	WW
	7	**Sonnenblume (GPS)**	**W-Triticale (WZF)/ Zucker-hirse**	**E-Mais**	WW
	8	**E-Mais**	**Grünschnittroggen,/ Körnermais**	**Mais**	WW
	9	**Sommergerste (GPS) Wi-Erbse**	**Grünschnittroggen /Zuckerhirse**	**Mais**	WW
SN	6	**S-Roggen (GPS)/**	**Winterraps (GPS) Landsb.-Gem. (WZF)**	**Sudangras**	WRo
	7	**Mais**	**Grünschnittroggen /Zuckerhirse**	**Kartoffel (Knollen)**	WRo
	8	**S-Triticale (GPS) Gelbsenf (GPS)**	**Sonnenblume (GPS) Phacelia (Wi-ZwF)**	**Hanf (GPS)**	WRo
NS	6	**E-Mais**	**Grünschnittroggen / E-Mais (ZF)**	**Grünschnittroggen E-Mais (ZF)**	WW
	7	**E-Mais**	**W-Triticale**	**Wintergerste (GPS)**	WW
	8	Körnermais	**WW (GPS)**	Wintergerste	WW
BY	6	**Silomais**	**Grünschnittroggen/ Silomais (ZF)**	**Wickroggen /Sudangras (ZF)**	WW/ **Bastard-Weidel-gras**
	7	**Körnermais (CCM)**	**Winterweizen**	**Winterraps (GPS)/ Sudangras**	WW/ **Winter-rübsen**
	8	Körnermais	**Welsches Weidelgras** Kartoffel	**Winterweizen Erbse**	WW/ **Wick-roggen**

[23] GD-Gründüngung

Anhang 3: Abschlussbericht der Projektpartner zum Fruchtfolgeversuch

Abschlussbericht zum Verbundprojekt

Verbund:

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

Teilprojekt 1:

„Entwicklung und Optimierung von standortangepassten Anbausystemen für Energiepflanzen im Fruchtfolgeregime“

Landwirtschaftskammer Niedersachsen (LWK Weser-Ems bis 31.12.2005):

Ferirch Wilken, Carsten Rieckmann, Dr. Matthias Benke

Förderkennzeichen: 22002305 vom 04.05.2005

Prüfzeitraum 15.03.2005 bis 30.06.2008

1 Einleitung

Übergeordnetes Ziel des Projektes ist es, eine standortangepasste und umweltgerechte Optimierung der Nettoenergieproduktion pro Flächeneinheit unter Berücksichtigung der für die spätere Verwertung einzuhaltenden Qualitätsparameter zu erreichen. Dies soll auf das Anbaujahr der Energiepflanzen, aber auch auf das gesamte Fruchtfolgesystem zutreffen. In sechs typischen Agrarregionen Deutschlands werden vergleichende Untersuchungen von 5 einheitlich vorgegebenen Energiepflanzen-Fruchtfolgesystemen in einem so genannten **Grundversuch** durchgeführt. Der durch die Landwirtschaftskammer Niedersachsen betreute Versuch repräsentiert eine Futterbau-Veredlungsregion, die geprägt ist durch Böden mit guter Wasserversorgung. Anbauschwerpunkte liegen im Mais- und Wintergerstenanbau. Der Grundversuch wird durch drei **Regional-Fruchtfolgen** ergänzt. Sie repräsentieren standortangepasste Fruchtfolgen. Insbesondere bei den Regional-Fruchtfolgen erfolgt die Sortenwahl regionsspezifisch.

2 Material und Methoden

2.1. Standortcharakteristik zum Versuchsstandort

Landkreis: Emsland

Gemeinde: Werlte

Gemarkung: Wehm

Flurstück: 031876-009-00062/006

Tabelle 1: Standortangaben

Bodenart	humoser Sand
Ackerzahl	31
Feuchtigkeitslage	Mittel
Höhe über NN	32 m
mittl. Niederschlag	768
mittl. Temperatur	9,0

Bei dem Versuchsstandort Werlte handelt es sich um einen Podsol-Bodentyp. Das vorliegende Bodenprofil hat sich unter drei Voraussetzungen gebildet. Es handelte sich um ein nährstoffarmes und saures Ausgangsmaterial auf dem sich eine Rohhumus bildende Vegetation mit Heide und Kiefern in einem kühlfeuchten Klima etablierte. Unter diesen Voraussetzungen wurden Huminsäuren, Aluminium- und Eisenoxide im Boden nach unten verlagert. Die Verlagerung führte zu einem aschegrauen Auswaschungshorizont (Ae) und zu einem mehr oder weniger verfestigten, mit Humus- Al- und Fe-Verbindungen angereicherten, dunkel gefärbten und rosarot gefleckten Anreicherungshorizont (Bhs). Die effektive Durchwurzelungstiefe (We) beträgt ca. 60 cm. Es ist von einer nutzbaren Feldkapazität von ca. 120 mm auszugehen.

2.2 Witterungsverlauf und Klimatische Wasserbilanz

In der Projektlaufzeit lassen sich hinsichtlich der Witterungsbedingungen folgende Feststellungen machen. In den Jahren 2005 bis 2008 war bis Ende Juni eine positive klimatische Wasserbilanz festzustellen. Als Besonderheit ist jedoch zu erwähnen, dass im April 2007 mit 1 mm Niederschlag sowie im Jahr 2008 mit stark unterdurchschnittlichen Niederschlägen in den Monaten April bis Juni die Bodenwasservorräte stark dezimiert wurden. Zeitweiliger Trockenstress in den Winterungen war zum Teil erkennbar. Ab Juli war mit Ausnahme des Jahres 2007 eine mehr oder weniger ausgeprägte negative Wasserbilanz erkennbar. Unter deutlichem Trockenstress litten die Kulturen im Jahr 2006, da im Juni und Juli unterdurchschnittliche Niederschläge bei gleichzeitig sehr hohen Temperaturen im Juli fielen. Mit insgesamt über 1.000 mm Niederschlag lag das Jahr 2007 um 236 mm über dem langjährigen Mittel.

Die Jahre im Einzelnen:

Abgesehen von einer Frostperiode im Februar waren bis Anfang Mai 2005 recht milde Temperaturen zu verzeichnen. Die dann fallenden Temperaturen machten dem Mais sehr zu schaffen, sodass es hier regelrecht zum Wachstumsstillstand kam. Dieses konnte aber ab Mitte Juni mit steigenden Temperaturen wieder gut gemacht werden. Im Juli und August fielen leicht überdurchschnittliche Regenmengen. Darauf folgte dann ein schöner Herbst. Insgesamt zeigte dieses Jahr 2005 eine leicht überdurchschnittliche Niederschlagsmenge mit guter Verteilung übers Jahr.

Das Jahr 2006 war das erste „volle“ Jahr im Projekt EVA und zugleich das erste Jahr der extremen Witterungsbedingungen. Die Temperaturen lagen 1,4°C über dem langj. Mittel und die Jahresniederschlagsmenge lag mit 753 mm im Bereich des lang. Mittels. Probleme bereitete die ungleichmäßige Verteilung der Niederschläge übers Jahr gesehen. Dies führte zu einer Sommertrockenheit im Juni und Juli, welche dem Mais sehr zu schaffen machte, dem gerade zum wichtigen Zeitpunkt der Blüte das Wasser fehlte. Auf vielen Praxisflächen waren irreparable Schäden zu verzeichnen, in extremen Fällen wurden Bestände sogar geschlegelt. Fast unmöglich war es außerdem im Zweikulturnutzungssystem die Zweitkulturen zu etablieren. Nach der Saat, welche unmittelbar nach der Ernte der Erstfrucht stattfand, fehlte zum gesicherten Auflaufen und für die Jugendentwicklung der Niederschlag. Auch der im August heftig einsetzende Regen vermochte dieses nicht wieder wett zu machen, dieser kam ebenso für die meisten Maisbestände zu spät.

Die ersten drei Monate des Jahres 2007 waren von überdurchschnittlich hohen Niederschlägen geprägt. Der April allerdings zeigte eine noch nie da gewesene Trockenheit, es regnete insgesamt 0,5 mm. Alle Winterungen hatten hierunter sehr zu leiden, so kam es auf dem leichtem Standort Werlte zu deutlichen Trockenschäden beim Winterraps und Getreide. Der weitere Jahresverlauf war geprägt von überdurchschnittlich hohen Regenmengen; diese führte zu einer Jahresniederschlagsmenge von gut 1000 mm. Im Gegensatz zu 2006 sorgte das Wetter beim Mais für sehr gute Erträge wohingegen das Getreide starke Ertragseinbußen hinzunehmen hatte.

Die ersten Monate des Jahres 2008 waren ebenfalls sehr regnerisch. Der April, Mai und Juni zeigten jetzt allerdings schon wieder deutlich unterdurchschnittliche Regenmengen, sodass auch hier schon wieder Trockenstress zu verzeichnen war. Bei der Wintergerste hat die Trockenheit zu Mindererträgen geführt.

Vor dem Hintergrund dieser zum Teil recht extremen Jahre in der Projektlaufzeit sind die Ergebnisse entsprechend zu interpretieren. Die Ertragsschwankungen einzelner Fruchtfolgeglieder bzw. der Ausfall einzelner Kulturen ist auf vorstehend beschriebene Witterungsverhältnisse zurückzuführen.

Tabelle 2: Temperaturen und Niederschläge

	Tagesmitteltemperatur in °C					Niederschlag in mm				
Mon	**´05**	**´06**	**´07**	**´08**	**langj. Mittel**	**´05**	**´06**	**´07**	**´08**	**langj. Mittel**
Jan	4,1	-0,2	5,7	5,3	***1,7***	63	22	151	132	***64***
Feb	0,9	1,2	4,5	4,4	***1,9***	50	46	90	38	***44***
Mrz	4,1	2,3	7,2	4,9	***4,7***	70	62	65	101	***61***
Apr	9,9	8,2	12,3	8,1	***7,6***	42	62	1	38	***50***
Mai	12,2	13,8	13,7	15,2	***12,4***	101	97	99	21	***55***
Jun	15,4	16,5	17,7	16,7	***15,1***	52	25	66	44	***81***
Jul	17,4	21,8	16,7	18,1	***17,0***	106	11	167	98	***71***
Aug	15,8	16,0	16,8	17,2	***16,6***	74	151	52	94	***65***
Sept	13,5	17,9	13,1	13,4	***13,4***	58	13	87	38	***71***
Okt	12,3	13,3	8,7	9,8	***9,6***	64	70	35	83	***66***
Nov	5,7	8,2	5,6	6,2	***5,3***	79	94	92	71	***68***
Dez	3,1	6,1	3,2	1,8	***2,7***	63	101	98	18	***72***
Ø/ Sum.	**9,5**	**10,4**	**10,4**	**10,1**	***9,0***	**824**	**753**	**1004**	**776**	***768***

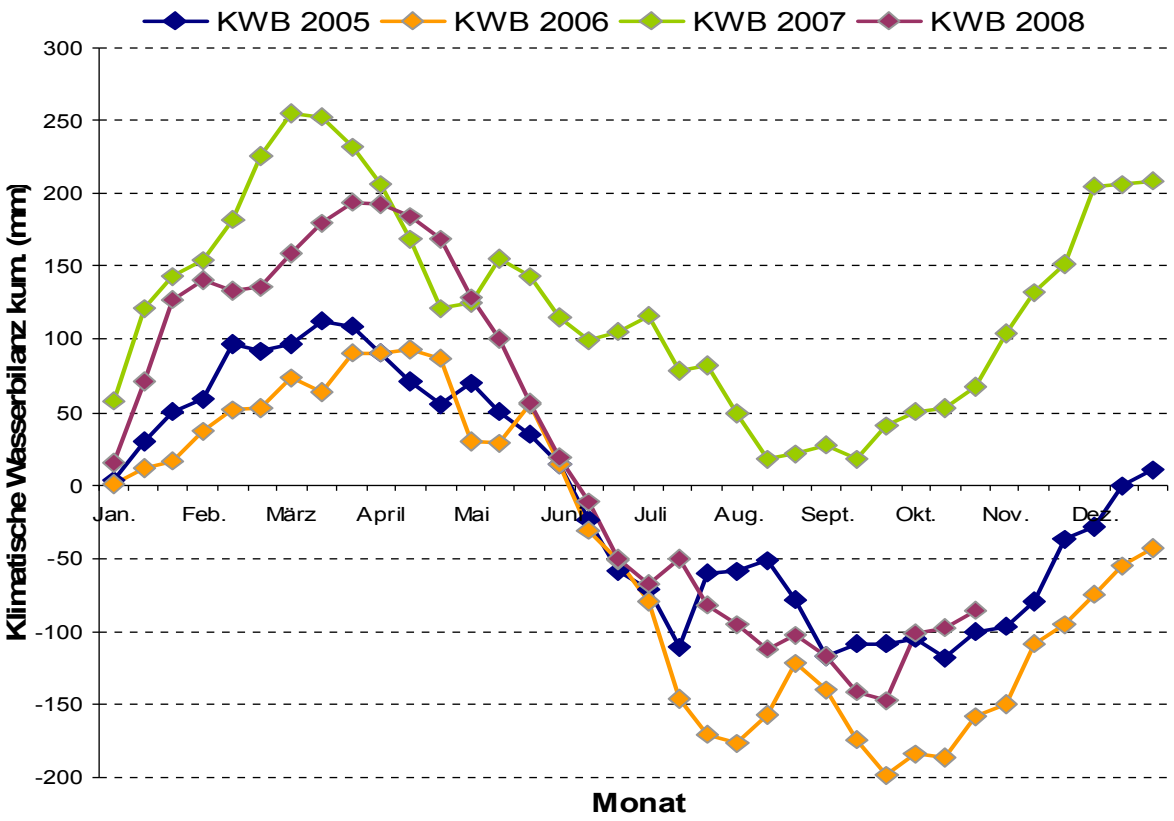


Abbildung 1: Klimatische Wasserbilanzen der Jahre 2005 bis 2008

2.3 Versuchsdurchführung

Der Versuch ist als Streifenanlage mit wiederholtem Standardausgleich angelegt.

Wiederholungen: 4

Parzellengröße: Brutto: 12 m x 6 m = 72 m²

Netto: 7 m x 1,5 m = 10,5 m²

Im Frühjahr 2006 wurden die Prüfvarianten als Doppelanlage in direkter Nachbarschaft zum bestehenden Grundversuch aus dem Jahre 2005 angelegt. Sie lagen in einer Linie direkt nebeneinander und waren durch einen 10 m Randstreifen getrennt. Der Lageplan gilt sowohl für die 1. Anlage aus dem Jahr 2005 als auch für die 2. Anlage aus 2006. Der Lageplan ist in der Tabelle 3 dargestellt.

Vor der Versuchsanlage im Jahr 2005 wurde die Fläche einheitlich gepflügt und im Jahr 2006 wurden die Kulturen ohne wendende Bodenbearbeitung bestellt. Aufgrund schlechter Erfahrungen mit der Mulchsaat durch mangelhaften Aufgang einzelner Kulturen im Jahr 2006 wurde ab 2007 konsequent dazu übergegangen, einmal im Jahr zu Pflügen; allerdings nicht zur Zweitfrucht.

Tabelle 3: Lageplan

Wdh.	**Grundversuch**							**Regionalspezifische Fruchtfolgen**				Parz.-Länge
Rand												2,5 m
d:	1	2	3	1	4	5	1	6	7	8	1	7 m
Rand												5 m
c:	1	2	3	1	4	5	1	6	7	8	1	7 m
Rand												5 m
b:	1	2	3	1	4	5	1	6	7	8	1	7 m
Rand												5 m
a:	1	2	3	1	4	5	1	6	7	8	1	7 m
Rand												2,5 m

2.3.1 Versuchsvarianten

Die Fruchtfolgen 1 bis 5 sind auf den 7 Prüfstandorten des Verbundprojektes einheitlich gestaltet. Es handelt sich dabei um keine reinen Energie-Fruchtfolgen, sondern um eine Kombination aus Pflanzen für die energetische Verwertung und um Marktfrüchte.

In den beiden Fruchtfolgen 1 und 3 wurde im Anbaujahr 2007 nach der GPS-Nutzung der Wintertriticale noch eine Zweitfrucht nachgebaut, um die Vegetationszeit zur Biomasseerzeugung zu nutzen. Für die Fruchtfolge 1 wurde eine Sorghumhybride und bei der Var. 3 Einj. Weidelgras nachgebaut. Die Tabelle 4 zeigt die Fruchtfolgen im Grundversuch der ersten Anlage (2005). Die Doppelanlage beinhaltet die gleichen Fruchtfolgen, allerdings um ein Jahr versetzt (Beginn in 2006).

Bei den Regionalfruchtfolgen wurde in der Var. 6 eine ausschließlich zur Biomasseproduktion ausgerichtete Fruchtfolge mit Mais und anschließendem Grünschnittroggen mit Beerntung im darauf folgenden Mai gewählt, die praktisch die komplette Vegetationszeit zur Massenbildung ausschöpft. In der Fruchtfolge 7 wurde ebenfalls eine reine Energiefruchtfolge mit Mais und unterschiedlichen Getreidearten (Wintertriticale und Wintergerste) zur Ganzpflanzensilage für die Biomasseproduktion geprüft. Hierbei wurde im Gegensatz zur Var. 6 bewusst auf einen Fruchtfolgewechsel zur Biomasseproduktion geachtet. In der Fruchtfolge 8 wurde Winterweizen als Ganzpflanzensilage geerntet und dieses Fruchtfolgeglied in eine Marktfrucht-Fruchtfolge, bestehend aus Körnermais und Wintergerste sowie Winterweizen, eingebettet.

Tabelle 4: Grundversuch incl. Regionalfruchtfolgen Nds.

Ff	Fruchtfolgeglieder 2005	Fruchtfolgeglieder 2006	Fruchtfolgeglieder 2007	Fruchtfolge-glieder 2008
1	**S.Gerste**(Gp) Ölrettich (Gd) (SZF)	**Mais** (Gp)	**W.Triticale** (Gp) ~~**Zuckerhirse** (Gp) (ZWF)~~	W.Weizen (Ko)
2	**Sudangras** (Gp)	**Futterroggen** (WZF) **Mais** (ZWF)	W.Triticale (Ko)	W.Weizen (Ko)
3	**Mais** (Gp)	**Futterroggen** (WZF) **Sudangras** (ZWF)	**W.Triticale** (Gp) **Einj. Weidelgras** (Gp) (SZF)	W.Weizen (Ko)
4	**S.Gerste** (Gp) **Kleegras** (Gp) (US)	**Kleegras** (Gp)	**Kleegras** (Gp)	W.Weizen (Ko)
5	**Hafer-Sortenmischung** (Gp)	**W.Triticale** (Gp)	W.Raps (Ko)	W.Weizen (Ko)
6	**Mais** (Gp)	**Futterroggen** (WZF) (Gp) **Mais** (ZWF) (Gp)	**Futterroggen** (WZF) (Gp) **Mais** (ZWF) (Gp)	W.Weizen (Ko)
7	**Mais** (Gp)	**W.Triticale** (Ko)	**W.Gerste** (Gp)	W.Weizen (Ko)
8	Körnermais (Ko) **als Silomais geerntet**	**W.Weizen** (Gp)	**W.Gerste** (Ko)	W.Weizen (Ko)

Biogassubstrate, Marktfrucht, Futter, Gründüngung, Gp = Ganzpflanze,
Gd = Gründüngung, SZF = Sommerzwischenfrucht, WZF = Winterzwischenfrucht,
ZWF = Zweitfrucht Ko = Körner-Nutzung, ~~durchgestrichen~~ = Kultur konnte nicht etabliert werden

2.3.2 Anbaudaten

Die Fruchtfolgeglieder mit den entsprechenden Sorten, Aussaatterminen, -stärken und Ernteterminen über den gesamten Projektzeitraum sind im Anhang, Tabelle A1 dargestellt. Die Sortenwahl erfolgte in Abstimmung mit den Projektpartnern, bei den Regionalfruchtfolgen wurden Sorten auf Basis der Empfehlungen aus den regionalen Landessortenversuchsergebnissen ausgewählt. In Abhängigkeit von den Witterungsverhältnissen wurden die Aussaattermine zum möglichst optimalen Zeitpunkt gewählt; teilweise waren jedoch auch organisatorische Probleme dafür verantwortlich, dass die Aussaat oder auch Düngung, Pflanzenschutz und Ernte nicht immer zum optimalen Zeitpunkt erfolgten.

2.3.3 Düngung und Pflanzenschutzmaßnahmen

Die Grunddüngung im Versuch erfolgte auf Grundlage der Bodenuntersuchungsergebnisse der jeweiligen Variante. Die Stickstoffgabe wurde auf Grundlage der in Niedersachsen festgelegten Sollwerte und der ermittelten N_{min}-Ergebnisse berechnet. In der Regel wurde für die Düngung jeweils ein Mischdünger erstellt, welcher sich aus Tripelphosphat, 40er Kali, Kieserit und KAS bzw. ASS zusammensetzte. Beim Mais wurde grundsätzlich ein Unterfußdünger eingesetzt, welcher sich aus DAP sowie ASS zusammensetzt, sodass 40 kg N/ha und 30 kg P_2O_5/ha gegeben wurden.

Eine im Herbst 2006 durchgeführte Ergänzungskalkung zeigte Wirkung, die pH-Werte der einzelnen Varianten lagen im Schnitt bei 5,5; dies liegt im anzustrebenden Bereich von 5,4 bis 5,8 und entspricht somit der Gehaltsklasse C.

Der Pflanzenschutz wurde bedarfsorientiert bzw. nach dem Schadschwellenprinzip durchgeführt.

Die Angaben zur Düngung sowie zum Pflanzenschutz in den jeweiligen Varianten sind ebenfalls der Tabelle A1 im Anhang zu entnehmen.

2.4 Berechnungsgrundlagen

2.4.1 Nährstoffbilanzierung (N, P, K)

Die Nährstoffbilanzierung wurde für die einzelnen Erntejahre ermittelt, wobei zu einem Erntejahr zum einen die alleinige Hauptkultur zählt, aber auch eine mögliche Vornutzung in Form von Grünschnittroggen mit anschließender Hauptfrucht oder aber auch eine Sommerzwischenfrucht nach einer früh räumenden Hauptfrucht (z. B. GPS-Getreide). Für die Zufuhr werden mineralische Dünger und die N_2-Fixierung durch Leguminosen (Literaturquelle 2) gerechnet. Als Abfuhren werden die mit dem Erntegut abgefahrenen Nährstoffe gezählt. Somit errechnet sich der Nährstoffsaldo aus Nährstoffzufuhr abzüglich Nährstoffabfuhr. Keine Berücksichtigung bei der Nährstoffbilanzierung finden die atmosphärische Deposition, die NO_3-Auswaschung, die N_2-Bindung durch frei lebende Bakterien sowie die N-Zufuhr mit Saatgut. Nährstoffe, die in Pflanzenresten, wie z. B. Mulch, Gründüngung, Strohdüngung bei Druschfrüchten und Wurzeln, auf der Parzelle verbleiben, werden ebenfalls nicht bilanziert.

Aus der Tabelle 4 wird ersichtlich, welche Früchte als Gründüngung oder aber für die Biogasgewinnung genutzte Kulturen anzurechnen sind.

2.4.2 Humusbilanz

In der Humusbilanzierung wurde die Humuszehrung der Kulturen nach CC bestimmt und der Humusreproduktion durch die Ernterückstände gegenübergestellt. Bei Druschfrüchten ist das Stroh grundsätzlich auf dem Feld verblieben, hierfür wurden 100 kg Humus C als Reproduktion pro t Stroh angerechnet. Weiterhin wurde bei allen für die Biomasseproduktion bestimmten Fruchtfolgegliedern die Rückführung von Humus C über Gärrest berücksichtigt. Mit Hilfe der Berechnung der theoretischen Biogasausbeute wurde der Teil des Kohlenstoffs bestimmt, welcher für die Biogasproduktion abgebaut wird. Der verbleibende Rest findet sich somit im Gärrest wieder und wird auf den Acker zurückgeführt. In der Bilanzierung wird die daraus resultierende Humusreproduktion berücksichtigt; hierdurch ergeben sich deutlich positivere Bilanzwerte als ohne die Berücksichtigung des Gärrestes.

2.4.3 Theoretische Biogas- und Methangasausbeute

Bei der Berechnung zur spezifischen Biogasausbeute werden für die Inhaltsstoffe Eiweiß, Fett und Kohlenhydrate jeweils bestimmte Biogaserträge mit bestimmten Methangehalten angesetzt. Die aus den Analysen bekannten Inhaltsstoffe werden hiermit multipliziert. Da davon auszugehen ist, dass nicht alles in Biogas umgesetzt werden kann, wird wie in der Fütterung auch die Verdaulichkeit nach den DLG–Futterwerttabellen berücksichtigt. Diese orientieren sich nach den jeweiligen Reifestadien der Kulturen.

3 Ergebnisse und Diskussion

3.1 Erträge der Anlage 2005 (I) und Anlage 2006 (II)

Für den niedersächsischen Standort Werlte lässt sich allgemein sagen, dass die Witterungseinflüsse maßgeblich das Ertragsverhalten einzelner Kulturen in den unterschiedlichen Fruchtfolgen beeinflusst haben. Der sandige Boden mit einer Ackerzahl von 31 BP lässt die Kulturen bei längeren Trockenphasen recht schnell unter Trockenstress leiden. So herrschten in 2006 tendenziell schlechte Bedingungen für den Mais bzw. für die Sorghumhybriden vor, in 2007 und 2008 hingegen zeigten die Winterungen starke Ertragseinbußen aufgrund von Frühjahrs- bzw. Frühsommertrockenheit. Dieser Umstand macht es zwingend erforderlich die entsprechenden Ergebnisse aus der Doppelanlage mit in die Bewertung einfließen zu lassen. Um das Ertragsvermögen der einzelnen Fruchtfolgen miteinander vergleichen zu können, wurden bei den Marktfruchtvarianten der Strohanteil zur Gesamtertragsermittlung hinzugerechnet. Die Ergebnisse sind in den Abbildungen 2 und 3.

Die Fruchtfolgen im Einzelnen:

Die Fruchtfolge 1 war mit Sommergerste und anschließender Zwischenfrucht Ölrettich, Mais und Wintertriticale-GPS mit anschließender Zweitfrucht Sudangras in den ersten 3 Prüfjahren ausschließlich auf die Biomasseproduktion ausgerichtet. Der durch den Projektbeginn bedingte Sommergerstenanbau lieferte mit 81 dt TM/ha als GPS einen noch zufrieden stellenden Ertrag. Die anschließende Zwischenfrucht Ölrettich war ursprünglich ebenfalls zur Biomassenutzung angebaut worden, ist aufgrund des bescheidenen Aufwuchses und der sehr geringen TM-Gehalte jedoch auf der Fläche verblieben. Der 2006 nachfolgende Mais in Hauptfruchtstellung lieferte, bedingt durch die Frühsommertrockenheit im Juni/Juli, mit 112 dt TM/ha nur bescheidene Erträge. Auch die 2007 folgende Wintertriticale-GPS konnte mit 82 dt TM/ha ertraglich nicht überzeugen. Die Apriltrockenheit führte bei dem gut etablierten Bestand zu einer starken Reduktion der Bestockungstriebe, sodass ein schütterer Bestand zur Ernte anstand. Der anschließende Sorghumanbau konnte sich aufgrund der nasskalten Witterung im Juni nicht etablieren, sodass eine Beerntung nicht stattfand.

In der Anlage II konnte der Mais 2007 ein hervorragendes Ergebnis von 219 dt TM/ha erzielen. Aber auch die Wintertriticale-GPS konnte höhere Leistungen gegenüber der Erstanlage liefern und auch die Zweitfrucht Hybridsorghum lieferte mit knapp 50 dt TM/ha noch ein befriedigendes Ergebnis. Der Vergleich der beiden um ein Jahr versetzten Anlagen macht die Jahreseinflüsse auf die Entwicklung der Kulturen sehr deutlich. Dank der günstigeren Witterungsbedingungen für die in der zweiten Anlage stehenden Kulturen konnte der Gesamtertrag über die drei Jahre von 306 (Anlage 05) auf 459 dt TM/ha (Anlage 06) erhöht werden.

In der Fruchtfolge 2 wurde mit Sudangras und Grünschnittroggen mit anschließendem Mais in den ersten beiden Prüfjahren Biomasse produziert, denen im dritten Jahr die Marktfrucht Wintertriticale folgte. Das Sudangras erreichte mit 91 dt TM/ha, auch bedingt durch stärkeren Unkrautdruck, nur einen mäßigen Ertrag. Der nach der Grünschnittroggennutzung folgende Mais wurde durch die Frühsommertrockenheit während der Jugendentwicklung noch negativ beeinflusst. Die Wintertriticale mit 97 dt TM/ha (Korn plus Stroh) konnte ertraglich nicht überzeugen. Gleichwohl lieferte diese Fruchtfolge einen höheren Gesamtertrag gegenüber Fruchtfolge 1, weil erstens keine Kultur vollständig ausgefallen ist und zweitens der Mais nach Grünschnittroggen höhere Erträge erzielte als der Mais in alleiniger Hauptfruchtstellung. Der um 92 dt TM/ha höhere Gesamtertrag der Anlage II resultiert aus den besseren Wachstumsbedingungen im Jahr 2007 für den Grünschnittroggen und den Mais sowie der höheren Ertragsleistung bei der Wintertriticale.

Mit dem Mais startete die auf ausschließliche Biomasseproduktion ausgerichtete Fruchtfolge 3, dem dann der Grünschnittroggen mit anschließendem Sudangras als Zweitfrucht und im dritten Jahr die Wintertriticale-GPS mit anschließendem Einj. Weidelgras als Zwischenfrucht folgte. Der Mais 2005 erzielte mit 163 dt TM/ha ein gutes Ergebnis, während im 2. Jahr vor allem das Sudangras etwas enttäuschte. Bei Vergleich der Fruchtfolgen 2 und 3 in den Jahren 2005 und 2006 fällt auf, dass der Mais gegenüber dem Sudangras (sowohl als Haupt- als auch als Zweitfrucht nach Grünroggen) Ertragsvorteile hatte, auch im Trockenjahr 2006. Der durch die Frühsommertrockenheit einsetzende Wachstumsstillstand bei Mais und Sudangras wurde optisch vom Sudangras besser kompensiert. Dennoch war der Mais dank der noch als befriedigend einzustufenden Kolbenbildung in der Lage bis zur Ernte noch etwas höhere TM-

Erträge zu erzielen. Die 2007 geerntete Wintertriticale-GPS lieferte wie in den Fruchtfolge 1 und 2 nur mäßige Erträge. Hingegen konnte das Einj. Weidelgras mit 53 dt TM/ha noch einen zufrieden stellenden Ertrag erzielen. In der Anlage II werden auch in dieser Fruchtfolge die Witterungseinflüsse erkennbar. Der Mais in Hauptfruchtstellung zeigte 2006 Schwächen, während 2007 die Kombination Grünschnittroggen und Sudangras deutlich bessere Ergebnisse lieferten. In der Summe erzielte die Doppelanlage nur einen geringen Mehrertrag.

In der Fruchtfolge 4 wurde in die Erstkultur Sommergerste ein Kleegrasgemenge als Untersaat bestellt und zweieinhalb Jahre zur Biomasseproduktion genutzt. Die Sommergerste erzielte als GPS einen TM-Ertrag von 83 dt/ha. Die Untersaat konnte sich gut etablieren, sodass im gleichen Jahr davon noch 47 dt TM/ha in zwei Schnitten geerntet werden konnten. In den darauf folgenden Hauptnutzungsjahren wurden 109 bzw. 96 dt TM/ha in mehreren Schnitten erzielt, sodass in der Summe der 3 Jahre ein Ertrag von 335 dt TM/ha erreicht wurde. Die Doppelanlage erzielte einen etwas höheren Gesamtertrag, was durch die höheren Erträge in den Jahren 2007 und 2008 begründet ist. Überraschend war, dass sich das Gras nach der sehr schwachen Etablierung im Trockenjahr 2006 noch sehr gut regenerieren konnte.

Mit Getreide zur Biomasseproduktion und Winterraps als Marktfrucht war die Fruchtfolge 5 ausgestattet. Die Mischung von 2 Hafersorten zur GPS-Nutzung erreichte gegenüber den Sommergerstenvarianten in den Fruchtfolgen 1 und 4 mit 112 dt TM/ha deutlich bessere Leistungen. Die 2006 geprüfte Wintertriticale erzielte wie in Var. 1 nur mäßige Erträge und auch der Winterraps zur Körnernutzung erzielte mit 23 dt Kornertrag je Hektar nur ein sehr bescheidenes Ergebnis, was jedoch auch versuchsbedingt auf vermehrten Vogelfraß in den Parzellen zurückzuführen ist. Demzufolge erreichte diese Variante mit 261 dt TM/ha den geringsten Gesamtertrag. Dieses Ergebnis wurde bei der Doppelanlage mit noch geringeren Ertragsleistungen bei allen drei Kulturen bestätigt.

Bei der Fruchtfolge 6 wurde die Vegetationszeit bestmöglich ausgenutzt, indem nach der Hauptfrucht Mais im Herbst Grünschnittroggen ausgesät wurde, der dann vor der Aussaat des Maises im Mai geerntet wurde. Die intensive Biomasseproduktion lieferte demzufolge auch die mit Abstand höchsten Gesamterträge von 586 dt TM/ha in drei Jahren. Der Grünschnittroggen erzielte dabei mittlere Erträge von 39 bis 53 dt TM/ha. Die günstigen Witterungsbedingungen für den später gedrillten Mais im Jahr 2007 konnte der Mais gut in Ertrag umsetzen. In der Doppelanlage wurde der Mais 2006 relativ früh gesät und wurde durch die Trockenheit noch negativ beeinflusst. In den Jahren 2007 und 2008 wirkte sich die Frühjahrstrockenheit weniger auf den Mais aus und auch der Grünschnittroggen konnte sich relativ gut behaupten. Dadurch lag auch bei dieser Fruchtfolge die Zweitanlage ertraglich vorne.

In der Fruchtfolge 7 wurde mit Silomais und Wintertriticale als Marktfrucht sowie Wintergerste als GPS mit anschließendem Winterweizen ein Wechsel von Energie- und Marktfrucht realisiert, wobei auf eine effektive Ausschöpfung der Vegetationszeit im Sommer teilweise verzichtet wurde. Die Mais konnte 2005 mit 188 dt TM/ha ein gutes Ergebnis erzielen, während die Wintertriticale mit 42 dt Kornertrag/ha genau so enttäuschte wie 2007 die Wintergerste als GPS mit 77 dt TM/ha. In der Summe der drei Prüfjahre wurde ein Gesamtertrag von 350 dt TM/ha erzielt, der auch in der Doppelanlage erreicht wurde. Hierbei schnitt der

Mais 2006 deutlich schwächer ab, dafür konnte das Getreide bessere Ergebnisse liefern und die schlechten Werte des Maises kompensieren.

Körnermais stand in Fruchtfolge 8 als Markfrucht vor den GPS-Varianten Winterweizen und Winterroggen. In der Anlage 2005 musste jedoch die früh abreifende Sorte Silas aufgrund mangelhafter Kolbenausbildung als Silomais geerntet werden. Dadurch erzielte der Mais aber auch nur einen bescheidenen Ertrag in Höhe von 92 dt TM/ha. Die GPS Varianten konnten mit 102 und 82 dt TM/ha leider auch nicht überzeugen. Entschieden besser sah das Ergebnis der Doppelanlage aus, wo der Körnermais 91 dt Kornertrag erzielte und damit den Gesamtertrag gegenüber der Erstanlage um ca. 100 dt TM/ha auf insgesamt 380 dt TM/ha erhöhte. Gleichwohl zählte auch diese Fruchtfolge zu den ertragsschwachen Varianten.

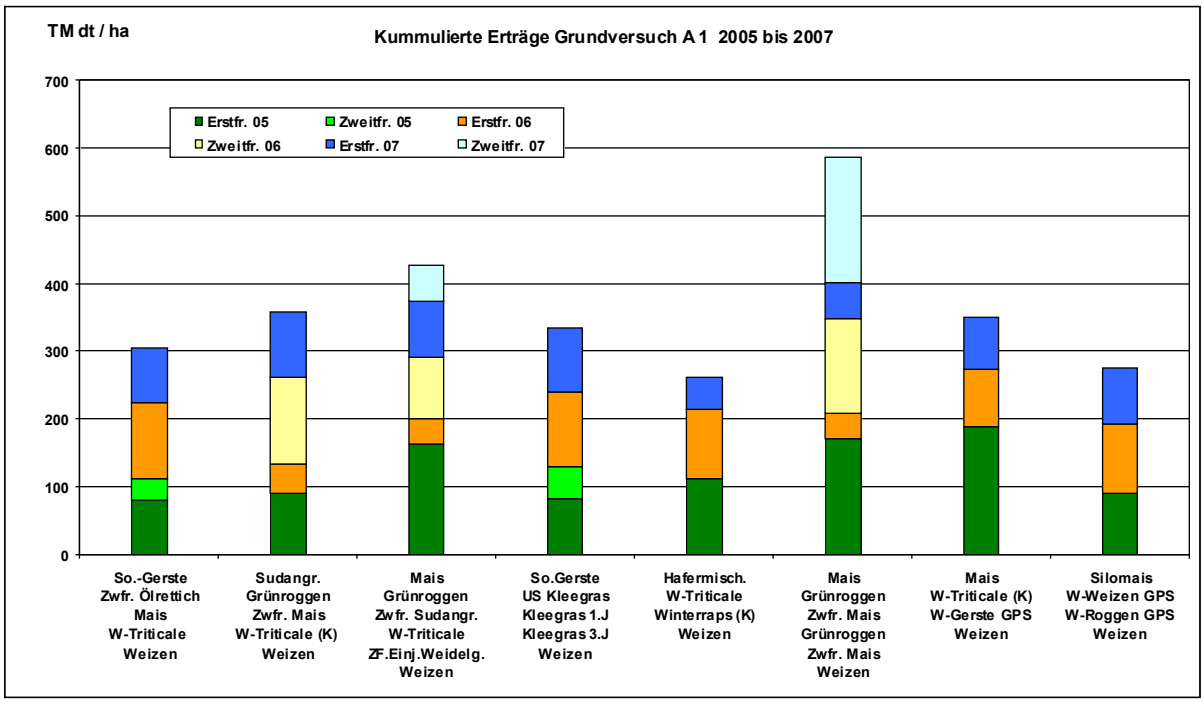


Abbildung 2: Aufsummierte Erträge der Anlage I 2005 bis 2007

Zur besseren Vergleichbarkeit zwischen den beiden Anlagen wurde hier auf die Darstellung der Weizenerträge des Jahres 2008 verzichtet. In der Darstellung ist immer der Gesamtertrag, also bei Druschfrüchten incl. Stroh angegeben.

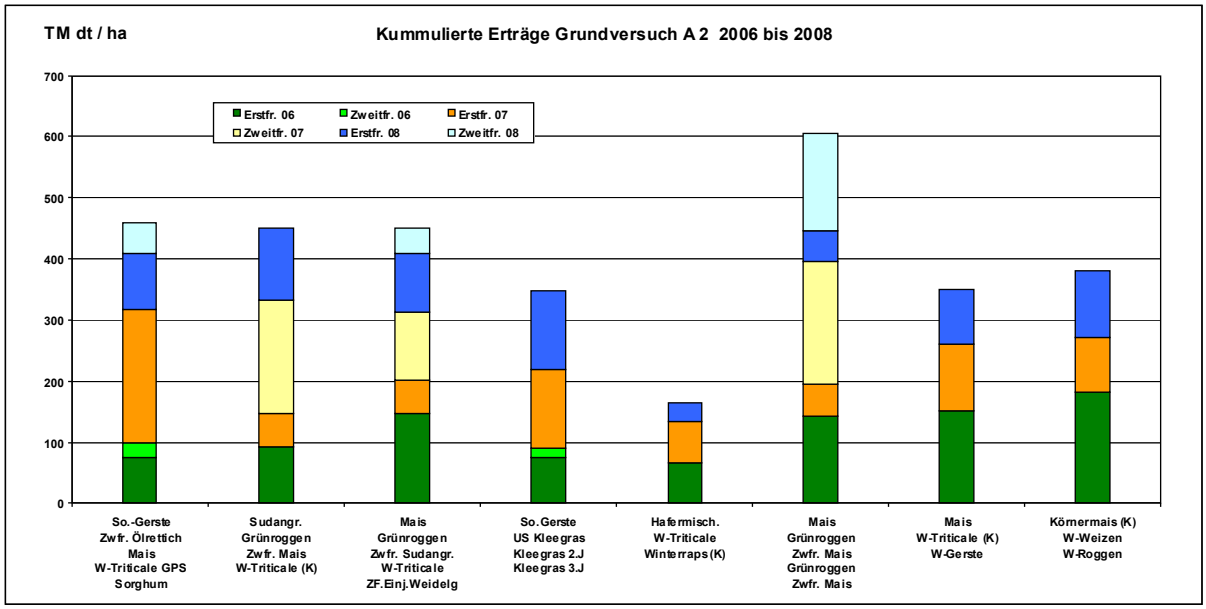


Abbildung 3: Aufsummierte Erträge der Anlage II 2006 bis 2008

Zusammenfassend lässt sich aus ertraglicher Sicht folgendes festhalten:

Die Fruchtfolge 6 mit intensiver Ausnutzung der Vegetationszeit erreichte mit Abstand die höchsten Gesamterträge gefolgt von der Fruchtfolge 3, in der der Mais als Hauptfrucht und das Sudangras als Zweitfrucht nach Grünschnittroggen angebaut wurde.

Beim Vergleich der Anlagen I und II der Jahre 2005 bis 2007 bzw. 2006 bis 2008 werden die Auswirkungen der drastischen Witterungsunterschiede eindeutig erkennbar. Die Sommertrockenheit des Jahres 2006 machte insbesondere den Sommerungen zu schaffen. Die Wintergetreidearten konnten 2006 die Winterfeuchte noch effektiv in Ertrag umsetzen. Für die Getreide-GPS-Nutzung wirkte sich die ab Frühsommer einsetzende Trockenheit nicht mehr gravierend aus. Im Jahr 2007 hingegen trat bereits im April eine ca. vierwöchige Trockenperiode ein, die sich vornehmlich auf die Wintergetreideaufwüchse negativ auswirkte, unabhängig von der Nutzungsrichtung. Für die Frühjahrsaussaaten, vornehmlich Mais in Hauptfruchtstellung oder auch nach Grünschnittroggen, herrschten günstige Witterungsbedingungen vor, da die Niederschläge ab Mai kontinuierlich und in ausreichender, zum Teil sehr ergiebiger Menge, fielen.

Diese geschilderten Witterungsverhältnisse führten dazu, dass bis auf die Fruchtfolgen 5 (Winterweizen-GPS) und 8 (Winterweizen-GPS) die übrigen Varianten 2007 deutliche Mehrerträge in der Anlage II gegenüber den Kulturen der Anlage I in 2006 aufwiesen.

Festzuhalten bleibt, dass die Ertragsunterschiede zwischen den Anlagejahren bei den Kulturen zum Teil sehr ausgeprägt sind. Ging man bisher davon aus, dass mit Wintergetreide-GPS mehr oder wenige konstante Ertragsleistungen zu erzielen seien, wurde diese Ansicht durch die Apriltrockenheit 2007 revidiert. Gleichwohl muss auch beim Mais oder dem Sudangras festgestellt werden, dass die Sommerwitterung starke Ertragsschwankungen bewirken kann. Für eine abgesicherte Substratversorgung von Biogasanlagen dürfte ein Anbau

mit sowohl Sommerungen als auch Winterungen bei auch zukünftig stark wechselnden Witterungsbedingungen eine gewisse Risikostreuung bedeuten.

3.2 Winterweizenerträge in Kombination mit dem Strohertrag

Im Jahr 2008 wurde in allen Fruchtfolgevarianten einheitlich Winterweizen als Marktfrucht angebaut, um anhand möglicher Ertrags- und Qualitätsunterschiede Rückschlüsse auf die unterschiedliche Fruchtfolgegestaltung ablesen bzw. ableiten zu können. Das Anbaujahr 2008 war, wie bereits erläutert, durch eine ausgesprochene Frühjahrstrockenheit beeinflusst, die insbesondere das Wintergetreide und damit auch den Winterweizen in den Fruchtfolgen beeinträchtigte. Selbst kleine Bodenunterschiede kamen durch die Trockenheit zum Tragen, sodass die ermittelte Ertragsdifferenzierung nicht unbedingt ausschließlich auf die Fruchtfolgegestaltung zurück zu führen sein muss. In der Tendenz ist jedoch erkennbar, dass in den Fruchtfolgen, wo eine Humus mehrende Kultur, wie z. B. Winterraps oder ein Kleegras- oder Grasgemenge vor der Weizenaussaat vorhanden war, gewisse Ertragsvorteile angedeutet werden. Hier liefern unter Umständen die Ergebnisse der Anlage II im Jahr 2009 weitere Erkenntnisse. Die Ergebnisse sind in Abbildung 4 dargestellt.

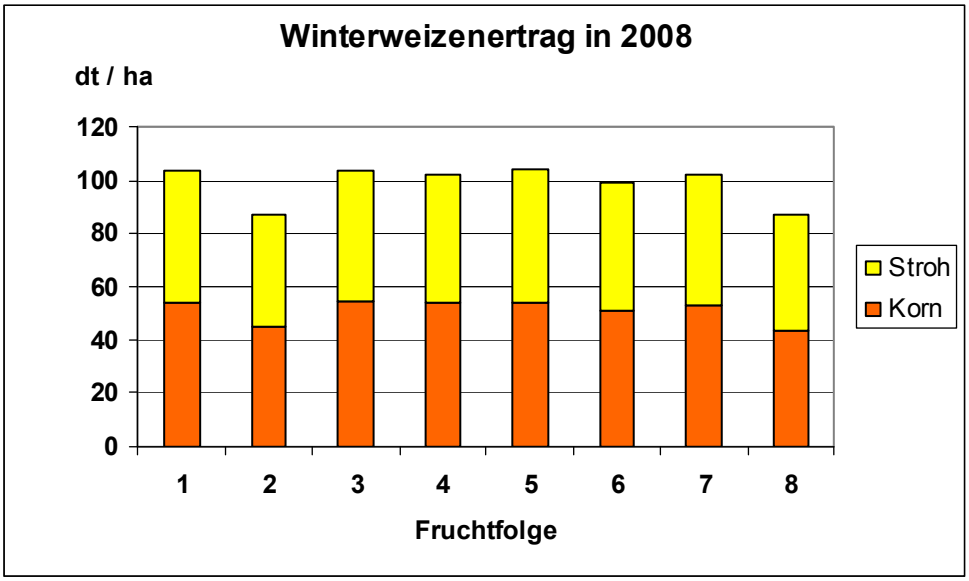


Abbildung 4: Winterweizenerträge in 2008

3.3 Nährstoffbilanz

N-Bilanzierung über alle Versuchsjahre:

Bei der Ermittlung der N–Salden über alle Versuchsjahre wirken sich die Unterschiede zwischen den Fruchtfolgevarianten in den Jahren 2005 bis 2007 am deutlichsten aus, da 2008 in allen Fruchtfolgen der Winterweizen mit gleicher Düngung angebaut und nur mit relativ geringen Ertragsunterschieden beerntet wurde.

Es fällt auf, dass die Fruchtfolgevarianten mit einer bestmöglichen Ausnutzung der Vegetationszeit und mit den höchsten Gesamterträgen nicht nur einen hohen N–Entzug, sondern auch einen geringen, teilweise auch negativen N–Saldo aufweisen. Dieses sind vornehmlich Fruchtfolgen mit hohem Maisanteil. Der Mais wurde mit einem Sollwert von 180 kg N/ha gedüngt, wobei der Nmin-Gehalt im Boden vor Saat entsprechend mit berücksichtigt wurde. Bei einem Ertragsniveau von 150 dt TM/ha und einem Rohproteingehalt von 7,5 % im Pflanzenaufwuchs wurden der Fläche 180 N/ha entzogen, sodass bei Berücksichtigung von einem Nmin-Gehalt von 30 kg N/ha vor Saat ein negativer N-Saldo von -30 kg N/ha vorliegt.

Die Fruchtfolgevarianten im Einzelnen (Abbildung 5):

In der Fruchtfolge 1 wurde ein positiver N-Saldo von 109 kg N/ha erreicht. Die überschüssige N-Versorgung resultiert in erster Linie aus der Düngung zum Ölrettich, der dann doch nicht genutzt wurde, sondern auf der Fläche verblieb, weil wegen des geringen Ertrages und der niedrigen TM-Gehalte zum Zeitpunkt der Ernte keine sinnvolle Nutzung des Aufwuchses für eine Biogasanlage bestand. Der darauf folgende Mais 2006 konnte dem Boden mehr Stickstoff entziehen als gedüngt wurde. Zur GPS-Nutzung der Wintertriticale wurde mit 160 kg N/ha eine hohe N-Düngung appliziert, wobei jedoch der sehr trockene April die Ertragserwartungen zunichte machte. Auch der 2008 genutzte Markfrucht-Winterweizen konnte auf Grund der Trockenheit im Frühsommer das bei der Düngebemessung zu Grunde gelegte Ertragsziel mit lediglich 52 dt TM/ha nicht erreichen, sodass auch in diesem Fall die Düngung deutlich über dem Entzug lag.

In der Fruchtfolge 2 wurde das Sudangras im ersten Prüfjahr mit 50 kg N/ha schwach gedüngt, wobei durch befriedigende Erträge deutlich mehr Stickstoff entzogen wurde. Auch 2006 wurde mit der Vornutzung Grünschnittroggen und anschließender Hauptkultur Mais in der Summe ein negativer N-Saldo erreicht. Die anschließenden Marktfrüchte Wintertriticale und Winterweizen konnten beide ertraglich nicht das bei der Düngung veranschlagte Ertragsniveau erreichen. In der Summe der vier Jahre erreichte diese Fruchtfolge einen ausgeglichenen N-Saldo.

Mit -20 kg N/ha wurde in der Fruchtfolge 3 insgesamt ein negativer N-Saldo erreicht. Bei den Energiepflanzen Mais, Sudangras und der Zwischenfrucht Einj. Weidelgras wurde mehr Stickstoff entzogen als gedüngt wurde. Die Getreidevarianten Grünschnittroggen, GPS-Wintertriticale sowie der Winterweizen als Marktfrucht lieferten hingegen positive N-Salden.

Bei der Fruchtfolge 4 führte der zweieinhalbjährige Kleegrasanbau nach der GPS-Sommergerste trotz Düngung von 240 bis 280 kg N/ha in den beiden Hauptnutzungsjahren zu einem um 100 kg N/ha höheren N-Entzug. Lediglich die Tatsache, dass eine N-Fixierungsleistung der Leguminosen von 125 kg N/ha mit zu berücksichtigen ist, ergibt einen positiven N-Saldo von +28 kg/ha.

Der hohe Marktfruchtanteil in der Fruchtfolge 5 mit dem versuchstechnisch bedingten enttäuschenden Winterrapsertrag (Vogelfraß in den allein liegenden Rapsparzellen) führte dazu, dass mit einem positiven N-Saldo von +122 kg N/ha das schlechteste Ergebnis erreicht wurde. Positiv hob sich der erfreuliche Ertrag des Sortenmischanbaus beim Hafer im ersten Prüfjahr hervor.

In der am intensivsten genutzten Fruchtfolge 6 mit Energiemais und zwischengeschaltetem Grünschnittroggen konnte wiederum ein negativer N-Saldo von -53 erreicht werden. Während der Mais in jedem Fall deutlich mehr Stickstoff entzogen hatte als zuvor gedüngt wurde, konnte beim Grünschnittroggen bei einem nur mäßigen bis mittleren Ertrag von 39 bzw. 53 dt TM/ha eine positive N-Bilanz ermittelt werden.

Die drei Getreidevarianten in der Fruchtfolge 7, die sowohl als GPS (2007) aber auch als Marktfrucht (2006 und 2008) geerntet wurden, zeigten N-Überschüsse, sodass in der Summe der vier Prüfjahre ein Saldo von +63 erzielt wurde. Lediglich der 2005 geerntete Mais reduzierte den N-Überhang.

In der getreidedominierten Fruchtfolge 8 sollte mit Körnermais und Getreide ein Marktfruchtanteil von 50 % realisiert werden. Allerdings musste der Körnermais aufgrund mangelnder Befruchtung als Silomais mit entsprechend reduziertem Gesamtertrag beerntet werden. Dadurch erreicht keine Kultur in dieser Fruchtfolge eine negative N-Bilanz, sodass in der Summe der 4 Prüfjahre ein hoher Saldo von +187 kg N/ha die Folge war.

Abschließend ist zu erwähnen, dass in den Prüfjahren vor allem die Getreidevarianten, unabhängig von der Nutzungsrichtung nicht das angestrebte Ertragsziel erreichten. Da die Düngung jedoch zu einem Zeitpunkt erfolgte, zu dem die schwachen Erträge noch nicht vorhersehbar waren, ist der Entzug entsprechend niedriger ausgefallen.

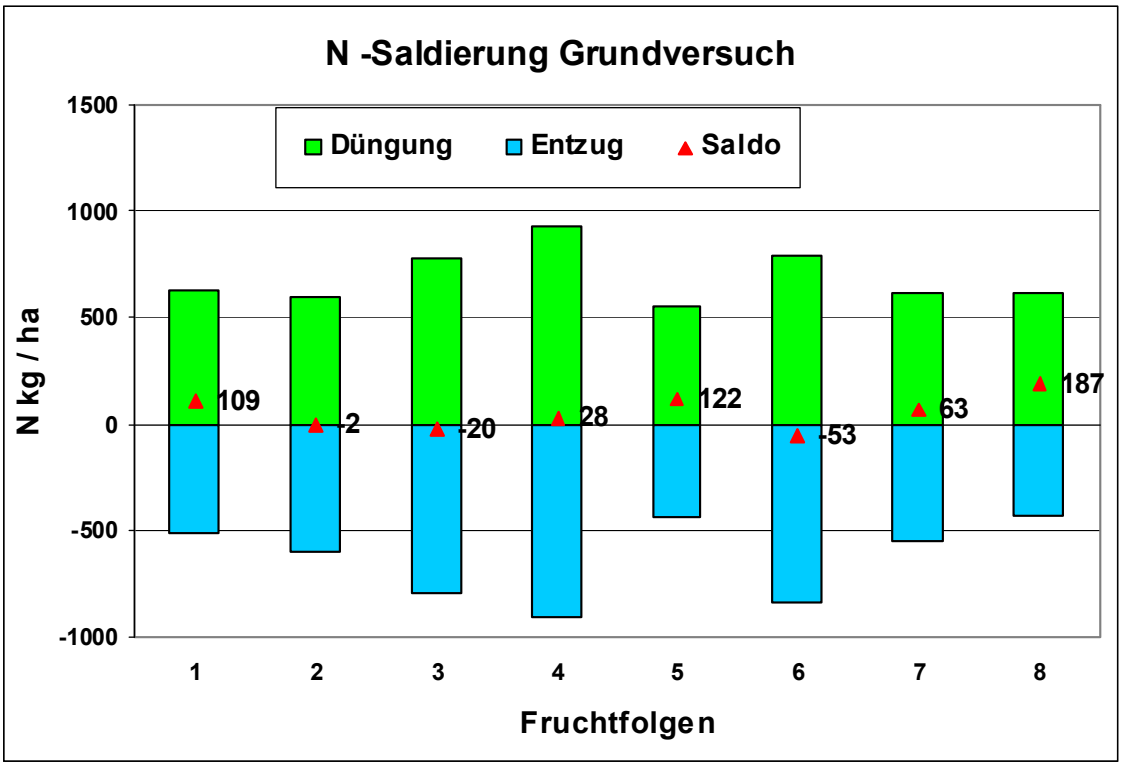


Abbildung 5: N-Bilanzierung der Jahre 2005 bis 2008

N_{min}-Werte (Abbildung 5):

Parallel zu der N-Bilanzierung durch den Abgleich von N-Zufuhr und N-Abfuhr sind zur Bewertung der Stickstoffhaushaltes auf der Fläche auch die Gehalte von mineralisiertem Stick-

stoff im Boden eine wichtige Größe. Die N_{min}-Ergebnisse sind im Anhang in den Tabellen A 4 und A 5 für beiden Anlagen dargestellt.

Unabhängig von den Fruchtfolgen wird erkennbar, dass die Jahreswitterung ebenso einen starken Einfluss auf die Rest-N_{min}-Werte hatte wie auch die angebauten Kulturen. Nach Ernte im Herbst wurden im Jahr 2008 nach Weizen sowie im Jahr 2005 die höchsten Rest-N_{min}-Werte ermittelt. Im Jahr 2005, als der Mais als Hauptfrucht angebaut und am 11. Oktober beerntet wurde, konnte mit deutlich über 110 kg N_{min}/ha erhöhte Werte ermittelt werden. Im Jahr 2006 lagen die Werte wesentlich niedriger. Das gleiche trifft auch für 2007 zu. Vielfach fand in diesen Jahren noch relativ spät eine N-Aufnahme durch die Kulturen statt bzw. war die Stickstoffmineralisation nicht so stark ausgeprägt.

P- Bilanzierung über alle Versuchsjahre (Abbildung 6):

Im Mittel der geprüften Fruchtfolgen wurde beim Phosphor durchschnittlich 31 kg P/ha gedüngt, das entspricht einer P_2O_5-Menge von 71 kg. Die Düngung erfolgte in der Regel zur Hauptkultur. Daher wurde beispielsweise bei einer Vornutzung durch Grünschnittroggen der P-Entzug des Roggens bei der Düngung zum Mais ausgeglichen, während für die Winterzwischenfrucht lediglich eine N-Düngung vorgenommen wurde.

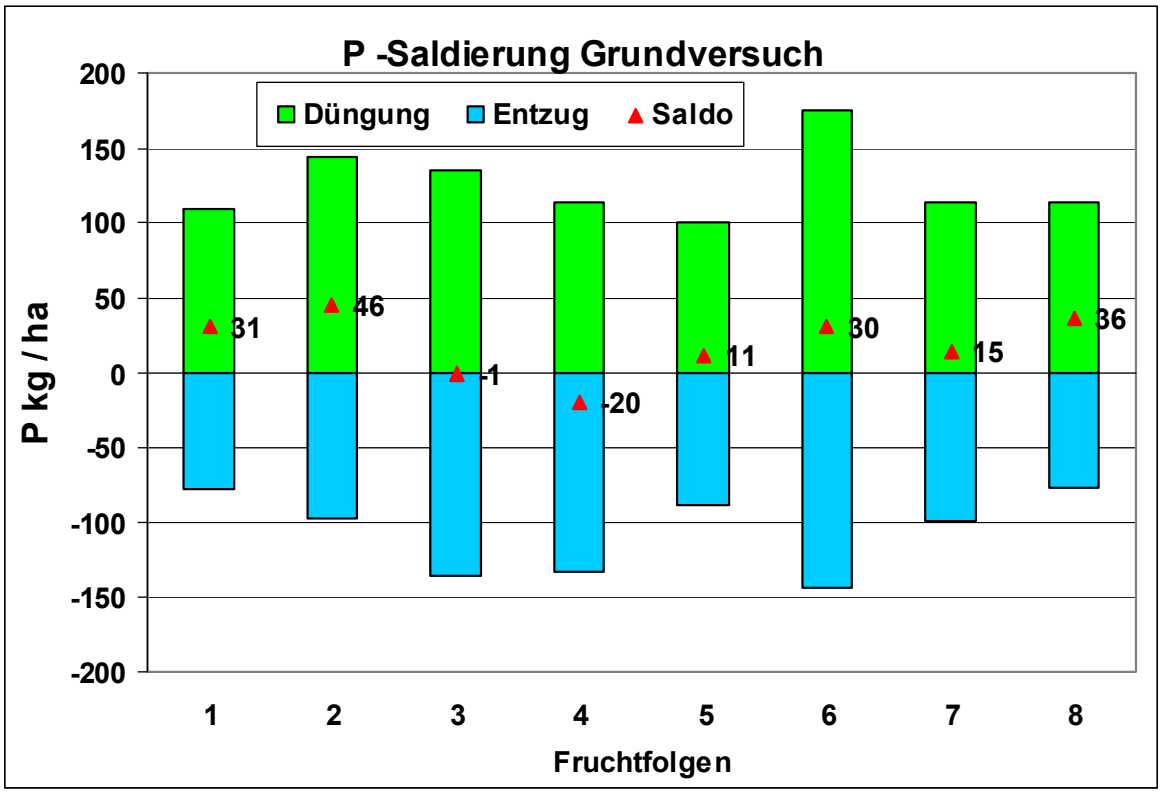


Abbildung 6: P-Bilanzierung der Jahre 2005 bis 2008

An Phosphor wurde durchschnittlich 27 kg P/ha/Jahr bzw. 62 kg P_2O_5/ha/Jahr entzogen. Die stärksten Entzüge wurden bei den ertragsstärksten Fruchtfolgen 6 und 3 ermittelt sowie in

der Fruchtfolge 4 mit zweieinhalbjährigem Kleegrasanbau. Von den Kulturen entzogen Silomais und das Kleegras die höchsten P-Mengen. Aufgrund der Unterfußdüngung mit einem Stickstoff-Phospatdünger wurde dem Mais mehr Phospat zur Verfügung gestellt als er dem Boden entzogen hat, sodass in diesem Fall ein positiver P-Saldo vorherrscht. Beim Kleegras übersteigt der Entzug die Düngung mit der Folge negativer P-Bilanzen. In den Getreidevarianten ist ein ausgeglichener bis positiver P-Saldo festzustellen.

Im Vergleich der untersuchten Fruchtfolgen wurden bei der Fruchtfolge 4 mit dem erwähnten Kleegras -20 und bei der Fruchtfolge 3 mit -1 ein negativer P-Saldo festgestellt. Die übrigen Fruchtfolgen wiesen positive P-Salden auf, wobei bei den Fruchtfolgen 2 und 8 die stärksten P-Überhänge zu verzeichnen sind.

K-Bilanzierung über alle Versuchsjahre (Abbildung 7):

Kalium wurde wie beim Phosphor ebenfalls zu den Hauptkulturen gedüngt, d. h. der Grünschnittroggen als Winterzwischenfrucht oder auch die Sommerzwischenfrucht Ölrettich und das Einj. Weidelgras bekamen keine gezielte K-Düngung verabreicht.

Durchschnittlich wurde in den Fruchtfolgen 161 kg K/ha und Jahr bzw. 193 kg K_2O/ha und Jahr gedüngt. Der Silomais und das Kleegrasgemenge wurden am intensivsten mit Kali versorgt. Es wurden 200 bis 260 kg K_2O/ha gegeben, wobei beim Gras ein Splitting der Gaben (zum 1. u. zum 2. Schnitt) erfolgte.

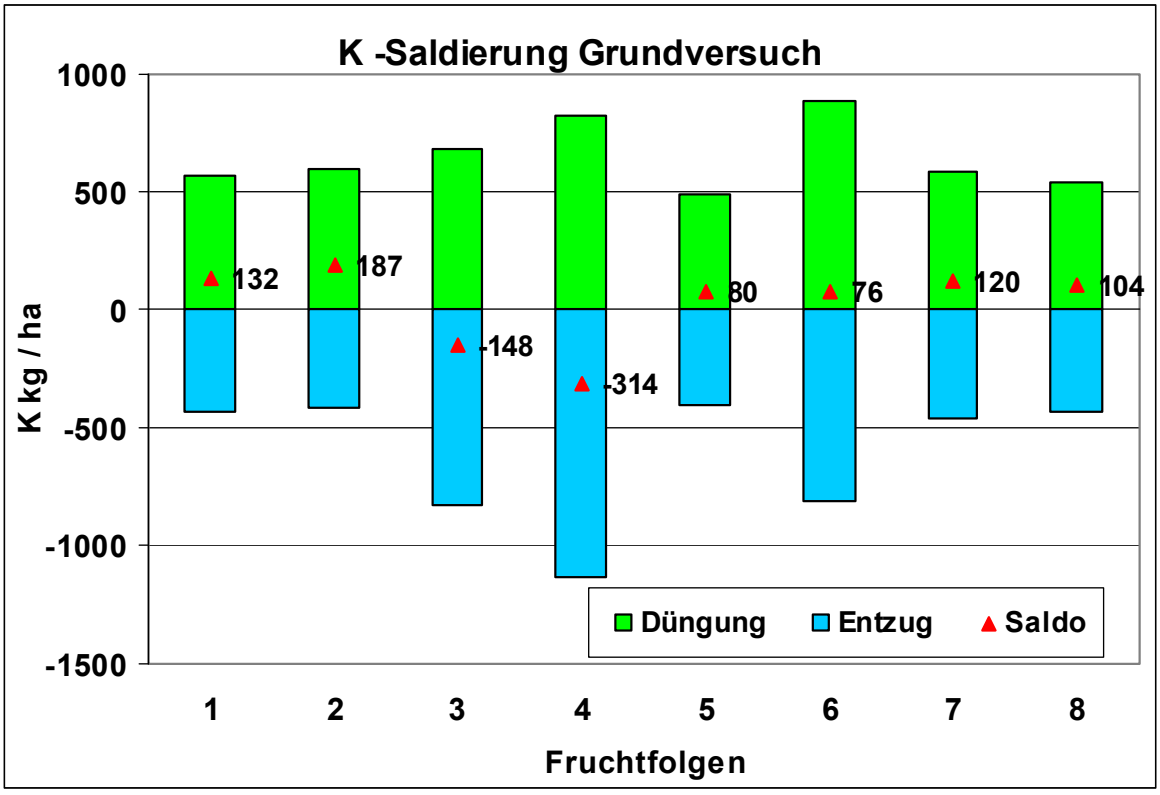


Abbildung 7: K-Bilanzierung der Jahre 2005 bis 2008

Mit durchschnittlich 400 kg K/ha wurde in den beiden Hauptnutzungsjahren beim Kleegras der mit Abstand höchste Entzug ermittelt. Beim Mais schwankte es in Abhängigkeit von dem Ertragsniveau zwischen 135 bis 287 kg K/ha. Sehr geringe Kaliumentzüge erfolgten bei den Getreide-Marktfrüchten sowie beim Raps. Hier verblieb ein Großteil des aufgenommenen Kaliums im Stroh, das auf der Fläche verblieb.

Mit über -300 kg K/ha war ein starker Negativsaldo in der Kleegrasfruchtfolge 4 festzustellen. Aber auch die Variante 3 mit der Sommerzwischenfrucht Einj. Weidelgras entzog deutlich mehr Kalium als gedüngt worden war. Die übrigen Fruchtfolgen wiesen eine positive Kaliumbilanz auf, selbst die ertragsstärkste Variante 6. Generell zu berücksichtigen ist, dass die schwache Ertragsleistung des Winterweizens im Jahr 2008 mit einem Positivsaldo von ca. 120 kg K/ha die Bilanz deutlich verbesserte.

3.4 Humusbilanz

Bei der Humusbilanzierung wird die Humuszehrung der Kulturen nach CC bestimmt und eine Humusreproduktion durch die Ernterückstände, aber auch durch die Rückführung von Gärresten bei den Kulturen angerechnet, die für die Biomasseproduktion herangezogen werden. Zur Beurteilung der einzelnen Kulturen ist sowohl die Bilanzierung ohne (Abbildung 8) und mit Gärrestrückführung (Abbildung 9) eine wichtige Datengrundlage.

Als Humusmehrer sind die Zwischenfrüchte Ölrettich, Grünschnittroggen und Einjähriges Weidelgras, vor allem aber das Kleegras anzusehen, auch wenn wie beim Einj. Weidelgras und beim Grünschnittroggen der Aufwuchs als Biomasse genutzt werden. Zusätzlich weisen auch die Marktfrüchte Wintertriticale und Winterweizen eine positive Humusbilanz auf, wenn das Stroh auf der Fläche verbleibt. Überraschender Weise werden beim Winterraps negative Salden ausgewiesen, was unseres Erachtens nicht nachvollziehbar ist.

Mit -560 kg Humus Saldo (nach CC) ohne Gärrest je Hektar weist Mais den größten Negativsaldo auf, gefolgt von den Getreide-GPS-Varianten und dem Sudangras mit einem Wert von einheitlich -280. Eine ertragsabhängige Bewertung wäre hier sicherlich wesentlich plausibler und würde den Relationen zwischen den Kulturen mehr gerecht werden. Unter Berücksichtigung der Gärrestrückführung sinkt das Negativsaldo beim Mais auf Werte von +3 bis -179. Sudangras erreicht dank niedriger Ausgangswerte bei Gärrestrückführung einen positiven Saldo. Das gleiche gilt bei den meisten Getreide-GPS-Varianten; es sei denn, die Erträge lagen auf einem sehr niedrigen Niveau.

Bei der Bilanzierung der Humuswerte ohne Gärrestrückführung weisen mit Ausnahme der Fruchtfolge 4 mit Kleegras alle anderen einen negativen Saldo auf. Am stärksten Humus zehrend ist die Fruchtfolge 6 mit hohem Maisanteil, wo mit Ausnahme des Winterweizens 2008 alle anderen Aufwüchse zur Biomasseproduktion genutzt werden. Relativ gut schneiden die Varianten ab, in denen Getreide als Marktfrucht, aber auch als GPS genutzt werden. Darüber hinaus bewirken auch die Zwischenfrüchte eine Verbesserung der Humusbilanz.

Unter Berücksichtigung der Gärrestrückführung verändert sich das Ergebnis enorm. Die Kleegras-Fruchtfolge 4 verbessert sich dadurch noch weiter, aber auch alle übrigen Fruchtfolgen erreichen einen positiven Humussaldo mit Ausnahme der Fruchtfolge 8. Hier schlägt

die nicht nachvollziehbare Einstufung des Maises bei schwachen Erträgen, wie es 2005 in dieser Fruchtfolge der Fall war, zu Buche. Überraschender Weise ist auch die maisdominierte Variante 6 im positiven Bereich, weil aufgrund hoher Erträge der Mais scheinbar einen Beitrag zur Humusmehrung beitragen kann; zusätzlich unterstützt der positive Saldo des Grünschnittroggens das Ergebnis dieser Fruchtfolge.

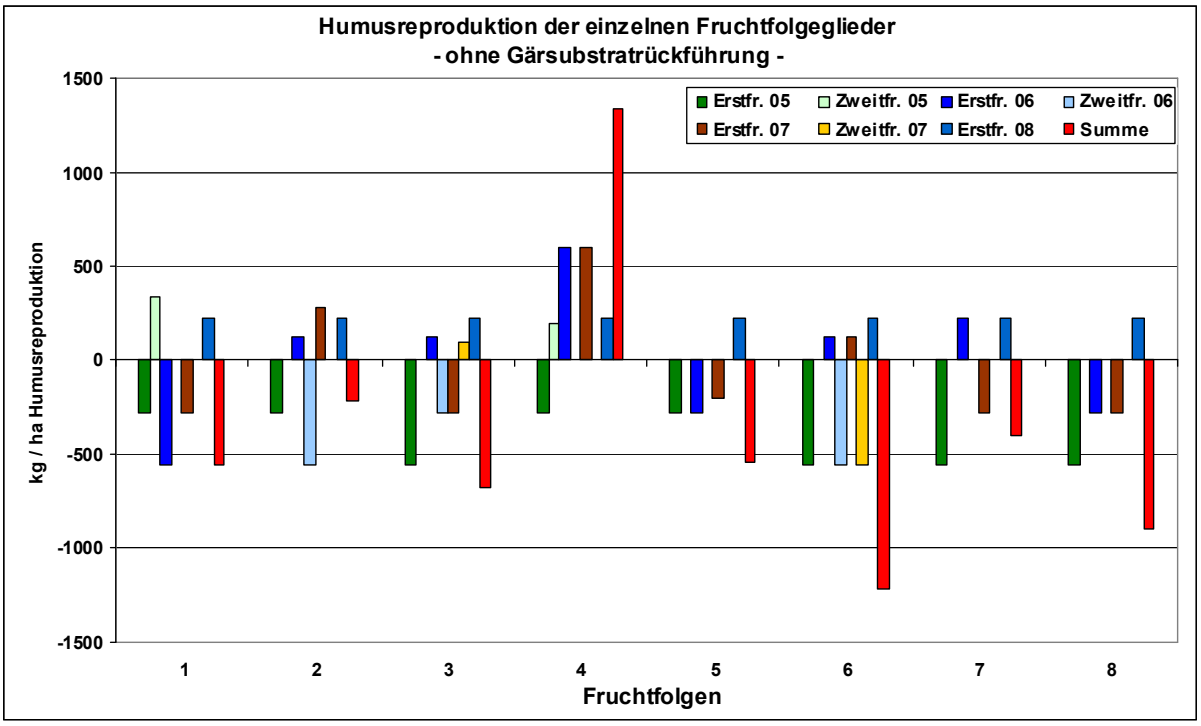


Abbildung 8: Humusreproduktion ohne Gärsubstratrückführung Jahre 2005 bis 2008

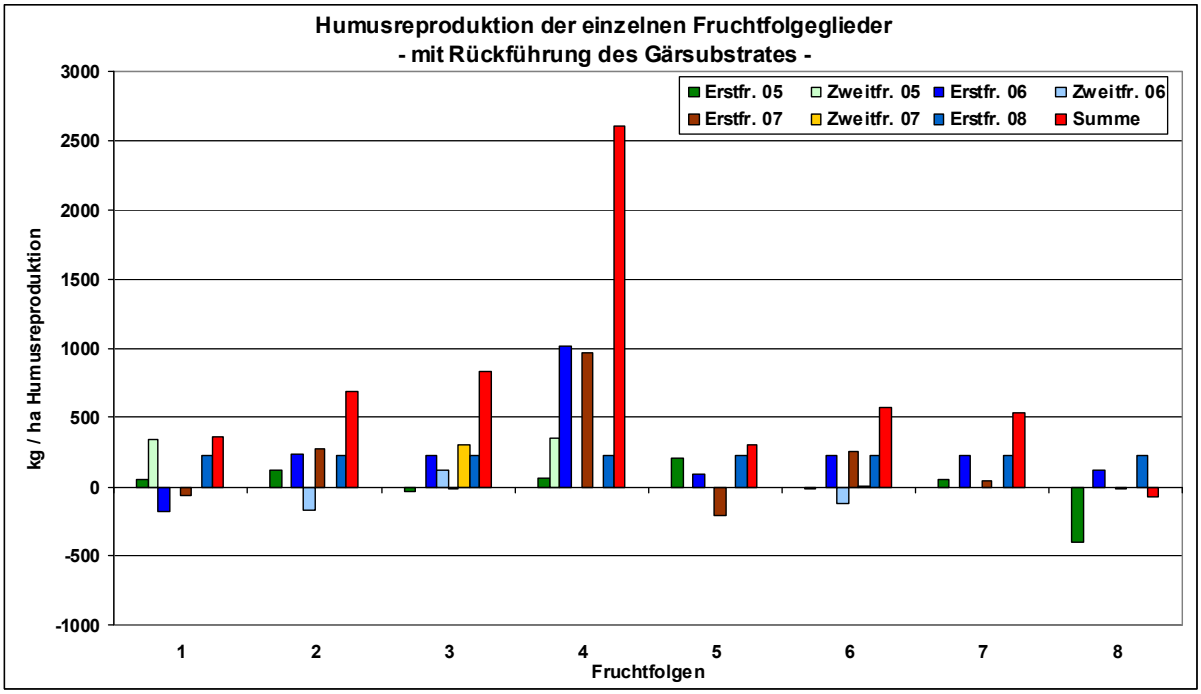


Abbildung 9: Humusreproduktion mit Gärsubstratrückführung, Jahre 2005 bis 2008

3.5 Theoretische Biogas- und Methangasausbeute

In der Abbildung 10 sind die durchschnittlichen theoretischen Methangasausbeuten aus dem Grundversuch beider Anlagen dargestellt. Es wurde jeweils ein Mittelwert über die Fruchtarten gebildet, wobei die Anzahl (N) variiert. Je mehr Einzelwerte zu dieser Berechnung herangezogen werden konnten, je sicherer ist die Aussage.

Auffallend ist die hohe spezifische Ausbeute bei Grünroggen, dieses ist sicherlich auf den frühen Schnittzeitpunkt (Ährenschieben) zurückzuführen. Zu einem späteren Zeitpunkt liegt die Ausbeute je kg TM nicht mehr so hoch, was an den GPS Varianten sichtbar wird.

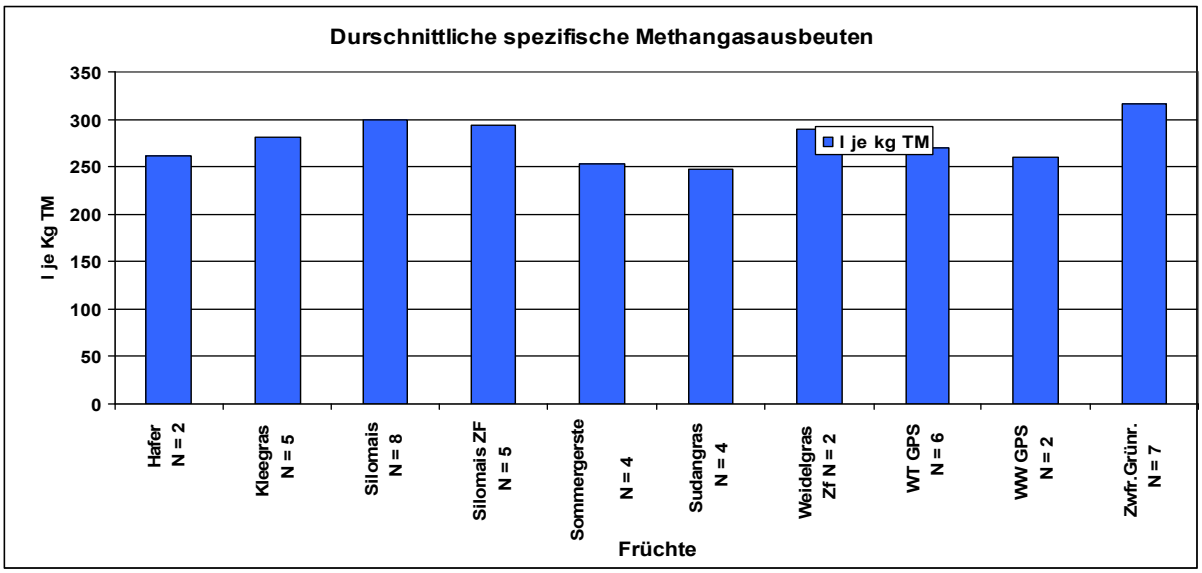


Abbildung 10: Methanausbeuten in l je kg TM

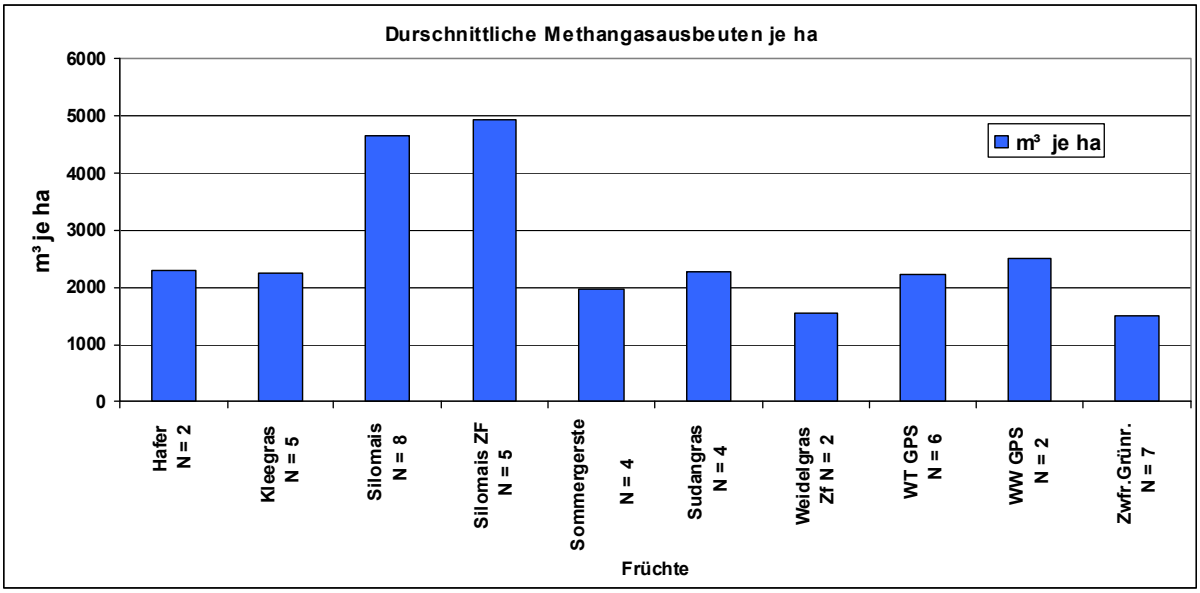


Abbildung 11: Methanausbeuten m³ je Hektar

In der Abbildung 11 sind die Methangasausbeuten je Hektar dargestellt. Hier sind signifikante Unterschiede zu erkennen. In erster Linie beruhen diese deutlichen Unterschiede auf den Ertrag in dt TM je ha. Ein direkter Vergleich der Einzelwerte ist nicht zulässig, da es sich hier um Erst- und Zweitfrüchte handelt. Auffällig ist, dass der Silomais als Zweitfrucht eine höhere Gasausbeute aufweist als der Silomais in Hauptfruchtstellung. Ursache hierfür kann sein, dass viele Maisvarianten in das schlechte Maisjahr 2006 gefallen sind. In 2006 zeigten aber die Spätsaaten trotzdem gute Erträge, da die einsetzenden Niederschläge für eine gute Kolbenausbildung genutzt werden konnten.

3.6 Ökonomische Bewertung

3.6.1 Grundsätzliches zur ökonomischen Auswertung

Die Ertrags- und Bewirtschaftungsdaten der einzelnen Fruchtfolgen und Anlagen wurden durch die Universität Gießen ökonomisch bewertet. Abgesehen von den Kosten für die Fläche wie Pachtzahlungen, Grundsteuern und Verbandsabgaben bzw. Versicherungen, fließen alle Kosten mit in die Betrachtungen der Deckungsbeitragsrechnung ein. Im niedersächsischen Grundversuch am Standort Werlte richten sich die Aufwendungen für Düngung und Pflanzenschutz nach den tatsächlich im Versuch aufgewendeten Mengen. Bei allen anderen Arbeitsschritten wurden die Ansätze ausschließlich an praxisüblichen Verfahren ausgerichtet. So wurde zum Beispiel für die Aussaat immer die Bestellkombination berücksichtigt, auch wenn im tatsächlichen Versuchsanbau für die Parzellendrilltechnik mehrere Arbeitsgänge erforderlich waren.

Beim Vergleich der Varianten wird deutlich, dass die Deckungsbeiträge sehr stark von den erzielten Erträgen abhängen. Die Kosten basieren auf dem hohen Anteil der ertragsunabhängigen Faktoren, wie Bestellung, Saat, Düngung, Pflanzenschutz und Ernte. Die ertragsabhängigen Zu- bzw. Abschläge bei Ernte und Transport sind weniger ausgeprägt.

Witterungsbedingte Ertragsunterschiede gegenüber regionalen Durchschnittserträgen

Da die bisherige Versuchslaufzeit stark von so genannten „extremen“ Witterungsbedingungen geprägt war, sind in einigen Fruchtfolgegliedern geringe Erträge zu verzeichnen, die jedoch stark vom langjährigen Durchschnittsertrag abweichen. Die Trockenperioden fielen in den Früh- oder auch in den Spätsommer. Somit waren entweder die Winterungen oder die Sommerungen hiervon stark betroffen. So gibt es Fruchtfolgen, bei denen die Abfolge der Fruchtfolgeglieder sehr gut zum Wetter passte; aber auch das genaue Gegenteil ist der Fall. Es ist also nicht zulässig hier den direkten Vergleich zwischen den Fruchtfolgevarianten zu ziehen. Auch gibt es kein realistisches Bild, wenn einzelne Früchte miteinander verglichen werden. Um hier Abhilfe zu schaffen, wäre es erforderlich, die Deckungsbeitragsrechnung zusätzlich nicht nur mit den praxisüblichen Arbeitsschritten, sondern auch mit den praxisüblichen Durchschnittserträgen über die Jahre hinweg zu rechnen. Das wäre ein zu diskutierender Ansatz für das Folgeprojekt EVA II, da hier die Datengrundlage schon wesentlich größer sein wird.

Versuchsbedingte Ertragsunterschiede gegenüber regionalen Durchschnittserträgen

Während des Versuchszeitraums 2005 bis 2008 wurden beispielsweise mit Sudangras neue Kulturen geprüft, bei denen am Anfang teilweise keine optimale Bestandesführung erfolgte und die Erträge demzufolge nur unterdurchschnittlich ausfielen. Auf der anderen Seite konnten bei Kulturen, wie z.B. bei Raps, keine realistischen Erträge erzielt werden, weil die Kleinparzellen durch Vogelfraß zur Ernte geschädigt wurden. Probleme an Versuchsparzellen durch hervorgerufene Schäden von Hasen oder Vögeln, entstanden auch an anderen Kulturen wie Sudangras und Mais, sodass eine wiederholte Aussaat bzw. eine reduzierte Bestandesdichte die Folge war.

Um dennoch eine Bewertung der ökonomischen Auswertungen zum Standort Werlte vornehmen zu können, wurden durchschnittliche Deckungsbeiträge gebildet. Diese beziehen sich auf einzelne Früchten über die Jahre hinweg, die mindestens viermal im gesamten Grundversuch (Anlage 1 + 2) angebaut wurden. Vor der Erläuterung der einzelnen Fruchtfolgen, sind im Folgenden allgemeingültige Punkte genannt:

Negative Deckungsbeiträge und Flächeneinsparung:

Es stellt sich die Frage nach dem ökonomischen Nutzen des Grünroggens oder auch des Weidelgrases als Zwischenfrucht. Aufgrund des in der Regel negativen Deckungsbeitrages ist direkt kein Nutzen gegeben. Berücksichtigt man nun aber in einer flächenknappen Region auch noch die Kosten für die Fläche, sieht es anders aus. Muss ein Biogasanlagenbetreiber eine bestimmte Menge an Biomasse für seine Anlage pro Jahr erzeugen, macht es durchaus Sinn auf Zwischenfrüchte zu setzen. Dem negativen Deckungsbeitrag müssen dann die eingesparten Pachtaufwendungen durch den verminderten Flächenbedarf insgesamt entgegengesetzt werden. Die Vorteile, die sich durch Fruchtfolgeeffekte bzw. durch verbesserte Humusbilanzen ergeben, sollten auch nicht unberücksichtigt bleiben.

Mais als Hauptfrucht:

Mit ca. 300,- € im Durchschnitt liegt der Deckungsbeitrag vergleichsweise hoch. Berücksichtigt man weiterhin, dass ein Großteil der Zahlen für diese Mittelwertbildung aus dem Jahr 2006 stammen, wird deutlich, dass bei dieser Kultur über die Jahre ein großes Potenzial gegeben ist. In 2006 sorgte die Sommertrockenheit beim Mais fast für Totalausfälle. Bedauerlicherweise fehlt im gesamten Grundversuch die reine Maisfruchtfolge. Diese wäre als Vergleichs- und Kontrollvariante gerade für Niedersachsen interessant gewesen.

Winterweizen als abschließendes Fruchtfolgeglied:

Der Winterweizen wurde bisher erst einjährig angebaut. Außerdem gibt es in der Ökonomie im Winterweizen keine nennenswerten Unterschiede. Es lassen sich hier keine belastbaren Aussagen hinsichtlich der Fruchtfolgeeffekte auf die Deckungsbeiträge machen. Der durchschnittliche Deckungsbeitrag von 105,- € je ha deckt nicht annähernd die Flächenkosten. Ursache ist hier der vergleichsweise niedrige Weizenertrag von durchschnittlich 51 dt Korn-

ertrag je ha. Die Frühsommertrockenheit des Jahres 2008 führte zu schwachen Beständen auf diesem leichten Standort.

3.6.2 Die Fruchtfolgen im Einzelnen (ohne Winterweizen)

Fruchtfolge 1 SG - Ölrettich - Mais - WT-GPS - Hirse - WW:

Die Sommergerste ist mit 14,- € durchschnittlichem Deckungsbeitrag wirtschaftlich uninteressant. Relativ hohe Kosten stehen hier einer sehr kurzen Ausnutzung der Vegetationszeit gegenüber. Das frühe Räumen des Feldes würde zwar den Anbau einer Zwischenfrucht zur Biomasseerzeugung erlauben, diese kann aber auch keinen positiven Deckungsbeitrag bringen. Beim Ölrettich wurde eine Ertragsfeststellung gemacht. Allerdings ist eine wirtschaftliche Verwertung mit 30 dt Trockenmasse je ha bei unter 10 % Trockensubstanz nicht möglich. Der darauf folgende Mais kann durch den trockenheitsbedingten Ertragsausfall in 2006 nicht weiter bewertet werden. Die Wintertriticale-GPS bringt im Vergleich zur Sommergerste als GPS keinen höheren Deckungsbeitrag. Die Sorghumhybride verursacht einen negativen Deckungsbeitrag als einjähriges Ergebnis und kann somit nicht bewertet werden.

Fruchtfolge 2 Sudangras - WR grün- Mais - WT Körner - WW:

Das Sudangras wurde nur einmal angebaut und konnte sein Potenzial aufgrund fehlender Erfahrungen im Pflanzenschutz im Jahre 2005 nicht ausschöpfen. Eine ökonomische Bewertung ist hier nicht möglich. Der Winterroggen und der nachfolgende Mais können nur unter dem Aspekt der Flächeneinsparung einen wirtschaftlichen Nutzen bringen. Die Wintertriticale brachte 52 dt TM je ha und lag mit knapp 230,- € Deckungsbeitrag mehr als doppelt so hoch wie der Weizen. Wintertriticale ist dem Standort auf jeden Fall besser angepasst als Weizen. Gleichwohl wird auch dieser Deckungsbeitrag nicht ausreichen, um die Flächenkosten zu decken.

Fruchtfolge 3 Mais - WR grün- Sudangras ZF- WT GPS - Weidelgras ZF- WW:

Im ersten Jahr können mit dem Anbau von Mais ausreichende Deckungsbeiträge erzielt werden. Gefolgt von der Kombination Grünroggen und Sudangras müsste eigentlich gleiches gelten wie bei der Kombination Grünroggen und Mais. Das Sudangras erzielte als Deckungsbeitrag eine Null. Beim Vergleich der Fruchtfolgen 2 und 3 zeigt sich, dass das Sudangras in FF 3 nach Grünschnittroggen in beiden Anlagen deutlich schlechter abschneidet als der Mais in FF 2. Die folgende Wintertriticale als GPS trägt nicht zur Kostendeckung bei. Beim als Zwischenfrucht angebautem Weidelgras wird trotz guter Erträge ein deutlich negativer Deckungsbeitrag von durchschnittlich - 350,- € erzielt. Das liegt zum einen an den vergleichsweise hohen Kosten der Saat sowie an den grundsätzlich hohen Erntekosten beim Gras. Zum anderen lassen sich in der kurzen Nutzungszeit auch bei dreimaligem Schnitt nicht genügend Erträge erzielen, um die Kosten zu decken. Abhilfe könnte hier der Einsatz eine Mischung über Winter bringen. So kann im darauf folgenden Frühjahr noch eine zusätz-

liche Schnittnutzung erfolgen. Man ist dann aber bei der Folgekultur an eine Sommerung (Mais) gebunden.

Fruchtfolge 4 Sommergerste - Untersaat Kleegras - Kleegras zweijährig- WW:

Für die Sommergerste gilt gleiches wie in Fruchtfolge 1. Das Kleegras als Untersaat brachte im Anlagejahr einen deutlich negativen Deckungsbeitrag. Die in den beiden Folgejahren geringen Deckungsbeiträge von durchschnittlich 30,- € sind sicherlich in teilweisen Ertragsausfällen durch Trockenheit begründet. Wichtiger Faktor sind aber auch die grundsätzlich hohen Erntekosten, die dem Verfahren Ackergras anzulasten sind. Dieses kommt besonders zum Tragen, wenn recht viele Schnitte (4 - 5) geerntet werden. Die letzten Schnitte verursachen bei geringen Erträgen dennoch hohe Erntekosten.

Fruchtfolge 5 Hafer-GPS - WT-GPS - Winterraps - WW:

Die Fruchtfolge 5 nutzt die Hauptvegetationszeit des Sommers relativ schlecht aus, da die Fläche im Zeitraum Mitte Juni bis Mitte September jeweils 1 bis 3 Monate brach liegt. Aufgrund des ohnehin niedrigen Ertragspotenzials des Hafers lässt sich auch bei Nutzung der gesamten Grünmasse kein konkurrenzfähiger Ertrag erzielen, sodass in ertragschwachen Jahren auch ein negativer Deckungsbeitrag erzielt wird. Die Wintertriticale-GPS reagierte in den unterschiedlichen Anbaujahren der beiden Anlagen stark auf die Witterungsbedingungen durch unterschiedliche Leistungen. Der Winterraps erreichte durch den oben beschriebenen Vogelfraß keinen realistischen Ertrag - es lässt sich somit auch nicht ökonomisch bewerten.

Fruchtfolge 6 Grünroggen - Mais über drei Jahre - WW:

Hier folgt in jedem Jahr der Mais dem Grünschnittroggen. Durch den positiven Deckungsbeitrag des Maises kann immer wieder der Fehlbetrag des Grünschnittroggens ausgeglichen werden. Lässt man den abschließenden Weizen unberücksichtigt, können hier im Schnitt jährlich fast 300,- € Deckungsbeitrag erzielt werden. Sonst sind es knapp 250,- €. Diese Summe würde nicht reichen, um die flächengebundenen Aufwendungen zu decken. Durch die insgesamt höheren Erträge trägt auch hier die Möglichkeit der Flächeneinsparung zur Wirtschaftlichkeit bei. Gleichwohl hat innerhalb des Grundversuchs diese Variante mit Abstand den höchsten durchschnittlichen Deckungsbeitrag erzielt.

Fruchtfolge 7 Mais - Wintertriticale - Wintergerste GPS - WW:

Im ersten Jahr sorgte der Mais für gute Deckungsbeiträge. Für die Wintertriticale gilt gleiches wie in der Fruchtfolge zwei. Die folgende Wintergerste als GPS konnte wetterbedingt in beiden Anlagen ihr Ertragspotenzial nicht nutzen. Da es diese Variante nur einmal im Versuch gibt, sollte auch hier die Ökonomie nicht bewertet werden.

Fruchtfolge 8 Körnermais - WW-GPS - WR-GPS - WW:

Im ersten Jahr wurde der Körnermais aufgrund unzureichender Kolbenbildung als Silomais umgenutzt, und das trockene Jahr 2006 sorgte für nicht akzeptable Erträge. Der Deckungsbeitrag hierzu darf nicht bewertet werden. Der Winterweizen als GPS stellt ein einjähriges Ergebnis da, welches unberücksichtigt bleiben sollte. Beim Winterroggen als GPS ist vor allem der Vergleich zum Grünschnittroggen interessant. Über verschiedene Jahre und Fruchtfolgen hinweg erzielt der Roggen als Grünschnitt negative Deckungsbeiträge von durchschnittlich – 130,- €. Mit dem späteren Schnittzeitpunkt bei GPS in der beginnenden Teigreife lassen sich in der Regel annähernd doppelt so hohe Trockenmasseerträge erzielen. Dieses wirkt sich direkt auf den Deckungsbeitrag aus, der deutlich im positiven Bereich liegt.

Schlussbetrachtung

Das erste Versuchsjahr lieferte, bedingt durch Kompromisse bei der Fruchtfolgegestaltung, aufgrund des späten Versuchsbeginns im Frühjahr und durch Anlaufschwierigkeiten bei der Umsetzung des Versuchsprogramms, teilweise nicht zufrieden stellende Ergebnisse. Im zweiten Jahr (2006) war die extreme Sommertrockenheit verantwortlich für nicht aussagekräftige Ernteergebnisse bei den Sommerungen. Die Verteilung der Niederschläge im dritten Jahr ist ursächlich zu nennen für das niedrige Niveau bei den Winterungen. Glücklicherweise ist es durch die bereits bestehende Doppelanlage möglich, diese Jahreseffekte zu bereinigen. Die Häufung der Abweichung des Wetters vom “Normaljahr“ bedingt eine Fortführung dieses Versuchsprogramms über weitere Jahre. Eine Kernfrage des gesamten Programms EVA ist es, Alternativen zum reinen Maisanbau als Energielieferant aufzuzeigen. Diese Thematik ist nicht nur aus Fruchtfolgegründen immer mehr in den Mittelpunkt des Interesses der Energiepflanzenanbauer gerückt. Auch die sich rasant positiv entwickelnden Preise für Agrarrohstoffe bewirken, dass die Produktivität der Fläche durch Ausnutzung quasi der gesamten Vegetationszeit weiter gesteigert werden müsste. Dieses bedingt auch den Anbau von Winterungen, die als Vornutzung (Grünschnittroggen) oder auch als Erstfrucht vor unterschiedlichen Sommerungen - vornehmlich Mais - angebaut werden. Die ausführlich beschriebenen unterschiedlichen Auswirkungen der Witterungseinflüsse in den Jahren zeigen auf, dass die Fortführung dieses Grundversuches dringend erforderlich ist, um dadurch aussagekräftigere Ergebnisse über einen längeren Untersuchungszeitraum zu erarbeiten.

4 Literatur

1. FNR (Hrsg.): Handreichung Biogasgewinnung und -nutzung, 3. überarbeitete Auflage, Gülzow 2006

2. Gemeinsame Hinweise der Länder Brandenburg, Mecklenburg-Vorpommern und Sachsen-Anhalt, 2008
   Richtwerte für die Untersuchung und Beratung sowie zur fachlichen Umsetzung der Düngeverordnung (DÜV)

3. Landwirtschaftskammer Niedersachsen
   Nachwachsende Rohstoffe
   Anbauhinweise für die energetische und stoffliche Verwertung

4. Landwirtschaftskammer Niedersachsen
   Diverse Veröffentlichungen Landessortenversuchsergebnisse und produktionstechnische Ergebnisse

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung 94

2 Material und Methoden 94
2.1 Standortcharakteristik 94
2.2 Witterungsverlauf und Klimatische Wasserbilanz 94
2.3 Versuchsdurchführung 97
2.4 Berechnungsgrundlagen 99
2.4.1 Nährstoffbilanzierung 99
2.4.2 Humusbilanz 99
2.4.3 Theoretische Biogas- und Methangasausbeute 99

3 Ergebnisse und Diskussion 100
3.1 Frischmasse- und Trockenmasseerträge 100
3.2 Winterweizenerträge in Kombination mit dem Strohertrag 101
3.3 Nährstoffbilanz 102
3.4 Humusbilanz 105
3.5 Theoretische Biogas- und Methangasausbeute 107
3.6 Ökonomische Bewertung 109
3.7 Anbauempfehlungen für die Region 111

4 Zusammenfassung 112

5 Literatur 113

6 Anhang 114

1 Einleitung

Die derzeitige Diskussion „Tank oder Teller“ bringt kontroverse Ansichten hinsichtlich der Notwendigkeit und Effektivität des Energiepflanzenanbaus im allgemeinen, aber auch auf dem Sektor Biogas hervor. Der Anstieg von Anzahl sowie Leistungen der Biogasanlagen und die dadurch entstehende Verschiebung der Ackerflächennutzung in Richtung nachwachsende Rohstoffe tragen ihren Teil zu dieser Diskussion bei. Eine weitere Problematik wird von den Kritikern in der stark ertragsorientierten und somit nicht immer nachhaltigen Produktion der für die Anlagen benötigten Rohstoffe gesehen. Befürworter sehen dagegen gute Möglichkeiten einer nachhaltigen Energieerzeugung durch den Einsatz nachwachsender Rohstoffe. Der Aspekt der Ressourcenschonung endlicher Energieträger steht dabei mit im Vordergrund. Beide Standpunkte sind vertretbar. Eine langfristige Lösung kann nur unter Beachtung aller hier angesprochenen Gesichtspunkte gefunden werden.

Das 2005 vom BMELV initiierte und von der FNR betreute Verbundprojekt: „Entwicklung und Vergleich von optimierten Anbausystemen für die landwirtschaftliche Produktion von Energiepflanzen unter verschiedenen standortbedingungen Deutschlands“ soll einen Beitrag zur Lösung dieses Konfliktes zwischen Energiepflanzen-, Nahrungsmittelproduktion und Naturschutz leisten.

2 Material und Methoden

2.1 Standortcharakteristik

Der Standort Gülzow liegt 10 m über NN im norddeutschen Grund- und Endmoränengebiet der Weichselkaltzeit. Ein leicht welliges Relief charakterisiert das Gebiet. Als Ausgangsmaterial der Bodendecke wird Geschiebemergel mit ca. 0,5 bis 10 m mächtiger periglaziärer Sanddecke im Versuchsfeld vorgefunden. Die ursprüngliche Sanddecke verlagerte sich häufig infolge von Ackernutzung. Daraus resultiert eine reliefgeprägte Substratverteilung, die sich in Form von Lehmkuppen und eingesenkten Kolluvien äußert. Die Bodenart ist stark lehmiger Sand. Im Jahre 2006 wurde vom ZALF Münchberg eine Standortansprache durchgeführt, die aus 2 Bohrungen je Versuchsanlage (Anlage 1 und Anlage 2) bestand. Die Ergebnisse dieser Standortansprache sind auszugsweise in Tabelle A 1 im Anhang dargestellt und verdeutlichen die starke Heterogenität des Versuchsfeldes. Als Bodentyp herrscht eine Pseudogley-Parabraunerde vor. Die Ackerzahl liegt bei 51.

2.2 Witterungsverlauf und Klimatische Wasserbilanz

Das langjährige Mittel der jährlichen Niederschlagsumme beträgt 559 mm. Die Jahresdurchschnittstemperatur liegt bei 8,5 °C.

2005 war die Witterung durch das maritim beeinflusste Tieflandklima gekennzeichnet. Trockenheit zu Vegetationsbeginn, Spätfröste Mitte April sowie starke Temperaturschwankungen im Mai bewirkten mangelhaftes Auflaufen und Wachstumsverzögerungen bei Sudangras und Mais. Geringe Niederschlagsmengen zur Rapsaussaat im August führten zu einem lückenhaften Bestand. Danach folgende reichliche Niederschläge und überdurchschnittliche Temperaturen ermöglichten einen kontinuierlichen Biomassezuwachs bis in den November hinein. Ab Monatsmitte stellte sich bei sinkenden Temperaturen die Vegetationsruhe ein.

Die winterliche Witterung hielt bis in die 2. Dekade im März 2006 an. Natürliche Entwicklungsprozesse erfuhren eine etwa vierwöchige Verspätung. Besonders der Raps überlebte den langen Winter meist nur mit erheblichen Blattverlusten. Durch die kühle zweite Maihälfte wurden vor allem Wärme liebende Kulturen, wie Mais und Sudangras, in ihrem Wachstum stark beeinträchtigt. Eine lange Dürreperiode im Juli führte zu Trockenstress bei Mais. Die Winterrapsaussaat wurde durch starke Regenfälle in der zweiten Augusthälfte erschwert.

Ein milder Winter in den ersten 3 Monaten verursachte einen ca. 2 Wochen früheren Vegetationsbeginn im Jahr 2007. Generell war die Witterung in 2007 durch extreme Temperatur- und Niederschlagsschwankungen gekennzeichnet. Die anhaltende Trockenheit von Ende März bis Anfang Mai bewirkte ein mangelhaftes Auflaufen von Mais und Gerstgras. Dieser Mangel wurde allerdings im weiteren Entwicklungsverlauf kompensiert. In den Monaten Mai bis August fielen dann 500 mm Niederschlag. Das sind ca. 90 % des durchschnittlichen Gesamtjahresniederschlages. Diese starken Regenfälle führten zur Verzögerung der Aussaat von Zuckerhirse. Der feuchte kühle Sommer beeinträchtige die Wachstumsentwicklung der Zuckerhirse zusätzlich negativ. Die Abreife von Mais und Sudangras wurde ebenfalls durch die ungünstige Spätsommerwitterung verzögert. Einen positiven Effekt hatten die hohen Niederschläge im Juni, Juli und August auf den Frischmasseertrag vom Mais und Ackergras. Vernässter Boden und immer wiederkehrende Niederschläge erschwerten die Winterweizenaussaat, besonders zum zweiten Aussaattermin. Der Aufgang musste stellenweise als stark bis sehr stark mangelhaft (BSA 8) bezeichnet werden. Die Vegetationsruhe trat Mitte November ein.

Die milden Wintermonate Januar bis März hatten keinen nennenswerten Einfluss auf die Entwicklung der Kulturarten. Generell lagen die Temperaturen 2008 im Bereich des langjährigen Mittels. Große Probleme bereitete die Wasserversorgung ab Mai. Die lang anhaltende Trockenheit bis in den Oktober hinein führte zu schlechten Ackergras- und Zuckerhirsenerträgen. Auf den Wintertriticale- und Weizenertrag hatte die Trockenheit keinen gravierenden Einfluss. Trotz stark ausgetrocknetem Boden konnten durch den Einsatz agrotechnische Maßnahmen die Winterungen auf beiden Anlagen sowie im kleinen Gärrestversuch zur Zufriedenheit gedrillt werden. Ab November gab es erstmals erwähnenswerten Niederschlag und es setzte die Vegetationsruhe ein.

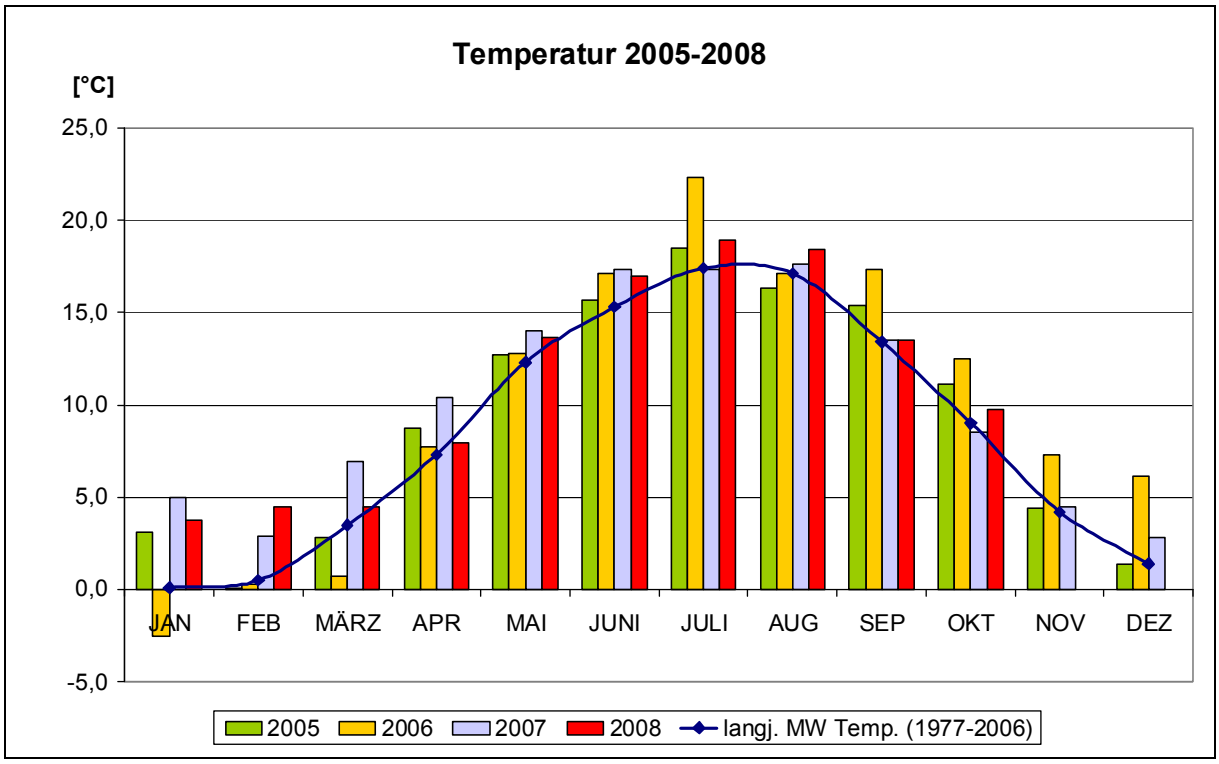


Abbildung 1: Temperatur am Standort Gülzow 2005-2008

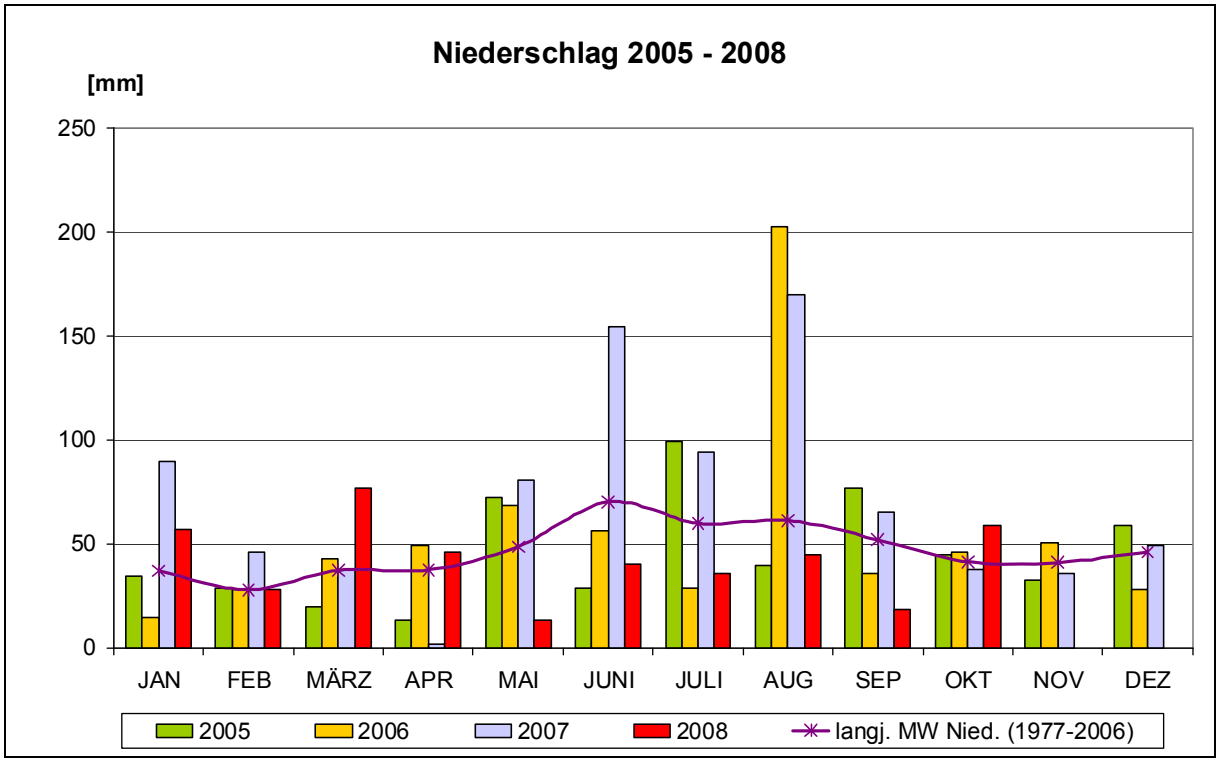


Abbildung 2: Niederschlag am Standort Gülzow 2005-2008

Die Klimatische Wasserbilanz für den Standort Gülzow stellte das JKI zur Verfügung. Als Datengrundlage diente hierfür die Messstation des DWD in Laage. Ermittelt wurde die kumulierte Wasserbilanz mittels Differenz des Niederschlages und der Verdunstung. Abbildung 3 verdeutlicht den durch die für Mecklenburg-Vorpommern typische Vorsommertrockenheit verursachten Wassermangel in den Vorsommer- und Sommermonaten gerade in 2008 aber auch in 2005 und 2006. Einzig das niederschlagsreiche Anbaujahr 2007 zeigt eine relativ ausgeglichene Wasserbilanz. Dies spiegelt sich auch in den erzielten Erträgen besonders bei den Ackergräsermischungen wider.

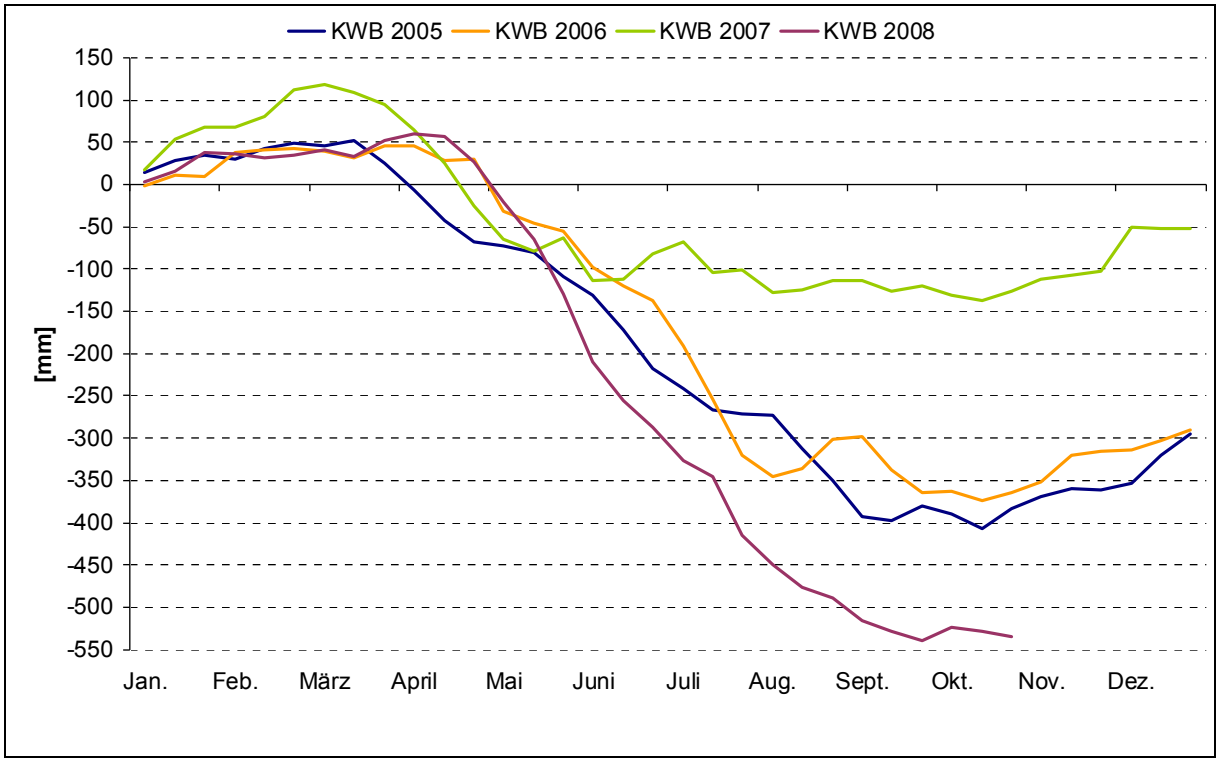


Abbildung 3: Klimatische Wasserbilanz am Standort Gülzow 2005-2008

2.3 Versuchsdurchführung

Der Versuch wurde zeitversetzt (Anlage 1 2005 und Anlage 2 2006) auf zwei Feldern angelegt. Bei beiden Versuchsanlagen handelt es sich um einfaktorielle Langparzellenanlagen mit Standardausgleich und je vierfacher Wiederholung. Eine Ernteparzelle umfasst 10,5 m². Die im 4-jährigen Turnus durchgeführte Vorratsdüngung beinhaltet üblicherweise 4,0 t Mg-Kalk/ha, 80 kg P_2O_5/ha und 200 kg K_2O/ha. Die letzte Vorratsdüngung erfolgte 2002. Da auf beiden Feldern die Versorgungsstufen bei allen untersuchten Nährstoffen im Bereich C bis teilweise E nach VDLUFA lagen, wurde bei beiden Anlagen auf eine Vorratsdüngung zum Jahre 2007 verzichtet.

Zu prüfen sind acht unterschiedliche Energiefruchtfolgen (Tabelle 1 und Tabelle 2), wobei 5 Fruchtfolgen an allen Standorten bundesweit einheitlich vorgegeben sind.

Tabelle 1: Darstellung der Energiefruchtfolgen Anlage 1 in Gülzow

Jahr / ***FF***	***2005***	***2006***	***2007***	***2008***
Standardfruchtfolge				
1	**Sommergerste (GP)** SZF Ölrettich	**Mais (HF)**	**WT (GP)/ Zuckerhirse**	WW
2	**Sudangras (GP)**	**Grünschnittroggen/ Mais (Zweit.F)**	WT	WW
3	**Mais (HF)**	**Grünschnittroggen/ Sudangras (Zweit.F)**	**WT (GP) Ackergras**	WW
4	**SG (GP)/ Untersaat Kleegras**	**Kleegras**	**Kleegras**	WW
5	**Hafer** (SM)	**WT (GP)**	WRaps	WW
Regionalfruchtfolgen				
6	**Mais**	**Gerstgras (GP)**	WRaps	WW
7	**Mais**	**Grünschnittroggen/ Ackergras**	**Ackergras**	WW
8	**SRo/ST**	WRaps	WW	WW

Tabelle 2: Darstellung der Energiefruchtfolgen Anlage 2 in Gülzow

Jahr / ***FF***	***2006***	***2007***	***2008***	***2009***
Standardfruchtfolge				
1	**Sommergerste (GP)** SZF Ölrettich	**Mais (HF)**	**WT (GP)/ Zuckerhirse**	WW
2	**Sudangras (GP)**	**Grünschnittroggen/ Mais (Zweit.F)**	WT	WW
3	**Mais (HF)**	**Grünschnittroggen/ Sudangras (Zweit.F)**	**WT (GP) Ackergras**	WW
4	**SG (GP)/ Untersaat Kleegras**	**Kleegras**	**Kleegras**	WW
5	**Hafer** (SM)	**WT (GP)**	WRaps	WW
Regionalfruchtfolgen				
6	**Mais (HF)**	**Gerstgras (GP)**	WRaps	WW
7	**Mais (HF)**	**Grünschnittroggen/ Ackergras**	**Ackergras**	WW
8	**SRo/ST**	WRaps	WW	WW

2.4 Berechnungsgrundlagen

2.4.1 Nährstoffbilanzierung

Die Nährstoffbilanzierung ist ein wichtiger Indikator, um die Nachhaltigkeit und Umweltverträglichkeit der Energiefruchtfolgen bewerten und untereinander vergleichen zu können. Es sind mehrere Varianten zur Nährstoffbilanzierung bekannt. Die Fruchtfolgebilanzierung ist eine dieser Möglichkeiten und soll hier als Grundlage dienen, da sie detaillierte Rückschlüsse auf die Effizienz der eingesetzten Düngung sowie auf die Nährstoffverluste (KÖPPEN 2004) ermöglicht. Das Ergebnis der Bilanzierung ist der Nährstoffsaldo. Dieser wird mittels Input und Output berechnet. Als Zufuhr (Input) werden mineralische Dünger und N_2-Fixierung durch Leguminosen veranschlagt (Tabelle A 2 und Tabelle A 3). Da am Standort Gülzow der Kleeanteil in beiden Anlagen ab dem 2. Anbaujahr bei < 1 % lag, kann ab dem genannten Zeitpunkt die N_2-Fixierung durch Leguminosen vernachlässigt werden. Atmosphärische Depositionen, NO_3-Auswaschungen, N_2-Bindungen durch frei lebende Bakterien und Stickstoffzufuhr mit dem Saatgut werden ebenfalls nicht berücksichtigt. Die Abfuhr (Output) setzt sich aus den mit dem Erntegut abgefahrenen Nährstoffen zusammen. Nicht in die Bilanz einbezogen werden laut ZALF die Nährstoffe, die in Pflanzenresten auf dem Feld verbleiben. Die Bewertung insbesondere der N-Salden basiert auf der bei LEIDEL 2000 erarbeiteten Bewertungsgrundlage (Tabelle A 4).

2.4.2 Humusbilanz

Zur Charakterisierung des Einflusses der Fruchtfolgen auf den Humushaushalt im Boden sind unterschiedlichen Bilanzierungsmethoden bekannt. In der vorliegenden Arbeit soll auf die in der Praxis übliche Bilanzierung nach Cross Compliance zurückgegriffen werden, um praxisnahe und vergleichbare Aussagen treffen zu können. Beachtet werden muss dabei allerdings, dass diese Methode auf statischen Berechnungswerten basiert und einige Fruchtarten durch ihre Nutzungsart nicht eindeutig charakterisiert werden. Somit kann diese Bilanzierungsmethode nur andeutungsweise zutreffende Aussagen zur tatsächlichen Humusbeeinflussung der Fruchtfolgen liefern. Diese wird mittels Humusmehrung und –zehrung der einzelnen Fruchtarten und dem daraus resultierenden Saldo der Fruchtfolgen bestimmt. Angestrebtes Optimum liegt in Gruppe C (Tabelle A 5).

2.4.3 Theoretische Biogas- und Methangasausbeute

Die Ermittlung der Biogas- und Methangasausbeute basiert auf der im Handbuch der FNR beschriebenen Formel. Diese theoretische Ertragserfassung kann lediglich einen Trend aufzeigen, die Abhängigkeit der Ausbeute vom Trockenmassegehalt ist größer als zu den Inhaltsstoffen und somit nur bedingt verwertbar (Abbildung A 1 und Abbildung A 2). Da durch Kapazitätsmangel noch nicht alle Fruchtarten bis zum jetzigen Zeitpunkt vom ATB Bornim untersucht werden konnten, ist eine Vergleichbarkeit der Fruchtfolgen mittels Laborwerten nicht möglich. Eine Korrelation zwischen Laborwerten des ATB und der Formel der FNR ist allerdings nicht ersichtlich (Abbildung A 3), so dass ein Zusammenführen beider Methoden eine Verzerrung der tatsächlichen Untersuchungs- und Berechnungsergebnisse nach sich ziehen würde. Somit kann zum jetzigen Zeitpunkt lediglich die Formel als Grundlage zur Charakterisierung der Biogas- und Methangasausbeuten dienen.

3 Ergebnisse und Diskussion

3.1 Frischmasse- und Trockenmasseerträge

Die Anlage 1 hat im Jahre 2008 die Rotation mit der Ernte Winterweizen beendet. Somit konnte eine statistische Auswertung für die Fruchtfolgen durchgeführt werden. Die dunkler gekennzeichneten Balken sind jeweils der Standard, der vierfach in der Anlage vorhanden war. Die in Abbildung 4 dargestellten Ergebnisse der aufsummierten Erträge der Anlage 1 verdeutlichen, dass die Fruchtfolgen 3, 2 und 1 die ertragreichsten sind, gefolgt von der Regionalfruchtfolge 7. In allen diesen Fruchtfolgen sind neben Mais auch Sorghumhirsen, Wintertriticale und Ackergräser integrierte Fruchtarten. Diesen tragen wesentlich zu den hohen Ertragsergebnissen bei. Bei den Ackergräsern in Fruchtfolge 7 ist dabei anzumerken, dass der Ertrag durch eine, für den Standort Gülzow untypische feuchte Witterung im Jahre 2007 positiv beeinflusst wurde. Bei der statistischen Auswertung weist die Standartfruchtfolge 1 einen signifikanten Mehrertrag zu den Fruchtfolgen 4, 5, 7 und 8 und einen signifikanten Minderertrag zur Fruchtfolge 3 auf. Die signifikanten Unterschiede der Fruchtfolgen untereinander sind im Anhang in Tabelle A 6 dargestellt. Diese verdeutlicht auch, dass die Fruchtfolge 3 einen statistisch gesicherten Mehrertrag zu allen anderen Fruchtfolgen aufweist, was diese Fruchtfolge favorisiert.

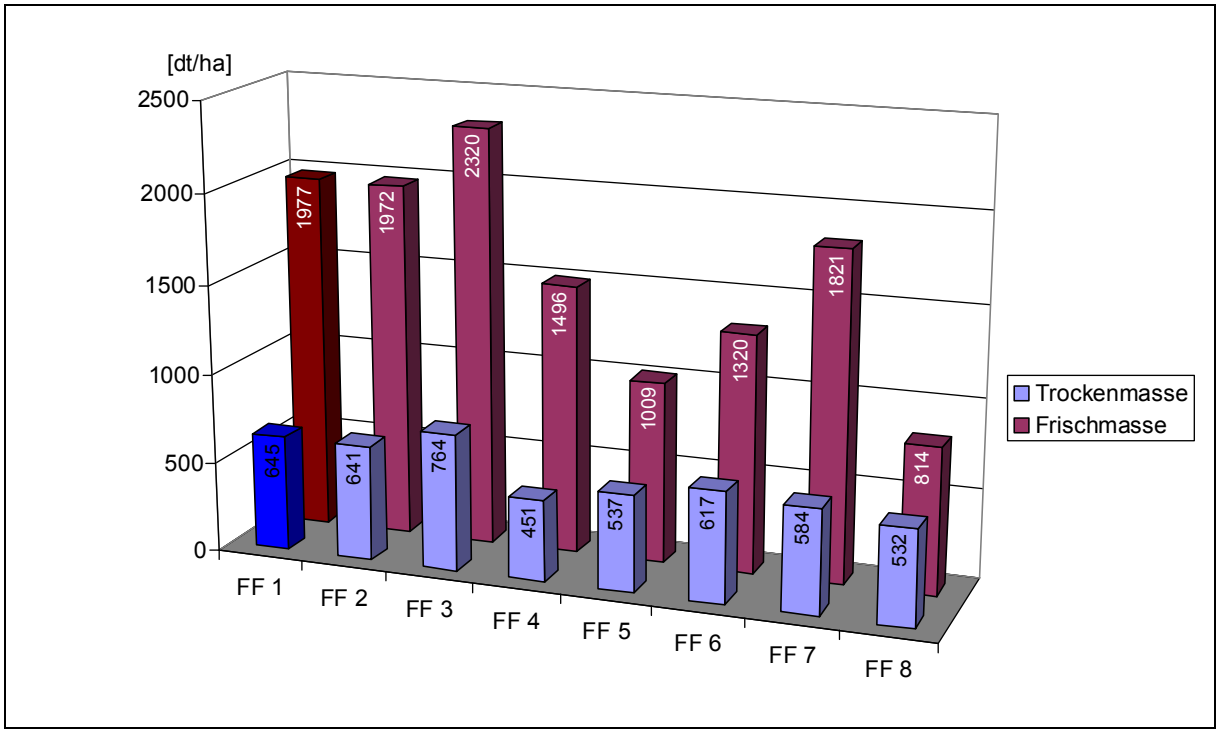


Abbildung 4: Summe der Frischmasse- und Trockenmasseerträge Anlage 1 (2005-2008)

In Anlage 2 ist derzeit die Fruchtfolge 2 die ertragreichste. Verursacht wird diese Veränderung in der Rangfolge zu Anlage 1 durch die im Jahre 2007 erzielten Maiserträge. Das Ertragsniveau der Landessortenversuche Silomais lag im genannten Jahr witterungsbedingt mit 213 dt TM/ha 24% über dem langjährigen Mittel der Erträge (MICHEL 2008). Im Versuch wurde ein Ertrag von 215 dt TM /ha beim Mais in Zweitfruchtstellung und 256 dt TM /ha in Hauptfruchtstellung erreicht. Dies ist ein Mehrertrag von 31 % gegenüber dem langjährigen durchschnittlichen Ertrag der Energiemaissorten im Landessortenversuch. Die statistische

Auswertung der Anlage 2, die auch zur Bereinigung solcher Witterungseffekte beitragen soll, kann erst nach Rotationsende 2009 durchgeführt werden. Somit ist erst zu diesem Zeitpunkt eine Aussage über die tatsächliche Reihenfolge in Anlage 2 möglich.

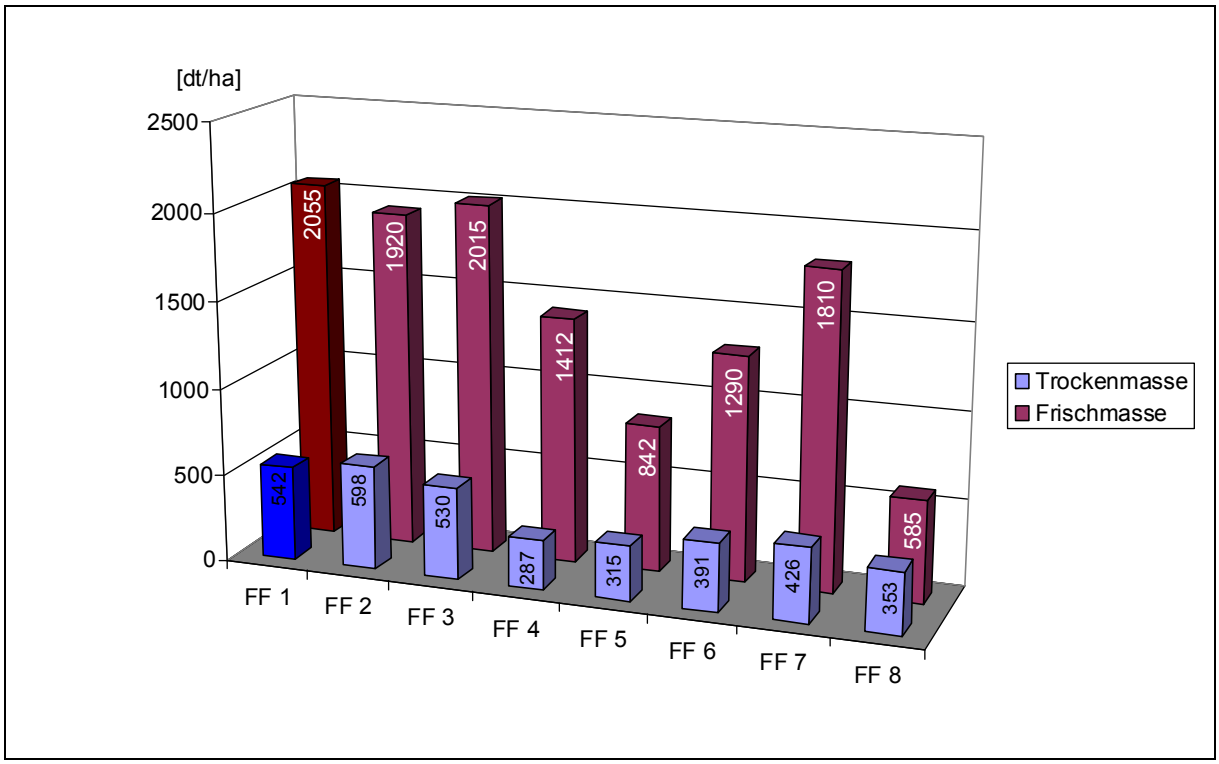


Abbildung 5: Summe der Frischmasse- und Trockenmasseerträge Anlage 2 (2006-2008)

3.2 Winterweizenerträge in Kombination mit dem Strohertrag

Die Sorte Toras wurde 2007 zu zwei Aussaatterminen gedrillt, um die Fruchtfolgeeffekte noch zu verdeutlichen. Der erste Termin war am 4.10.2007 für die Fruchtfolgen 2 bis 8. Die Spätsaat wurde in Fruchtfolge 1 am 15.10.2007 nach der Zuckerhirsenernte durchgeführt. Bei diesem Termin wurde die Aussaatstärke um 50 kfK/m² erhöht. Das ist ein in der Praxis übliches Vorgehen, um den Nachteil der Spätaussaat zu kompensieren. Bei den Erträgen kam dieser Nachteil trotz allem mit einem signifikanten Einfluss zum Tragen. Die in Tabelle A 7 aufgelistete statistische Auswertung der Kornerträge zeigt, dass die Fruchtfolge 1 zu den Fruchtfolgen 3-7 einen gesicherten Minderertrag und zur Fruchtfolge 2 einen Mehrertrag aufweist. Der durchschnittliche Kornertrag lag am Standort Gülzow bei 102,9 dt/ha und bestätigte somit den im Landessortenversuch ermittelten Ertrag aller Sorten von 103 dt/ha (ZENK, MICHEL 2008). Die Fruchtfolge 2 zeigt dabei einen deutlichen Minderertrag zu allen anderen Fruchtfolgen auf. Ursache ist die Vorfrucht Wintergetreide. Dieser bekannte Effekt der Ertragsdepression bei der Kombination Wintergetreide nach Wintergetreide wird in Fruchtfolge 8 nicht so stark deutlich. Das liegt zum einen an den Bodenverhältnissen und zum anderen an der Rückführung der Erntereste von Winterraps und Winterweizen in den Vorjahren, die das Nährstoffangebot im Boden gegenüber der Fruchtfolge 2 verbesserten. Weiterhin ist anzumerken, dass wie aus der Literatur bekannt, die Vorfrüchte Ackergräser (signifikanter Mehrertrag der Fruchtfolge 4 gegenüber FF 2 und FF8) sowie Winterraps eine gute Vorfruchtwirkung hinsichtlich des Ertrages zeigen. Die hohen Kornerträge zogen jedoch

einen Verdünnungseffekt im Rohprotein nach sich, wobei die Nichtverfügbarkeit des gedüngten Stickstoffes durch Trockenheit auch eine Rolle spielte. Der Strohertrag zeigt die gleichen Effekte wie der Kornertrag. Das Verhältnis von Stroh zu Korn lag mit 1:0,6 ca. 25 % unter dem in der Düngeverordnung genannten Verhältnis. Fruchtfolgekrankheiten (Schwarzbeinigkeit, Halmbruch u.ä.) konnten visuell nicht festgestellt werden, die Laboruntersuchungen laufen aber derzeit an der Universität Rostock. Ergebnisse liegen zum jetzigen Zeitpunkt noch nicht vor.

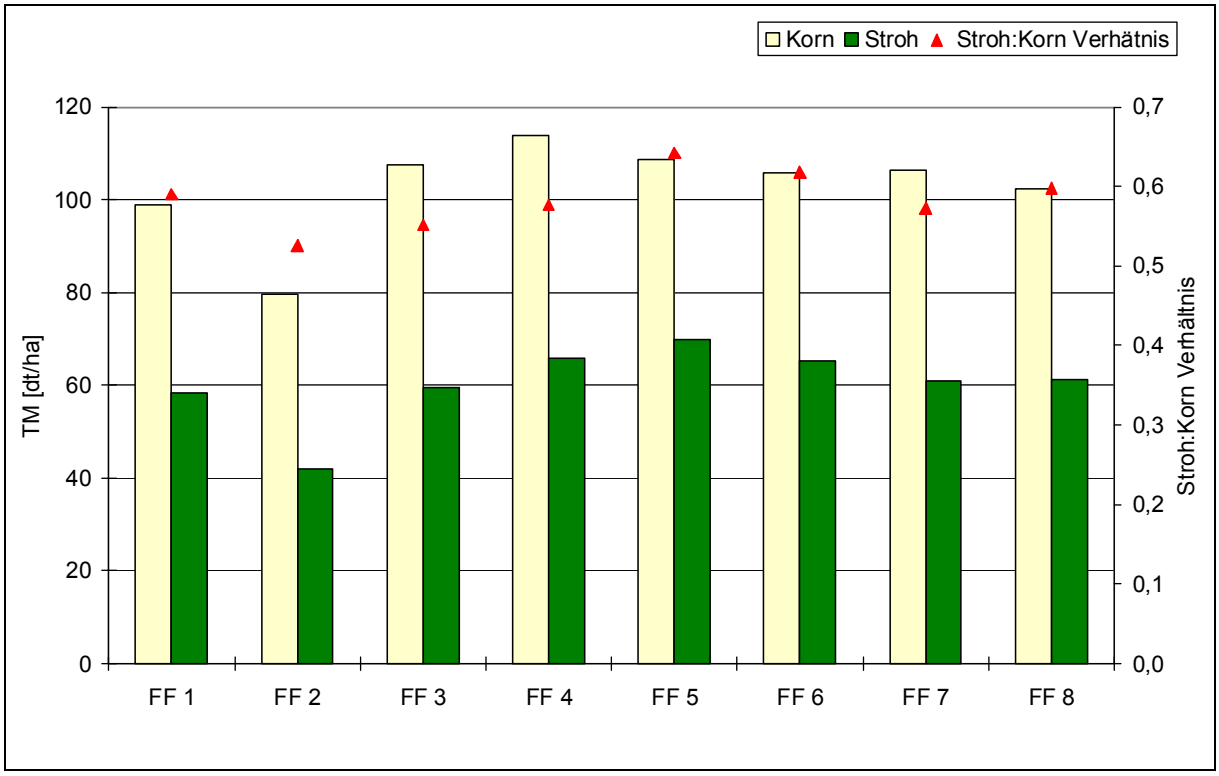


Abbildung 6: Winterweizenkornerträge Anlage 1 (TS 86 %) Gülzow 2008

3.3 Nährstoffbilanz

Die Stickstoffbilanzierung beider Anlagen ist nach der von LEIDEL 2000 aufgestellten Bewertung grundsätzlich als positiv im Sinne einer nachhaltigen Landwirtschaft zu beurteilen. Die hohen negativen Salden in der Fruchtfolge 3 in Anlage 1 hatten keine mindernde Wirkung auf den Ertrag, sie weist sogar einen signifikanten Mehrertrag zu den Fruchtfolgen 4-8 auf. Ob sich dieser Mehrertrag durch optimierte N-Düngung noch verbessern lässt, ist in den folgenden Versuchsjahren unbedingt zu untersuchen. Dabei darf die Gefahr einer Umweltbelastung nicht unterschätzt werden. Bereits SCHILLING 2000 weist darauf hin, dass die Zufuhr von Düngernährstoffen nach Erreichen des Höchstertrages keine Effekte mehr bringt oder sogar Ertragsdepressionen hervorrufen kann. Es besteht darüber hinaus die Gefahr der Rückstandsbildung, die zu Umweltbelastungen führt. Dieser Effekt ist in Fruchtfolge 8 in beiden Anlagen aufgetreten. Die Fruchtfolge zeigt einen positiven Saldo, hervorgerufen durch N-Düngung der Marktfrüchte, angepasst an hohe nicht realisierte Ertragserwartungen. Insbesondere in Anlage 1 ist ein deutlicher Überschuss von 94 kg/ha zu verzeichnen. Hier besteht erhöhte Gefahr einer Stickstoffauswaschung. Die Düngestrategie muss für die Fruchtfolge 8 neu festgelegt werden.

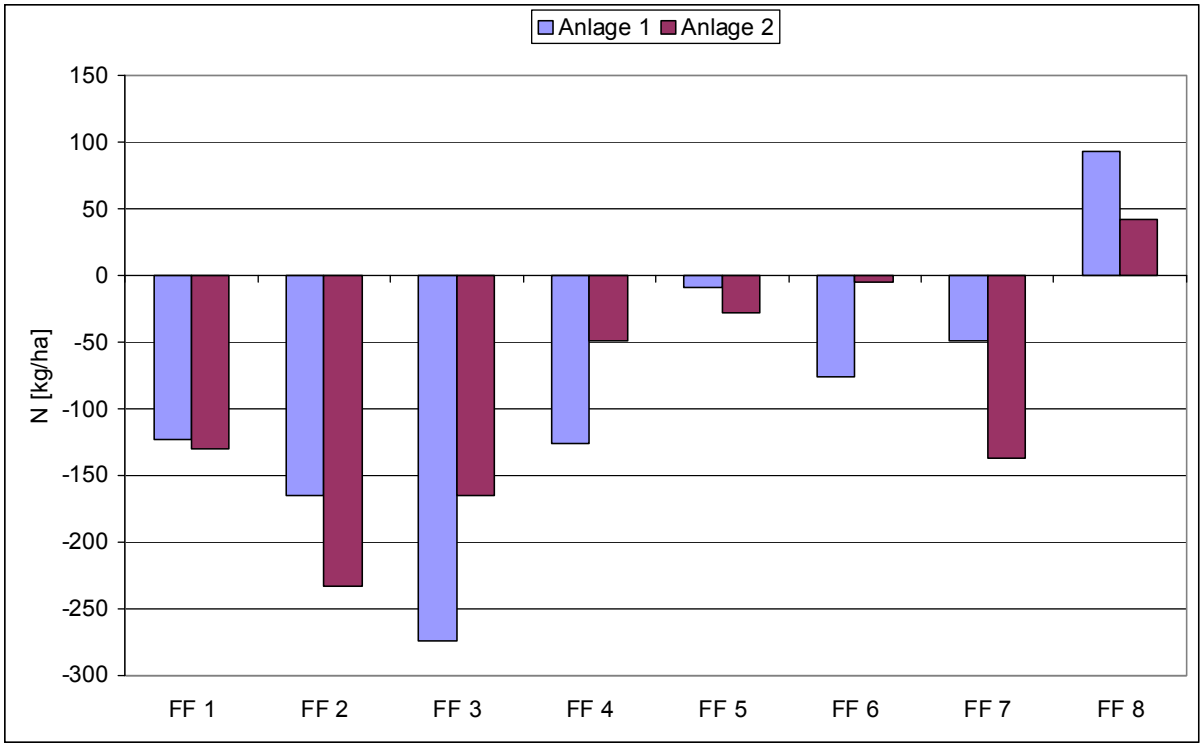


Abbildung 7: Stickstoffsaldo beider Anlagen von 2005-2008 am Standort Gülzow

Bei den Phosphorbilanzen beider Anlagen ist ein negativer Saldo in allen Fruchtfolgen zu verzeichnen (Abbildung 8). Durch die Abfuhr des gesamten Erntegutes in den Energiefruchtfolgen 1-5 sind die Salden dementsprechend höher als bei den Fruchtfolgen mit integrierten Marktfrüchten. Die höhere Abfuhr in Anlage 2 in den Fruchtfolgen 1 und 2 werden durch die in 2007 erreichten hohen Maiserträge verursacht. Generell sind trotz negativer Salden die Bodengehaltsklassen in den 4 Anbaujahren nicht verringert worden. Teilweise ist sogar ein Anstieg zu verzeichnen, verursacht durch Witterungseffekte in den einzelnen Jahren. Diese Effekte werden auch durch Untersuchungsergebnisse von BOELCKE 2008 bestätigt. Da beide Anlagen immer noch die Versorgungsstufe D bis E aufweisen, wird auch bei Versuchsbeginn EVA II auf eine P-Düngung in allen Fruchtarten (außer bei Mais als Unterfußdüngung) verzichtet.

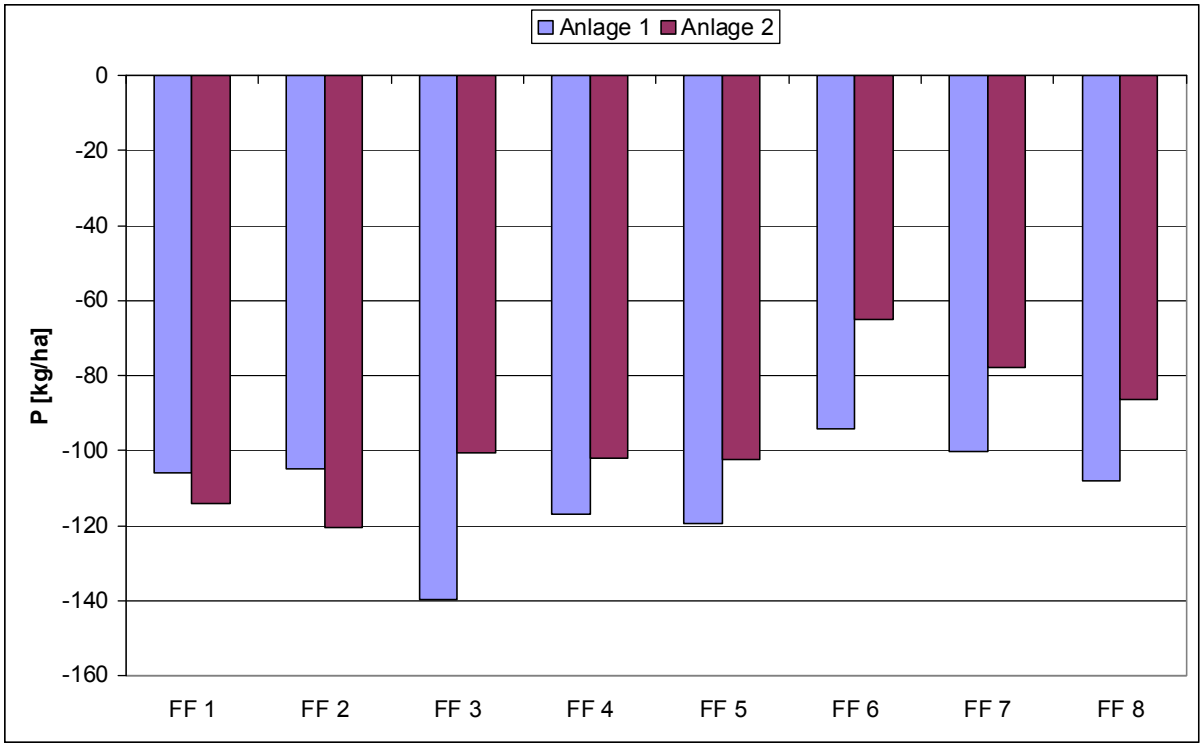


Abbildung 8: Phosphorsaldo beider Anlagen von 2005-2008 am Standort Gülzow

Die negativen K-Salden werden durch die bereits erwähnte unterlassene Düngung angesichts zu hoher Bodengehalte (Kapitel 2.3) verursacht. Anders als beim Phosphor haben die stark negativen K- Salden beider Anlagen (Abbildung 9) einen signifikanten Einfluss (R^2 = 0,8102) auf die Veränderung der Kaliumgehalten im Boden. Durch den hohen Entzug hat sich in Fruchtfolge 3 in beiden Anlagen die Bodengehaltsklasse auf B verschlechtert. Hier besteht Handlungsbedarf. In den übrigen Fruchtfolgen sind die Gehaltsklassen auf C gesunken. Um diesen optimalen Versorgungsbereich zu erhalten, muss die Düngermenge 100 % der Abfuhr des Erntegutes entsprechen (BOELCKE 2008).

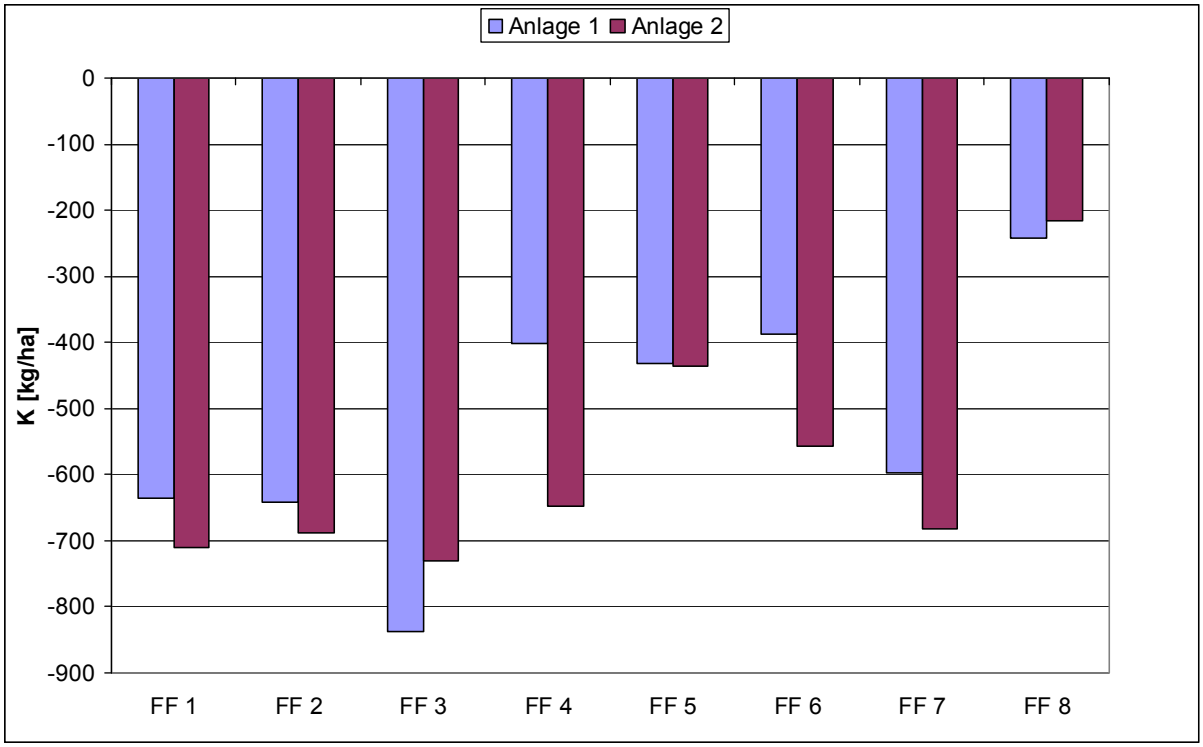


Abbildung 9: Kaliumsaldo beider Anlagen von 2005-2008 am Standort Gülzow

3.4 Humusbilanz

In den nachfolgenden Abbildung 10 und Abbildung 11 sind die Humusbilanzen der beiden Anlagen dargestellt. Diese wurden durch das ZALF Müncheberg errechnet, auf Basis der von dem jeweiligen Standort gelieferten Daten.

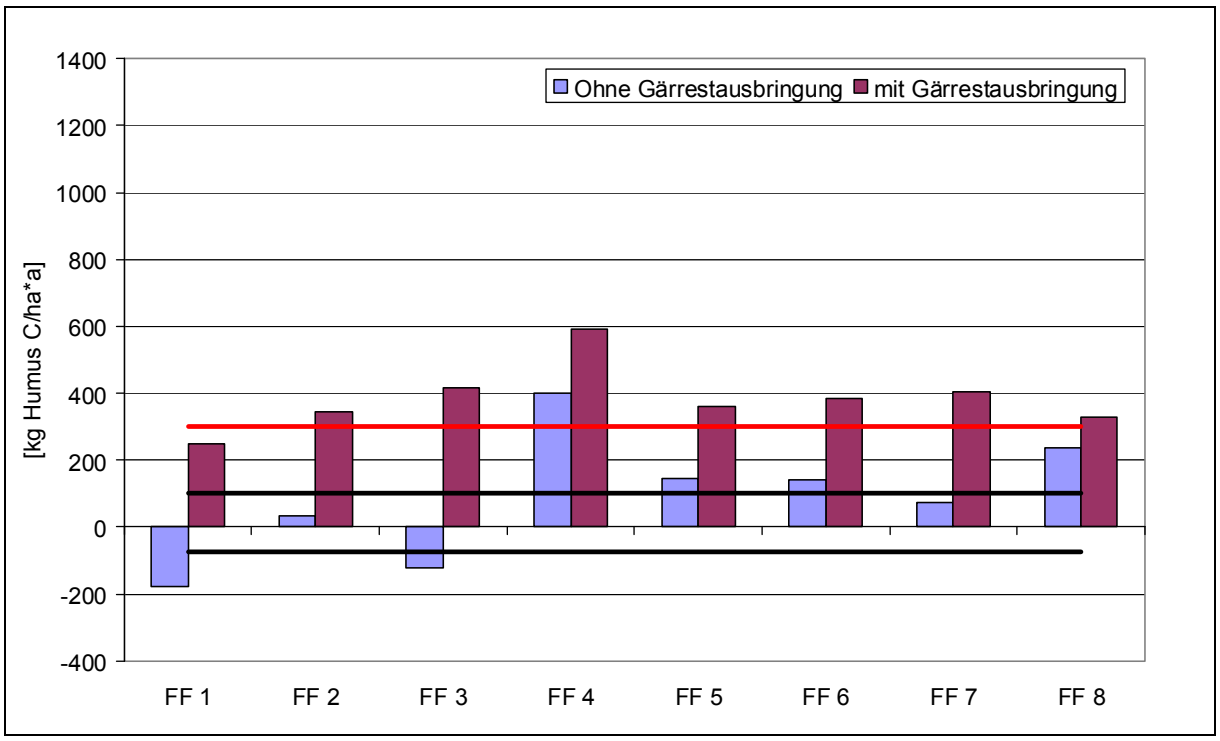


Abbildung 10: Humusbilanzierung nach CC in Anlage 1 (2005-2008) (Quelle Willms)

Bei der Bilanzierung der abgeschlossenen Rotation in Anlage 1 ist nach dieser Berechnung das in der Fachwelt stark diskutierte Problem einer stärkeren Humuszehrung von Energiefruchtfolgen scheinbar nicht nachvollziehbar. Im Gegenteil, durch Gärrestausbringung würden sich alle Fruchtfolgen, außer die Fruchtfolge 1, in der Gruppe E etablieren (in beiden Abbildungen der Bereich oberhalb der Roten Linie). Laut VDLUFA wäre in dieser Gruppierung ein erhöhtes Risiko für Stickstoff-Verluste und eine niedrige N-Effizienz zu erwarten. Dies kann allerdings nicht das gewünschte Ziel einer nachhaltigen Landbewirtschaftung sein. Die hier theoretisch mögliche Gärrestausbringung muss an die in der Düngeverordnung empfohlene Menge von maximal 170 kg N_{Gesamt}/ha*a auf Ackerland angepasst werden.

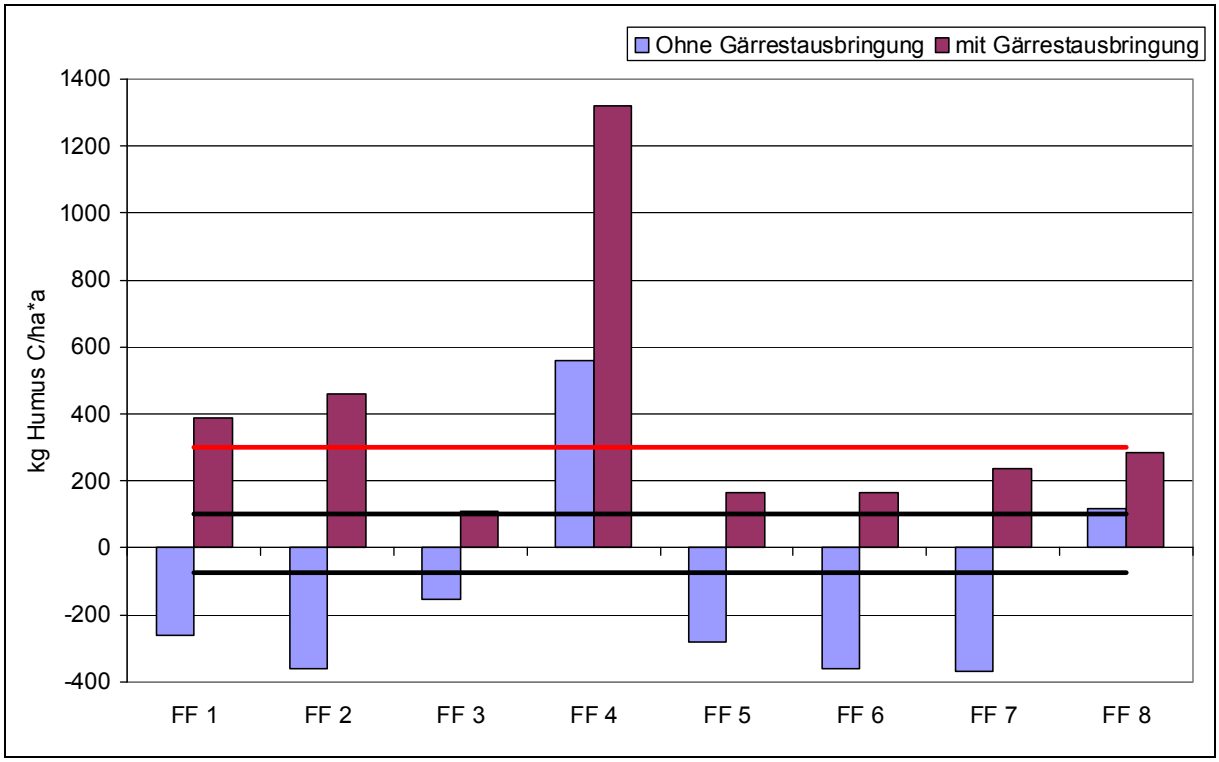


Abbildung 11: Humusbilanzierung nach CC in Anlage 2 (2006-2007) (Quelle Willms)

Über die Bilanzierung der Anlage 2 kann auf Grund der noch nicht abgeschlossen Rotation keine genaue Aussage getroffen werden. Aber auch hier ist abzusehen, dass mit der Berücksichtigung der Einarbeitung von Ernteresten in 2007 und 2008 die Bilanzen wieder in den positiven Bereich kommen. Eine Gärrestausbringung hat rein rechnerisch auch in dieser Anlage die ungewollten Begleiterscheinungen einer angeblich starken Überversorgung mit Humus C. Die Bilanzierung beider Anlagen zeigt, dass auf diesem Gebiet der Bewertung der Fruchtfolgen unbedingt noch Handlungsbedarf besteht. Die Berechnungsgrundlagen und angenommen Berechnungswerte sollte nochmals überdacht und eventuell verbessert werden.

3.5 Theoretische Biogas- und Methangasausbeute

Wie bereits in Kapitel 2.4.3 beschrieben, sind die ermittelten Werte nur bedingt verwertbar. Durch die hier verwendete Methode ist nur ein tendenzieller Trend charakterisierbar. Die Vergleichbarkeit der Fruchtfolgen ist jedoch gewährleistet, da sich der Fehler durch die Verwendung der Formel über alle Fruchtfolgen relativiert. Die theoretische Biogas- und Methangasausbeute ist die Grundlage zur Berechnung der in Abbildung 12 und Abbildung 13 dargestellten Methanerträge der Anlagen 1 und 2. Dabei muss das Verhältnis von Fruchtarten zur Biogasnutzung und zur Kornnutzung in den jeweiligen Fruchtfolgen beachtet werden. Die reinen Energiefruchtfolgen 1 und 3 mit einem Verhältnis von 5:1 (Biogas zu Korn) haben in beiden Anlagen auch die höchsten Methanerträge zu verzeichnen. Allerdings hat die Fruchtfolge 1 aufgrund der geringen Zuckerhirseerträge, welche den Methangasertrag signifikant beeinflussen, (Abbildung A2) einen Minderertrag zu verzeichnen.

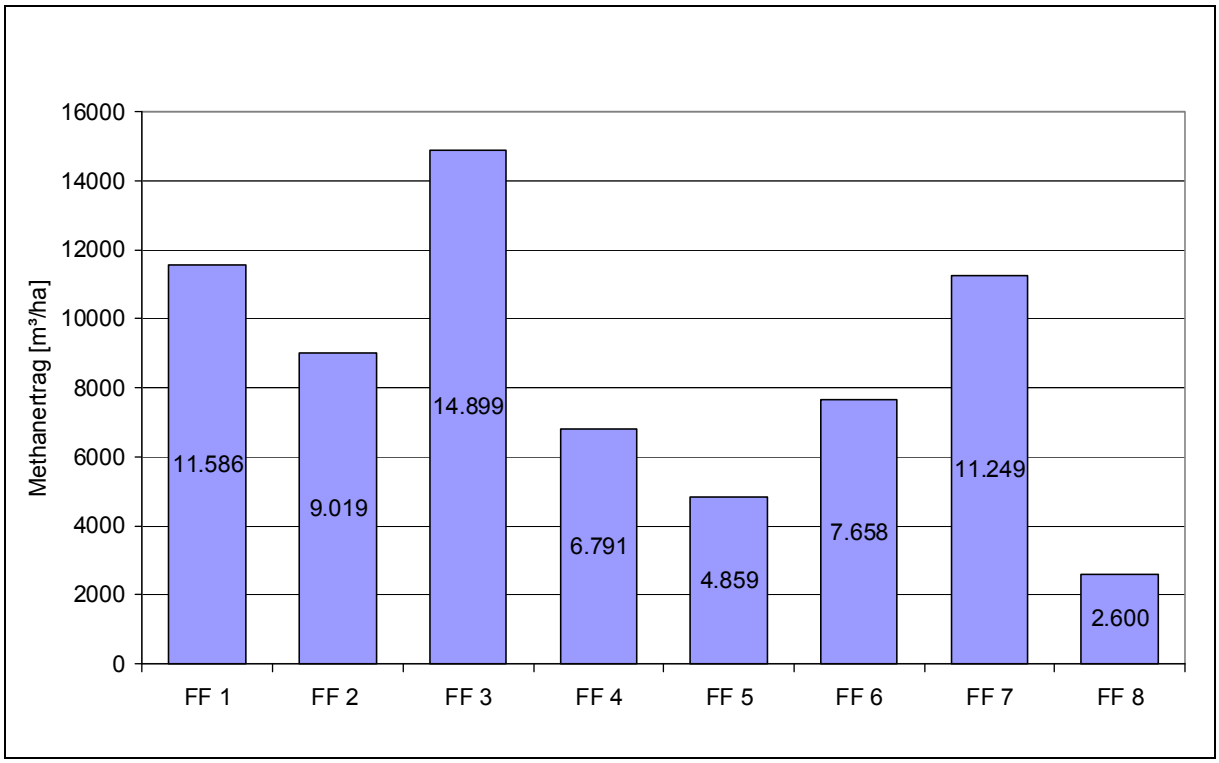


Abbildung 12: Summe der Methanerträge Anlage 1 (2005-2008)

Die Mehrerträge in Anlage 2 gegenüber Anlage 1 erklären sich wiederum durch die erhöhten Biomasseerträge im Anbaujahr 2007. Trotz dieser Mehrerträge ist die Rangfolge der Fruchtfolgen hinsichtlich der Methanerträge gleich bleibend.

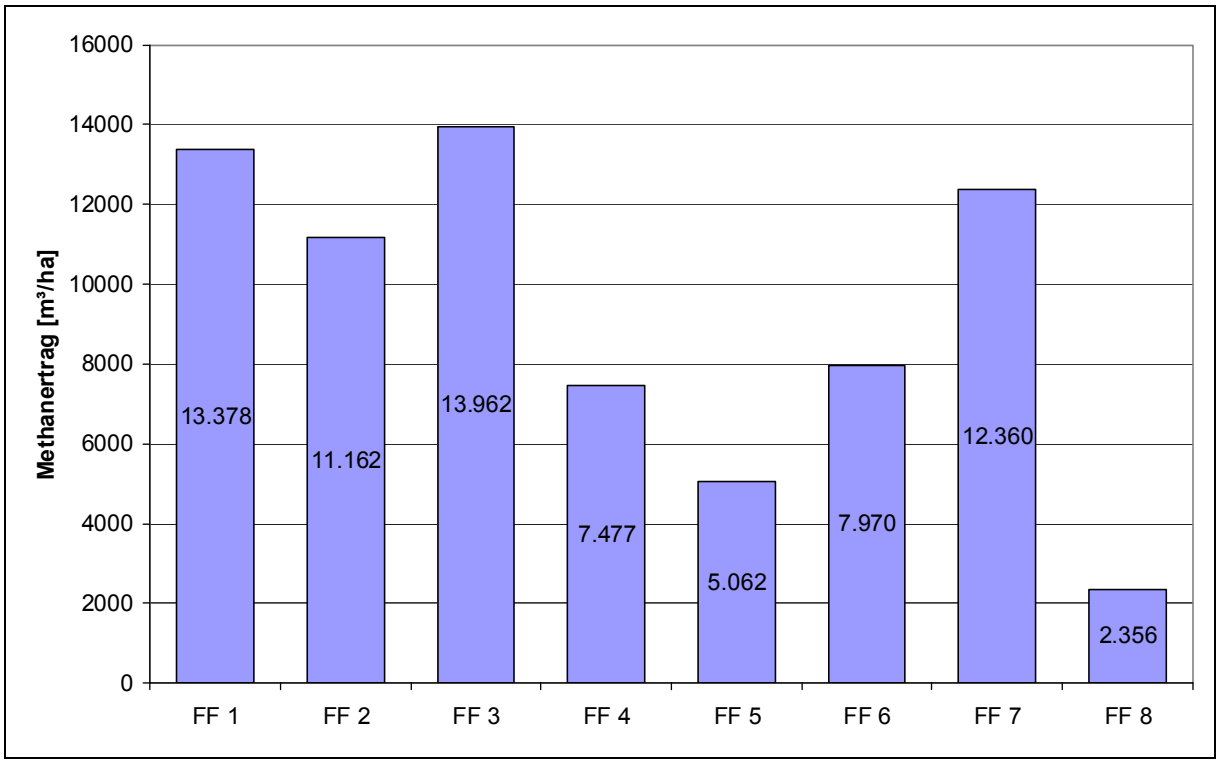


Abbildung 13: Summe der Methanerträge Anlage 2 (2006-2008)

Die benötigte Ackerfläche der jeweiligen Fruchtfolgen basiert auf der Versorgung einer 330 kW Biogasanlage und ist für beide Versuchsanlagen in Abbildung 14 charakterisiert.

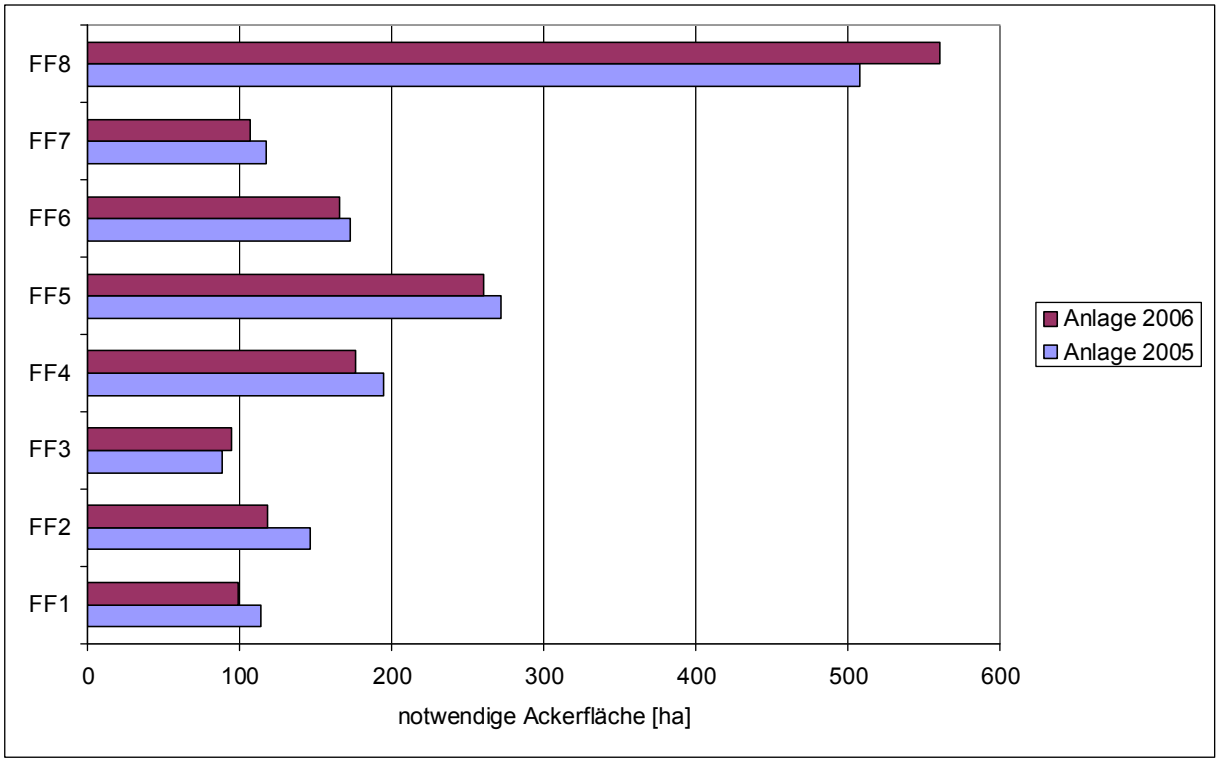


Abbildung 14: Notwendige Ackerfläche/a zur Versorgung einer 330 kW Biogasanlage

Grundlage ist ein Gasbedarf dieser 330 kW Biogasanlage von 1.319724 m³/a (FNR 2005). Um diesen Ertrag zu erreichen, sind in den bereits erwähnten Energiefruchtfolgen 3 und 1 ≤ 115 ha Ackerfläche/a notwendig. Bei einer durchschnittlichen Betriebsgröße in M-V von ca. 250 ha wären das weniger als 50 % der Fläche, die durch Energiepflanzenanbau gebunden wären. Auch die Fruchtfolgen 7 und die Fruchtfolge 2 in Anlage 2006 sind mit weniger als 120 ha Ackerfläche/a noch unter diesen 50% Ackerbindung einzuordnen. Bei allen anderen Fruchtfolgen müsste mehr als die Hälfte an Ackerfläche zur Versorgung der Biogasanlage belegt werden. Die Fruchtfolgen 5 und 8 könnten eine ausreichende Rohstoffversorgung nicht gewährleisten.

3.6 Ökonomische Bewertung

In Abbildung 15 und Abbildung 16 sind die Deckungsbeiträge beider Anlagen dargestellt. Grundlage dieser Berechnung sind die durchgeführten agrotechnischen Maßnahmen an den jeweiligen Standorten. Die Ergebnisse sind als vorläufig anzusehen (TOEWS 2008). Weitere Berechnungsgrundlagen und -methoden können dem Zwischenbericht der Universität Giessen entnommen werden. Erwartungsgemäß sind in Anlage 1 die Fruchtfolgen mit hohem Marktfruchtanteil (FF 5, 6 und 8 in Anlage 1) rentabler, als die Energiefruchtfolgen. Einerseits ist dieser Effekt auf das derzeit hohe Marktpreisniveau zurückzuführen (besonders bei Winterraps), andererseits ist bei einer Energiefruchtfolge mit sechs integrierten Fruchtarten der Arbeitsaufwand deutlich höher als bei Fruchtfolgen mit nur vier Fruchtarten. Dennoch hat die favorisierte Fruchtfolge 3 den höchsten Deckungsbeitrag der Energiefruchtfolgen vorzuweisen. Hier spielt der witterungsbedingte gute Ackergrasertrag im Jahr 2007 eine wesentliche Rolle.

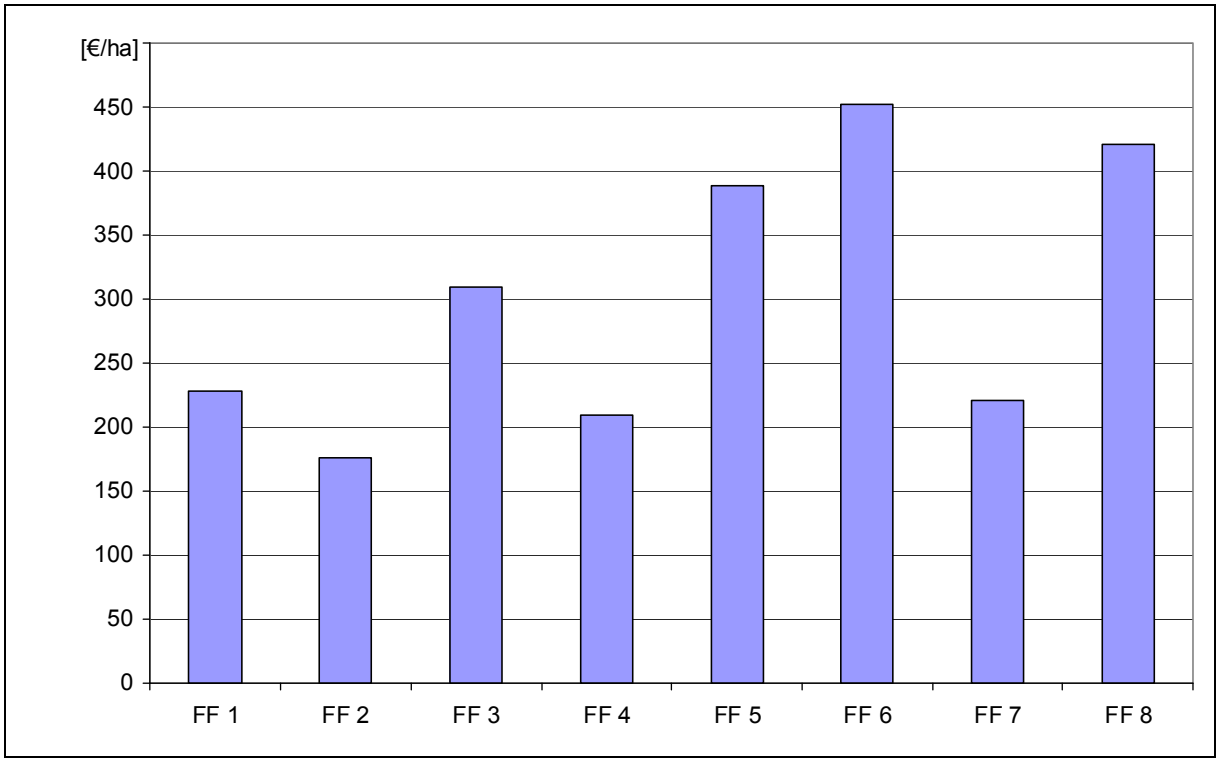


Abbildung 15: Deckungsbeitrag Anlage 1 am Standort Gülzow (2005-2008)

Für die Anlage 2 kann noch keine endgültige Aussage getroffen werden, da hier die abschließende Marktfrucht Winterweizen erst in 2009 geerntet und somit in die Auswertung einbezogen werden kann. Es zeigt sich jedoch zur Anlage 1 ein wesentlicher Unterschied. Die Fruchtfolge 3 ist hier mit einem Deckungsbeitrag von 105 €/dt dem Deckungsbeitrag der Anlage 1 weit unterlegen. Dafür zeigt die Fruchtfolge 2 eine gute Rentabilität, was auf die hohen Maiserträge 2007 zurückgeführt werden kann.

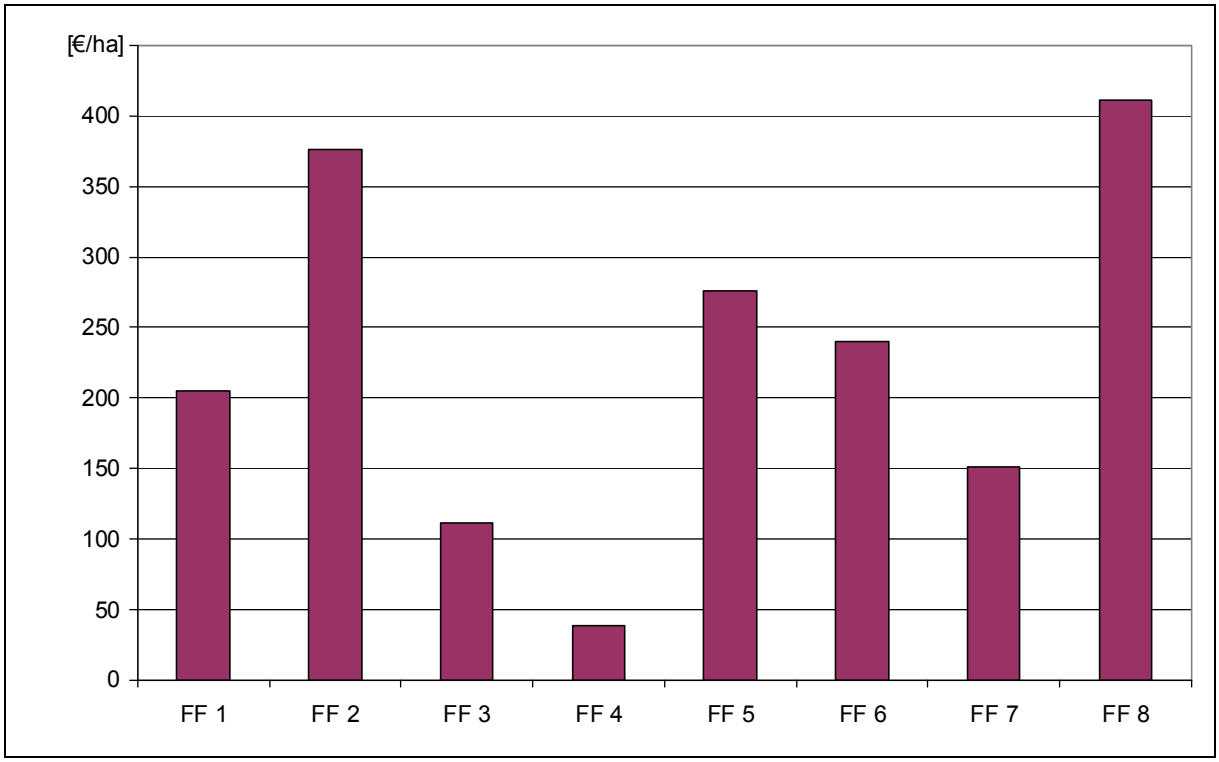


Abbildung 16: Deckungsbeitrag Anlage 2 am Standort Gülzow (2006-2008)

Bei der Bewertung der Deckungsbeiträge einzelner Fruchtarten dienen die Mittelwerte beider Versuchsfelder als Datenbasis. Auffällig ist, dass die Weidelgräser im ersten Anbaujahr, aber auch die „neuen Kulturarten“ Sudangras in Hauptfruchtstellung und Zuckerhirse sowie der Winterroggen als Winterzwischenfrucht negative Deckungsbeiträge aufweisen (Abbildung 17). Beim Sudangras in Hauptfruchtstellung ist der verfrühte Erntezeitpunkt in 2005 und daraus resultierende geringe Trockenmasseerträge als Grund zu sehen. Bestätigung findet diese These im positiven Deckungsbeitrag des Sudangrases in 2006 bei der Anlage 2 (veränderter Erntezeitpunkt) und im Sudangras in Zweitfruchtstellung, welches sich im Mittel beider Anlagen im positiven Bereich etabliert hat. Auch die Getreideganzpflanzen Wintertriticale, Mischung aus Sommerroggen/Sommertriticale sowie das Ackerfutter Kleegras sind positiv zu bewerten. Dies kann unter anderem an der veränderten Strategie im Düngemittel- und Pflanzenschutzmitteleinsatz liegen. Zur eventuellen Optimierung der noch im negativen Bereich zu findenden Fruchtarten, sollten Veränderungen der agrotechnischen Maßnahmen bei diesen Fruchtarten in Betracht gezogen werden.

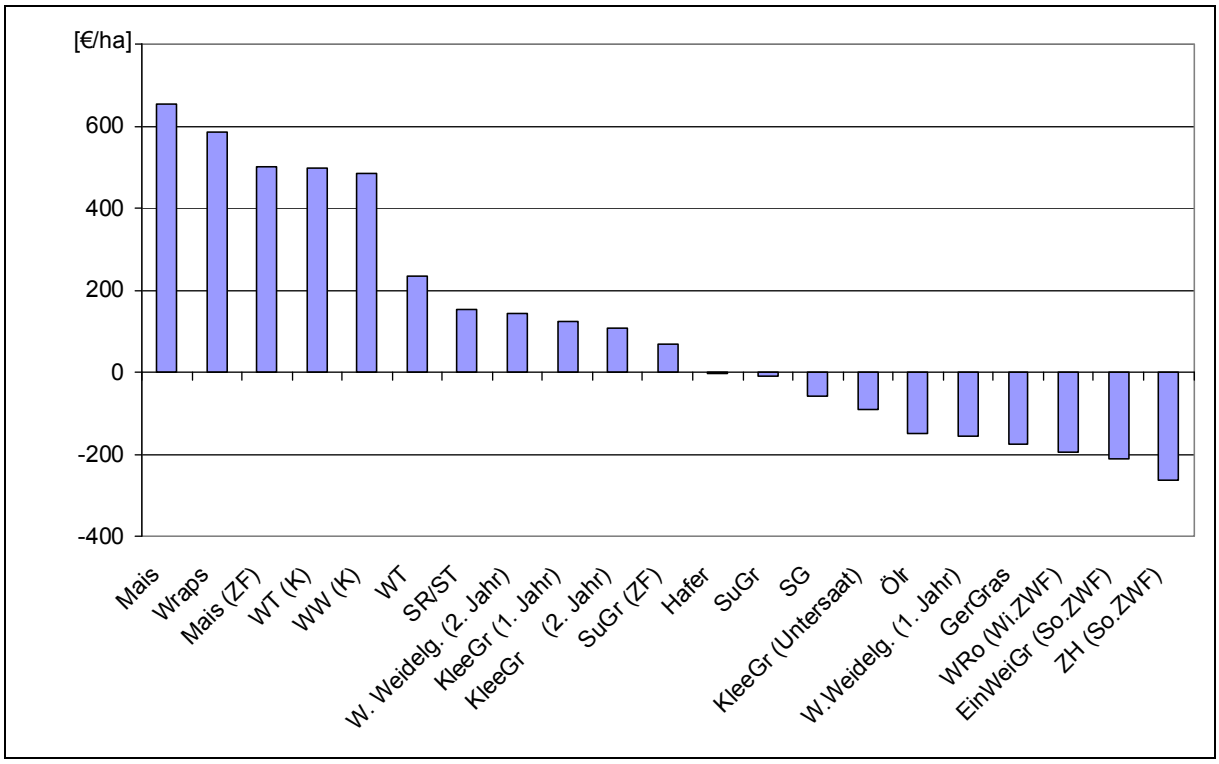


Abbildung 17: Deckungsbeitrag der einzelnen Fruchtarten

3.7 Anbauempfehlungen für die Region

Zur Absicherung der Rohstoffbereitstellung für die Biogasanlage sind in die Fruchtfolgen Mais und Hirse zu integrieren. Weiterhin können Wintertriticale und Ackergras bei dementsprechender Wasserversorgung als gute Alternative zu einer hohen Anbaukonzentration von Mais entgegenwirken. Generell ist darauf zu achten, dass Fruchtfolgen mit hohen Methanerträgen bevorzugt angebaut werden. In diesem Fall sind die Fruchtfolgen 3, 1, 2 und 7 zu nennen. Somit kann der Anteil der Flächenbindung für den Energiepflanzenanbau in einem Betrieb so gering wie möglich gehalten werden und der Landwirt hat den Vorteil, den Anteil an Marktfrüchten im Gesamtbetrieb zu steigern, um eine ökonomische Rentabilität zu gewährleisten und hohe Gewinne zu erzielen. Zum Einfluss der hier favorisierten Energiefruchtfolgen auf den Humushaushalt kann auf Grund der fehlerhaften Bewertungsmethode zum jetzigen Zeitpunkt keine Aussage getroffen werden. Fakt ist jedoch, dass die Verwertung der gesamten Kulturpflanze im Energiepflanzenanbau hohe Nährstoffentzüge verursacht und dadurch den Nährstoffhaushalt im Boden beeinflusst. Eine bedarfsgerechte Ausgleichsdüngung ist unbedingt durchzuführen. Um eine nachhaltigere Landbewirtschaftung gewährleisten zu können, sollten Bodenuntersuchungen auch hinsichtlich der Makronährstoffe im Energiepflanzenanbau einem verkürzten Turnus unterliegen (z. B. alle 3 Jahre).

4 Zusammenfassung

Die Fruchtfolgen 3, 2 und 1 sind die ertragreichsten. Aus Sicht der Diskussion „Tank oder Teller“ sind diese Fruchtfolgen den anderen zu bevorzugen, allen voran die Fruchtfolge 3. Weiterhin hat sich in den letzten Anbaujahren herauskristallisiert, dass Sorghum besonders bei erhöhtem Trockenheitsrisiko eine gute Alternative zum Mais ist. Frühreife Sorten könnten das Potenzial dieser Fruchtart noch verbessern, da die TS-Gehalte im Versuch immer < 25% lagen. Weiterhin ist anzumerken, dass Sorghum in Mecklenburg-Vorpommern nicht für eine Spätsaat (Anfang Juli) geeignet ist. Der Vegetationszeitraum reicht für die Entwicklung der gewünschten Biomasse nicht mehr aus. Deshalb ist Wintertriticale als Ganzpflanze (Ernte zur Teigreife) vor Sorghum nicht empfehlenswert. Grünschnittroggen ist als Vorfrucht effektiver. Weitere ertragreiche Alternativen zum Mais in Energiefruchtfolgen sind Wintertriticale (GPS) und Ackergräsermischungen bei ausreichender Wasserversorgung. Die genannten Fruchtarten und Mischungen sind hinsichtlich des Methanertrages dem Mais ebenbürtig. Besonders die Ackergräser zeigen zusätzlich einen positiven Effekt auf die Folgefrucht. Signifikante Mehrerträge von bis zu 11% bei der Winterweizenernte durch die Vorfrucht Kleegras wurden erreicht. Aus ökonomischer Sicht sind wiederum die Energiefruchtfolgen 3 und 1 zu favorisieren. Diese können durch hohe Methanerträge eine geringe Ackerflächenbindung im Betrieb realisieren. Dadurch ist der Landwirt in der Lage, den verbleibenden Rest seiner Ackerfläche mit gewinnbringenden Marktfrüchten, wie Winterraps und Winterweizen, zu bestellen. Im Bereich der Ökologie muss angemerkt werden, dass die Methode der Humusbilanzierung nochmals überdacht und verbessert werden sollte, da diese kaum die Realität widerspiegelt. Wenn eine Verwertung der gesamten Kulturpflanze im Energiepflanzenanbau hohe Nährstoffentzüge verursacht (siehe Kapitel 3.3) und dadurch den Nährstoffhaushalt im Boden stark beeinflusst, ist davon auszugehen, dass sich dieser Effekt auch beim Kohlenstoff zeigt. Um eine Erhaltung der Bodengehaltsklasse C in beiden Fällen zu erreichen, ist eine bedarfsgerechte Ausgleichsdüngung durchzuführen. Die Gärreste sind nach Mengenempfehlung der Düngeverordnung zur Humusversorgung zu nutzen. Wird durch die fachgerechte Biogasgülleausbringung der Humus C-Bedarf nicht gedeckt, können auch noch andere Maßnahmen, wie z. B. das Etablieren von Senf in die Fruchtfolge oder Gründüngung wirken. Bei der Berechnung der Methangaserträge ist anzumerken, dass die theoretisch ermittelten Werte nicht mit den Laborwerten korrelieren. Auch hier besteht noch Handlungsbedarf. Ein wichtiger Aspekt für EVA II wird es sein, die Anbaumethoden der neuen Kulturarten zu verbessern und die favorisierte Fruchtfolge 3 hinsichtlich ihrer ökologischen und ökonomischen Bewertung mit verbesserten Methoden aussagekräftiger bewerten zu können.

5 Literatur

BOELCKE, B. (2008): P/K-Düngung im Wintergetreideanbau, Landesforschungsanstalt für Landwirtschaft und Fischerei Mecklenburg Vorpommern 2008, http://lfamv.de/index.php?/content/view/full/5193,

KÖPPEN, D., ET.AL. (2004): Bodenfruchtbarkeit im Agroökosystem, Schriftenreihe Agrarwissenschaftliche Forschungsergebnisse, Band 25, Verlag Dr. Kovač, Hamburg 2004

LEIDEL, S. (2000): N- Salden und Emissionen der klimarelevanten Spurengase Lachgas und Methan unter den Standortbedingungen Nordostdeutschlands als Indikatoren der umweltgerechten Landbewirtschaftung, Diss. , Rostock 2000

MICHEL, V. (2008): Berichtsheft Silomais, Energiemais und Körnermais, Landesforschungsanstalt für Landwirtschaft und Fischerei Mecklenburg Vorpommern 2008, http://lfamv.de/index.php?/content/view/full/1862

SCHILLING, G. (2000): Pflanzenernährung und Düngung, Eugen Ulmer Verlag, Stuttgart 2000

ZENK, A., MICHEL, V. (2008): Ertragsniveau der Landessortenversuche Winterweizen, Landesforschungsanstalt für Landwirtschaft und Fischerei Mecklenburg Vorpommern 2008, http://lfamv.de/index.php?/content/view/full/655

FACHAGENTUR NACHWACHSENDE ROHSTOFFE E.V., (2005): Basisdaten Biogas Deutschland Stand März 2005, Gülzow 2005

6 Anhang

Tabelle A 1: Standortcharakterisierung Gülzow Energiefruchtfolge 2006

Standort	Bodentyp	Horizont-bezeichung	Untere Horizontgrenze	nFK	Ct	C/N
Anlage 1	Parabraunerde-Haftnässepseudogley	Ap	32	60,8	0,83	9
		Sg-Bt	55	29,9	0,428	7,9
		Cc	93	25,5	0,641	4,8
Anlage 1	Kolluvisol/Pseudogley	Ap	30	60	0,714	9,1
		Sd-Bt	66	54	0,329	7,4
		Sg	160	21	0,185	6,5
		Cc	200		0,644	5,2
Anlage 2	Kolluvisol-Pseudogley	Ap	40	80	0,628	9,8
		Sew-M	54	23,8	0,216	9
		Bt-Sd	75	31,5	0,166	6,2
		Sg	124		0,054	3,1
		C	180		0,04	3,2
Anlage 2	Parabraunerde	Ap	30	60	0,649	9,5
		Al	42	20,4	0,262	8,7
		Bt	87	58,5	0,179	5,7
		Cc1	130		1,106	2,2
		Cc2	150		1,266	6,6
		cc3	180		1,311	3,4

Tabelle A 2: In- und Output Anlage 1 Gülzow 2005-2008

	Kalium [kg/ha]		Phosphor [kg/ha]		Stickstoff [kg/ha]	
FF	Input	Output	Input	Output	Input	Output
FF 1		635	46	152	708	831
FF 2		641	46	151	728	893
FF 3		838	46	186	758	1032
FF 4	300	702		117	550	676
FF 5		431		120	650	659
FF 6	240	387	46	140	628	704
FF 7		836	46	146	738	786
FF 8		242		108	690	596

Tabelle A 3: In- und Output Anlage 2 Gülzow 2005-2008

	Kalium [kg/ha]		Phosphor [kg/ha]		Stickstoff [kg/ha]	
FF	Input	Output	Input	Output	Input	Output
FF 1		710	46	160	518	648
FF 2		688	46	166	508	741
FF 3		730	46	147	588	753
FF 4	165	812		164	420	469
FF 5		436		102	460	488
FF 6	150	557	46	111	498	503
FF 7		832	46	124	548	685
FF 8		216		87	490	448

Tabelle A 4: Bewertungsmaßstab der N-Salden

Höhe des N-Saldos	Bewertungsmaßstab
< 40 kg N/ha	Tolerierbarer Überschuss
40-80 kg N/ha	Mittlerer Überschuss
> 80 kg N/ha	Hoher Überschuss

Tabelle A 5: Bewertung der Humussalden

Humussaldo kg Humus-C/ha*a	Gruppe	Bewertung
< -200	A Sehr niedrig	Ungünstige Beeinflussung von Bodenfunktionen und Ertragsleistung
-200 bis -76	B Niedrig	Mittelfristig tolerierbar, besonders auf mit Humus angereichertem Böden
-75 bis 100	C Optimal	Optimal hinsichtlich Ertragssicherheit bei geringem Verlustrisiko Langfristig Einstellung standortangepasster Humusgehalte
101 bis 300	D hoch	Mittelfristig tolerierbar, besonders auf mit Humus verarmten Böden
> 300	E Sehr hoch	Erhöhtes Risiko für Stickstoff-Verluste, niedrige N-Effizienz

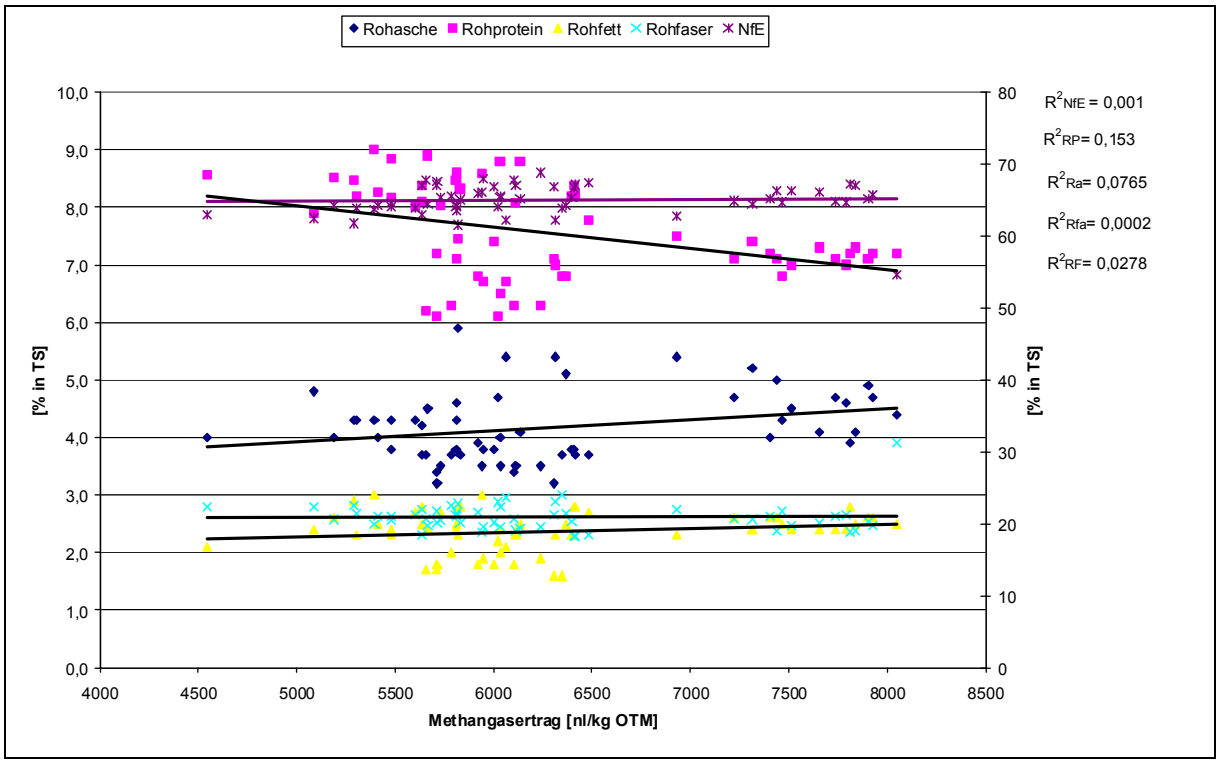


Abbildung A 1: Korrelation zwischen Inhaltstoffen und theoretischen Methangas-ausbeute

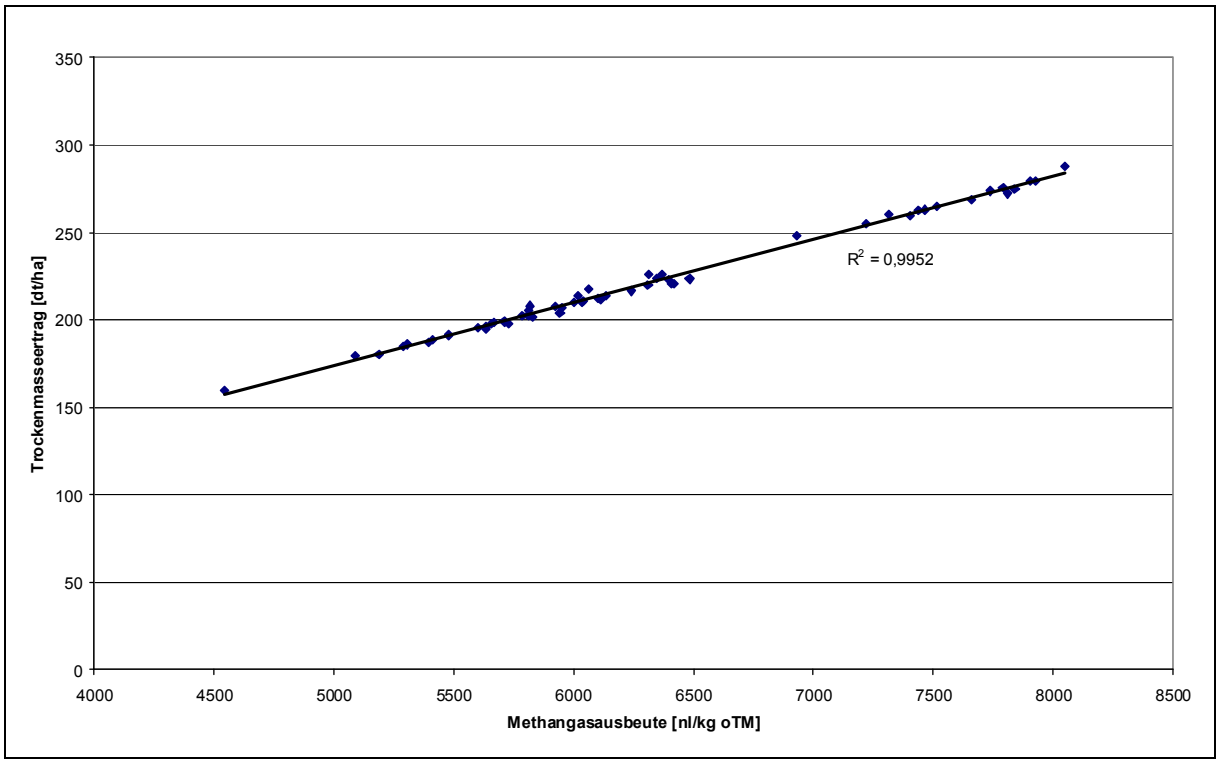


Abbildung A 2: Korrelation zwischen Trockenmasseertrag und Methangasausbeute

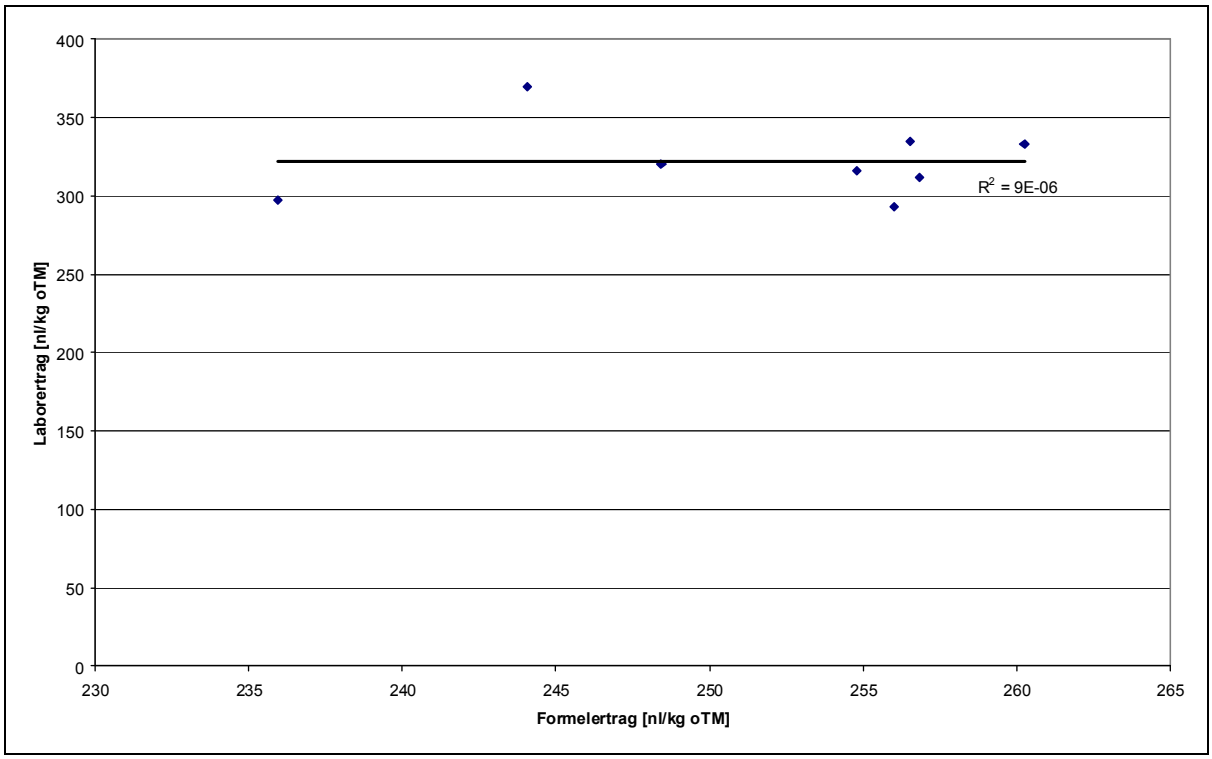


Abbildung A 3: Abhängigkeit der Methangaserträge beider Untersuchungsvarianten

Tabelle A 6: Fruchtfolgeerträge - Signifikanzen zum Standard und untereinander Anlage 1

Fruchtfolge	Adjustierter TM Ertrag [dt/ha]	Statistisch gesichert mit α < 5%							
		FF1	FF2	FF3	FF4	FF 5	FF 6	FF 7	FF 8
FF 1	645			*	*	*		*	*
FF 2	641			*	*	*		*	*
FF 3	764				*	*	*	*	*
FF 4	451					*	*	*	*
FF 5	537						*	*	
FF 6	617								*
FF 7	584								*
FF 8	532								
Mittlerer Ertrag	**596**								
GD (5%,t, Standard zu Prüfglied) =	27,3								
GD (5%,t, Prüfglied zu Prüfglied) =	35,2								

Tabelle A 7: Weizenerträge - Signifikanz der Fruchtfolgen zum Standart und untereinander Anlage 1

Fruchtfolge	Weizen Korn Ertrag [dt/ha]	Statistisch gesichert mit α < 5%							
		FF1	FF2	FF3	FF4	FF 5	FF 6	FF 7	FF 8
FF 1	98,9		*	*	*	*	*	*	
FF 2	79,6			*	*	*	*	*	*
FF 3	107,6								
FF 4	113,9								*
FF 5	108,6								
FF 6	105,9								
FF 7	106,4								
FF 8	102,4								
Mittlerer Ertrag	**102,9**								
GD (5%,t, Standard zu Prüfglied) =	6,5								
GD (5%,t, Prüfglied zu Prüfglied) =	8,3								

Landesamt für Verbraucherschutz, Landwirtschaft und Flurneuordnung Brandenburg
Abteilung Landwirtschaft und Gartenbau
Referat Ackerbau und Grünland

Ergebnis-Endbericht

Berichtszeitraum März 2005 bis Dezember 2008

Thema: Entwicklung und Vergleich von optimierten Anbausystemen für die landwirtschaftliche Produktion von Energiepflanzen unter den verschiedenen Standortbedingungen Deutschlands (Verbundprojekt)

Teilprojekt 1: Entwicklung und Optimierung von standortangepassten Anbausystemen für Energiepflanzen im Fruchtfolgeregime (Land Brandenburg)

Laufzeit: 03/2005 – 01/2009 (Antrag vom 14.03.2005)

Förderkennzeichen: 22002305

Zuwendungsgeber: Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz

Projektträger: Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. Gülzow

Projektleiter: Dr. Lothar Adam (bis 31.12.2007)
Dr. Gert Barthelmes (ab 01.01.2008)

wissenschaftlicher Bearbeiter: Dr. Gunter Ebel

Versuchstechniker(in): Frau Kerstin Kläring (Juli 2005 bis Mai 2007)
Herr Rainer Piontek (ab Mai 2007)

Techniker: Herr Björn Silber (Juli 2005 bis April 2007)
Herr Meik Schmidt (ab Mai 2007)

Güterfelde, den

Dr. G. Barthelmes
Projektleiter

Dr. G. Ebel
wiss. Bearbeiter

Inhaltsverzeichnis

1	**Einleitung**	**121**
2	**Material und Methoden**	**121**
2.1	**Standort Güterfelde**	**121**
2.2	**Witterung**	**122**
2.3	**Versuchsdurchführung**	**126**
2.4	**Berechnungsgrundlagen**	**129**
2.4.1	**Nährstoffbilanzierung**	**129**
2.4.2	**Humusbilanzierung**	**129**
2.4.3	**Theoretische Biogas- und Methangasausbeute**	**129**
3	**Ergebnisse und Diskussion - Standort Güterfelde**	**130**
3.1	**Ganzpflanzen-Trockenmasseerträge**	**130**
3.1.1	**Vergleich der Fruchtfolgestellungen**	**134**
3.2	**Marktfrucht- und Gesamttrockenmasseertrag in den Fruchtfolgen**	**137**
3.3	**Methangasausbeute und -ertrag**	**141**
3.4	**Nährstoffentzüge und -bilanzen**	**144**
3.5	**Humusbilanz**	**146**
3.6	**Ökonomische Bewertung**	**148**
3.7	**Anbauempfehlungen für die Region**	**151**
4	**Zusammenfassung des Fruchtfolgeversuchs am Standort Güterfelde**	**152**
5	**Literaturverzeichnis**	**153**

1 Einleitung

Seit dem Frühjahr 2005 werden im Land Brandenburg für das Teilprojekt 1: „Entwicklung und Optimierung von standortangepassten Anbausystemen für Energiepflanzen im Fruchtfolgeregime“ innerhalb des Verbundprojektes (EVA)[1] die Fruchtfolgeversuche am Standort Güterfelde (LVLF) durchgeführt. An den Standorten Paulinenaue (LVLF) und Berge (Humboldt-Universität Berlin) sind Satellitenversuche zu verschiedenen mehrjährigen Ackerfuttermischungen eingerichtet worden (vgl. Anhang 1; vgl. Bericht Ackerfutter)[2].

Ziel ist es, die Eignung von Kulturpflanzenarten in neun verschiedenen Fruchtfolgesystemen bzw. sechs variierende Ackerfuttermischungen in der „Roggen - Kartoffel - Region" Deutschlands unter den regionalen Bedingungen Brandenburgs für die energetische Nutzung in Biogasanlagen zu ermitteln.

Im vorliegenden Endbericht 2008 sind zunächst die Standortparameter (Abschnitt 2.1), die Witterung des Versuchszeitraums 2005 bis 2008 (Abschnitt 2.2) und die Versuchsdurchführung der beiden jahresversetzten Anlagen mit jeweils neun Fruchtfolgen (Abschnitt 2.3) des Standortes Güterfelde dargestellt. Anschließend werden fruchtartenspezifisch die Ertragsergebnisse der Kosubstrate im Zusammenhang mit den Einflussfaktoren wie Witterung und Bewirtschaftung benannt (Abschnitt 3.1; Anhang 8) sowie der Zweitfruchtanbau bewertet (Abschnitt 3.1.1). Der Einfluss verschiedener Erntezeitpunkte auf das Ertragsverhalten der untersuchten Fruchtarten und die Ergebnisse des am Standort Güterfelde zusätzlich durchgeführten Satellitenversuches „Getreideganzpflanze“[3] werden im Bericht „Erntezeitpunkte“ dargestellt. Im Zusammenhang mit den Erträgen der Marktfrüchte erfolgt der Ertragsvergleich aller Fruchtfolgen nach der ersten Rotation (Abschnitt 3.2). Mit den Aussagen zu den ermittelten Inhaltsstoffen (Anhang 9), Methanerträgen (Abschnitt 3.3), den Nährstoffentzügen und -bilanzen (Abschnitt 3.4), den Humusbilanzen (Abschnitt 3.5) sowie der ökonomischen Bewertung (Abschnitt 3.6) werden die Anbauempfehlungen für die „Roggen - Kartoffel - Region" im Abschnitt 3.7 abgeleitet.

2 Material und Methoden

2.1 Standort Güterfelde

Der Standort Güterfelde (vgl. Tabelle 1) ist dem Boden-Klima-Raum 104 (trocken-warme diluviale Böden des ostdeutschen Tieflandes) zugeordnet (vgl. Anhang 2).

[1] **E**ntwicklung und **V**ergleich von optimierten **A**nbausystemen für die landwirtschaftliche Produktion von Energiepflanzen unter den verschiedenen Standortbedingungen Deutschlands (vgl. Anhang 1; http://www.tll.de/vbp)

[2] Die Satellitenversuche „Ackerfuttermischungen“ sind an verschiedenen Standorten der Bundesländer: Niedersachsen, Thüringen und Brandenburg im Zeitraum 2005 bis 2007 durchgeführt worden. Vergleiche dazu Anhang 12 und eigenständige Berichte der HU Berlin (Standort Berge) und LVLF (Standort Paulinenaue) bzw. Bericht des Koordinators LWK Niedersachsen.

[3] Satellitenversuch „Getreideganzpflanze“ – Arten-/Sortenvergleich in Wechselwirkung mit verschiedenen Erntezeitpunkten und Fungizidbehandlungen

Tabelle 1: Kurzcharakteristik des Standortes Güterfelde

Kreis:		Potsdam - Mittelmark
Ackerzahl:		29-33
Bodenform:		Salm- bis Sandtieflehm - Fahlerde
Bodenart:		Lehmiger Sand (lS)
Niederschlag (lj. Mittel/a)	1950-1980:	589 mm
	1970-2000:	570 mm
	1996-2005:	545 mm
Lufttemp. (lj. Mittel/a)	1950-1980:	8,6 °C
	1970-2000:	8,9 °C
	1996-2005:	9,1 °C

Die Bodenparameter vor Versuchsbeginn auf der Fläche des Fruchtfolgeversuches am Standort Güterfelde sind in Tabelle 2 aufgeführt.

Tabelle 2: Parameter der Bodenuntersuchung (0-30 cm) und Versorgungsstufen für die Flächen des Fruchtfolgeversuches Güterfelde vor Versuchsbeginn

Datum Bodenprobe-entnahme	pH-Wert	P_{DL}	K_{DL}	Mg_{CaCl_2}	org. S.	N_t
		mg/100 g (lufttrockene Substanz)			% (lufttrockene Substanz)	
Anlage 1 16.03.2005	5,5/ B	11,2/ D	8,9/ C	6,0/ C	1,84	0,07
Anlage 2 30.03.2006	6,1/ C	P_{CAL} 6,9/ C	K_{CAL} 5,8/ B	6,2/ C	1,25	0,06

Anmerkung: (vgl. Abschnitt 2.3); Die Untersuchungen P_{DL} und K_{DL} (Doppellactat-Methode) werden in Brandenburg, wie auch in den nördlichen Bundesländern allgemein üblich, für die Diluvialböden empfohlen (ANONYMUS 2000). Für das Verbundvorhaben wird die CAL-Methode angewendet – hierzu gibt es für die Versorgungsstufen Richtwerte (TLL, 2001).

2.2 Witterung am Standort Güterfelde

Die Witterung im Versuchszeitraum 2005 bis 2008 ist generell mit 1°C über dem langjährigen Jahresdurchschnitt als zu warm zu charakterisieren. In den einzelnen Jahren bestehen jedoch stark abweichende Verläufe (Tab. 3.1 und Tab. 3.2; vgl. Abb. 1). Die mittlere Lufttemperatur und der Jahresniederschlag weisen für 2005 durchschnittliche Werte auf. Dagegen gelten die Jahre 2006 und 2008 als zu warm und deutlich zu trocken. 2007 ist als ein deutlich zu warmes und eher feuchtes Jahr zu bewerten (vgl. Anhang 3; 3.1).

Tabelle 3.1: Lufttemperatur (°C) im Zeitraum 2005 bis 2008 im Vergleich zu den langjährigen Mitteln am Standort Güterfelde[4]

Lufttemperatur in °C							
Monat	Jahre				Mittelwerte		
	2005	2006	2007	2008	2005 bis 2008	1996 bis 2005	1993 bis 2007
Januar	2,6	-4,4	5,9	4,2	**2,1**	**0,1**	**0,5**
Februar	-0,6	-0,6	4,0	5,1	**2,0**	**1,7**	**1,6**
März	3,1	1,2	7,6	5,2	**4,3**	**4,0**	**4,1**
April	9,4	8,8	12,0	9,0	**9,8**	**8,8**	**9,1**
Mai	13,0	13,8	16,0	16,2	**14,8**	**13,8**	**13,9**
Juni	16,1	18,1	19,5	19,2	**18,2**	**16,4**	**16,5**
Juli	18,4	24,2	18,9	20,0	**20,4**	**18,0**	**18,8**
August	16,2	17,6	18,8	19,1	**17,9**	**18,4**	**18,2**
September	14,8	18,1	14,0	14,1	**15,2**	**13,9**	**14,0**
Oktober	10,6	12,5	8,8	9,9	**10,5**	**9,2**	**9,3**
November	4,1	7,8	4,3	6,1	**5,6**	**4,0**	**4,0**
Dezember	0,9	5,8	2,7	2,2	**2,9**	**0,6**	**1,2**
Jahresmittel	9,1	10,2	11,1	10,9	**10,3**	**9,1**	**9,3**

Frost / zu kühl
eher zu kühl
Durchschnittstemp.
eher zu warm
deutlich zu warm / heiß

Eine präzisere Gesamteinschätzung der Witterung der Versuchsjahre ist mit der zusätzlichen Betrachtung der Evapotranspiration und damit der Klimatischen Wasserbilanz (KWB) möglich. Die seit Juli 2006 in Güterfelde vorgenommenen Messungen der Verdunstung weisen für 2006 und 2008 extrem negative KWB-Werte (monatlich: > -50 mm) gegenüber dem Jahr 2007 aus (vgl. Tab. 3.3 und Anhang 3).

Tabelle 3.2: Niederschlag (mm) im Zeitraum 2005 bis 2008 im Vergleich zu den langjährigen Mitteln am Standort Güterfelde[5]

Niederschlag in mm							
Monat	Jahre				Mittelwerte		
	2005	2006	2007	2008	2005 bis 2008	1996 bis 2005	1993 bis 2007
Januar	57	21	80	69	**57**	**39**	**43**
Februar	34	43	44	13	**33**	**41**	**37**
März	20	34	53	41	**37**	**35**	**38**
April	29	34	1	46	**27**	**31**	**31**
Mai	77	55	132	8	**68**	**53**	**62**
Juni	25	16	89	29	**40**	**47**	**56**
Juli	151	41	84	43	**80**	**71**	**68**
August	44	75	58	53	**57**	**53**	**58**
September	39	9	67	57	**43**	**46**	**49**
Oktober	38	18	8	60	**31**	**51**	**40**
November	25	29	53	26	**33**	**40**	**39**
Dezember	39	30	26	22	**29**	**39**	**41**
Jahressumme	577	404	693	465	**535**	**545**	**562**

> 200 % des Monatsmittel
> Durchschnitt (100%)
eher zu trocken
deutlich zu trocken (< 50% des Monatsmittel)

[4] bei den Lufttemperaturen erfolgte die Eingruppierung nach der Abweichung vom Mittel mit einer deutlichen Ausprägung > bzw. < 1°C;
[5] Niederschläge in der Periode November bis Februar werden hier eher negativ bewertet, da bei positiver Klimatischer Wasserbilanz und frostfreien Bedingungen, insbesondere auf unbewachsenem Boden, die Versickerung einsetzt. Als deutlich zu trocken werden Jahre mit Differenzen von –50 mm und als eher feuchtes Jahr mit Differenzen von +50 mm im Vergleich zum Jahresmittel betrachtet.

Die marginalen Niederschläge und überdurchschnittlichen Temperaturen im Februar 2008 verursachten untypische negative Klimatische Wasserbilanzen während dieser im Normalfall durch Sickerung geprägten Zeit. Die Messwerte der Station des Deutschen Wetterdienstes in Potsdam (15 km Luftlinie; Abb. 1) stellen in der Hauptwachstumsperiode Mai bis August 2008 einen zeitigeren und stärker ausprägten negativen Kurvenverlauf (schlechteste Wasserbilanz für die Pflanzenbestände) als im gleichen Zeitraum der Jahre 2005 und 2007 dar. Ein ähnlicher Kurvenverlauf mit einer negativen Klimatischen Wasserbilanz wie 2008 zeigt sich auch für 2006.[6]

Tabelle 3.3: Verdunstung nach HAUDE (mm) und die Klimatische Wasserbilanz (mm) mit den Messwerten der Wetterstation Güterfelde; 2006 – 2008

Monat	Verdunstung in mm			KWB in mm		
	2006	2007	2008	2006	2007	2008
Januar		14	11		66	58
Februar		12	19		32	-7
März		4	20		50	21
April		110	53		-109	-7
Mai		116	118		16	-111
Juni		119	169		-30	-141
Juli	216	103	140	-175	-19	-98
August	81	102	114	-6	-44	-61
September	101	51	59	-91	16	-3
Oktober	48	31	32	-30	-23	28
November	19	8	12	10	44	15
Dezember	13	9	6	17	17	16
Jahressumme		678	753		15	-288

Aus dem Vergleich der Witterung über einzelne Monate bzw. Zeiträume ist die beobachtete ungleichmäßige Bestandesentwicklung der Fruchtarten in den Jahren ableitbar (Anhang 3.1):

- So führten allgemein die kühleren und eher trockneren Frühjahre 2005 und 2006 (mit vorher längeren Frostperioden im Winter) zu Aussaatverzögerungen der Sommerkulturen[7]. Dagegen bewirkte eine deutlich zu warme Periode im 1. Quartal 2007 und 2008 weiteres Wachstum der Winterungen ohne Vegetationsruhe und die termingerechte Aussaat der Sommerungen.

[6] Achtung: Die Witterungswerte der Wetterstationen in Güterfelde und Potsdam schwanken in den Extremjahren 2006 bis 2008 erheblich, die Jahreswerte weichen voneinander ab. Die Verdunstungswerte wurden nach anerkannten, aber unterschiedlichen Methoden ermittelt (vgl. Tab. 3.1 – 3.3 und Anhang 3).

[7] verzögerte Bodenerwärmung 2005 und 2006 – vgl. Bodentemperaturen Anhang 3

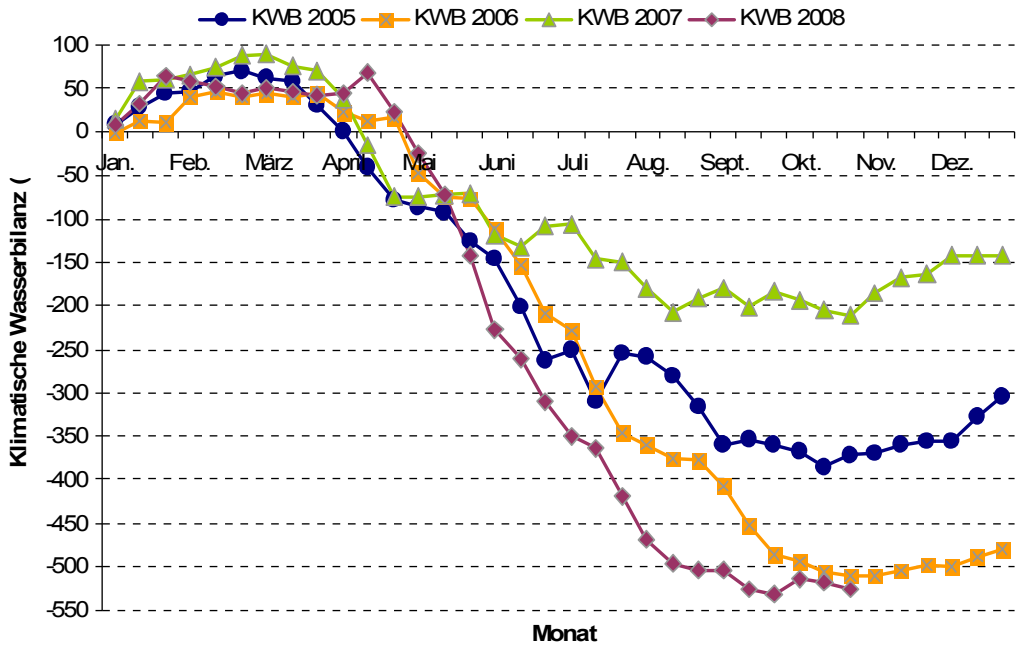


Abbildung 1: Kumulierte Klimatische Wasserbilanz (mm*m^{-2}*a^{-1}) an der zum Standort Güterfelde nächstgelegenen Wetterstation Potsdam; Versuchszeitraum 2005 bis 2008 (DWD; SCHITTENHELM; BOSS 2008)[8]

- Durch deutlich zu warme und heiße Perioden, verbunden mit sehr geringen Niederschlägen und einer hohen Verdunstung (s.o.; vgl. Anhang 3; Abb. 1), waren extreme Trockenstresssymptome bzw. Wachstumsdepressionen insbesondere im Juni/Juli 2006 (alle Pflanzenarten), im April 2007 (vor allem Getreide) und im Mai/Juni 2008 zu beobachten[9].
- Regenreiche, warme Perioden[10] - Juli 2005 bzw. Mai und Folgemonate 2007 – begünstigten überdurchschnittliche Ertragszuwächse insbesondere bei den C_4-Pflanzen.
- Die ungünstigen Bedingungen zur Herbstaussaat 2005; 2006 und 2007 verursachten verzögertes Keimverhalten (Tab. 3; Anhang 3.1).

Die hier im Überblick dargestellte Jahreswitterung mit den bisher grob skizzierten Auswirkungen auf das Pflanzenwachstum, wird im Zusammenhang mit weiteren Einflussgrößen fruchtartenbezogen detailliert betrachtet (Abschnitt 3.1). Bei der Bewertung der Ertragsergebnisse werden die extremen Witterungsereignisse der Jahre berücksichtigt.

[8] Klimatische Wasserbilanz = Niederschlag (mm) – Verdunstung nach der Penman-Methode (mm)
[9] Die z. B. sehr hohen Verdunstungswerte im Juli 2006 führten zu einer negativen Klimatischen Wasserbilanz von –175 mm (vgl. Tab. 3.3 und Anhang 3).
[10] z.T. Starkniederschläge

2.3 Versuchsdurchführung

Im Prüfzeitraum wurden neun verschiedene Fruchtfolgen mit Pflanzenarten für die Gärsubstrat- bzw. Marktfruchtnutzung (Tab. 4; Anhang 4) auf der Grundlage der im Methodenhandbuch[11] des Verbundvorhabens festgelegten Parameter verglichen (Übersicht 1). Die Versuchsanlage 1 des Fruchtfolgeversuches (Feld 1 bis Feld 12) wurde am Standort Güterfelde in Form einer Langparzellenanlage mit Standardausgleich im März 2005 eingerichtet (Abb. 2). Die Etablierung der zweiten Versuchsanlage (Feld 13 bis Feld 24) erfolgte im Frühjahr 2006.

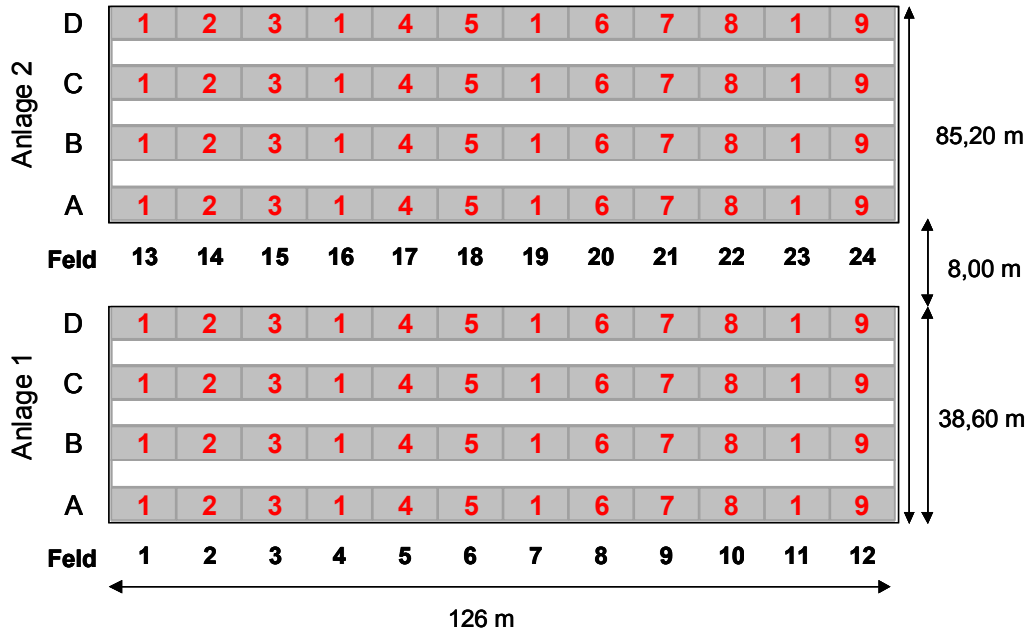


Abbildung 2: Versuchsanlage des Grund- (Fruchtfolgen 1 bis 5) und Regionalversuchs (Fruchtfolgen 6 bis 9) am Standort Güterfelde; Langparzellenanlage mit Standardausgleich (Fruchtfolge 1)

Die für die ökologischen Begleituntersuchungen des ZALF Müncheberg (Anhang 5, Übersicht 1) ausgewiesenen Zeiternten (Grünschnitte) sowie die regelmäßigen Probenahmen zur TM-Gehaltsbestimmung wurden aus den Randspuren entnommen, so dass eine Beeinträchtigung der Kernparzellen vermieden worden ist. Am Standort Güterfelde sind in den Fruchtfolgen folgende Prüfmerkmale erhoben bzw. Untersuchungen durchgeführt worden (Übersicht 1, vgl. Anhang 5 und 6).

[11] vgl. Anhang 5: zusammenfassende Darstellung der für das ZALF Müncheberg erhobenen Parameter der ökologischen Begleituntersuchungen (Kultur vs. Zeitpunkt)

Übersicht 1: Untersuchungen / Prüfmerkmale

➔ **Standort**

➔ **Witterung**

➔ **Bodenuntersuchungen**

N_{min}, S_{min}, P, K, Mg
Bodentiefen: 0-30 cm, 30-60 cm, 60-90 cm
Zeitpunkte: Vegetationsbeginn, Ernte, Vegetationsende

➔ **Bestandesmerkmale**

Aufgang
Bestandesdichte
Bodenbedeckung
Bestandeshöhe
Unkrautbesatz
Lagerneigung, Mängelbonituren, Krankheiten
und Schädlinge
Bodenbeschattung

➔ **Abiotische Folgewirkungen**

Zeiternten Biomasseertrag und N-Gehalte der Grünschnitte; N_{min} und Bodenwassergehalt auf Flächen der Grünschnitte

➔ **Analyse Erntegut**

Erträge
Elementaranalyse (CNPS)
Rohasche
Gesamtzucker/Stärke
NfE
Rohfaser
Rohprotein
Rohfett
Trockensubstanz
ADF, NDF, ADL
Mineral-, Mikronährstoffe
Silierversuche und Biogas-Gärtests im ATB Bornim
Für das Erntegut - Korn zusätzlich:

- TKM, Hektolitergewicht
- Fallzahl (Winterroggen 2008)
- Glucosinolat (Raps 2008)
- Mykotoxine (DON) – (Winterroggen 2008)

➔ **Ökonomische Bewertung** (für den Projektpartner: Universität Gießen)

Arbeitsgänge und Betriebsmittel
Fruchtarten und Fruchtfolgen

Tabelle 4: Fruchtfolgeversuch am Standort Güterfelde - Grundversuch (GV) und Regionalversuch - Bundesland Brandenburg (RV)[12] - vgl. Anhang 4

	Grundversuch (GV)				
Fruchtfolge	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**
Anlage 1: 2005 Anlage 2: 2006	Sommerroggen / Ölrettich (SZF)	Sudangras-Hybride	Mais	Sommerroggen / Klee- bzw. Luzernegras	Hafer
Anlage 1: 2006 Anlage 2: 2007	Mais	Grünschnitt-roggen (WZF) / Mais (ZF)	Grünschnitt-roggen (WZF) / Sudangras H(ZF)	Klee- bzw. Luzernegras	Wintertriticale
Anlage 1: 2007 Anlage 2: 2008	Wintertriticale / Sorghum bicolor (SZF)	*Wintertriticale*	Wintertriticale / W. Weidelgras (SZF)	Klee- bzw. Luzernegras	*Winterraps*
Anlage 1: 2008 Anlage 2: 2009	*Winterroggen*	*Winterroggen*	*Winterroggen*	*Winterroggen*	*Winterroggen*

	Regionalversuch (RV) - Brandenburg			
Fruchtfolge	**6**	**7**	**8**	**9**
Anlage 1: 2005 Anlage 2: 2006	Sommerroggen / Senf (SZF)	Sonnenblume / Ölrettich (SZF)	Topinamburkraut	Artengemisch (Hafer, Erbsen, Leindotter)
Anlage 1: 2006 Anlage 2: 2007	*Lupine*	*Erbsen*	Topinamburkraut	Winterraps / Buchweizen (SZF/GD)
Anlage 1: 2007 Anlage 2: 2008	Winterroggen / Sorghum bicolor (SZF)	Wintertriticale / Sorghum bicolor (SZF)	Topinamburkraut und -knolle	Grünschnitt-roggen (WZF) / Sudangras H(ZF)
Anlage 1: 2008 Anlage 2: 2009	*Winterroggen*	*Winterroggen*	*Winterroggen*	*Winterroggen*

Des Weiteren wurden den Universitäten Rostock bzw. Göttingen für das FNR-Projekt „Untersuchungen zu Fruchtfolgen mit Energiepflanzen als ein Beitrag zur Reduktion von phytomedizinischen Risiken und des Pflanzenschutzmitteleinsatzes im Ackerbau“ Wurzelproben zum Zeitpunkt der Milchreife bzw. Körnerproben von Winterroggen der Ernte 2008 aus dem Grundversuch für die Schaderregerdiagnose zur Verfügung gestellt. Im abschließenden Fruchtfolgeglied werden dabei differenzierte phytopathologische Untersuchungen sowie ein Standortvergleich vorgenommen.

[12] Anlage 1 - Fruchtfolgeversuch Start ab 3/2005; Anlage 2 - Fruchtfolgeversuch Start ab 3/2006;
grün unterlegte Felder definieren die Fruchtarten für die Biogasproduktion – außer Buchweizen GD = Gründüngung; weiß unterlegte Felder definieren die Marktfrüchte (Körnerproduktion); ZF = Zweitfrucht, SZF = Sommerzwischenfrucht, WZF = Winterzwischenfrucht; 2008: 2. Anlage Fruchtfolge 8 – keine Topinamburkraut und –knollennutzung möglich – vgl. Abschnitte 3.1/3.2
An den Standorten in Brandenburg und Sachsen wurde in Absprache mit dem Koordinator (TLL) im 1. Jahr Sommerroggen statt Sommergerste und im 4. Jahr Winterroggen statt Winterweizen angebaut. In der Fruchtfolge 4 wurde in der Anlage 1: Kleegras und in der Anlage 2: Luzernegras etabliert. Winterroggen, als Winterzwischenfrucht im BBCH Stadium 49 für die energetische Nutzung geerntet, wird im Folgenden synonym als Grünschnittroggen bezeichnet.

2.4 Berechnungsgrundlagen

2.4.1 Nährstoffbilanzierung

Für die Makronährstoffe N, P, K und Mg wird eine Nährstoffbilanzierung[13] für die Fruchtarten eines Erntejahres (Jahresbilanz) bzw. für die Fruchtfolgen im Versuchszeitraum erstellt (Abschnitt 3.4). Als Zufuhr werden der mineralische Dünger sowie die N_2-Fixierung durch die Leguminosen verbucht. Hierbei sind die Richtwerte für die symbiotische N-Bindung je Gewichtseinheit Ernteprodukt nach ANONYMUS 2008b (Tab. 33; S. 52) berücksichtigt worden. Eine organische Düngung erfolgte in den Fruchtfolgen nicht. Als Abfuhr werden mit dem Erntegut von der Parzelle abgefahrene Nährstoffe verbucht. In dem so ermittelten Nährstoffsaldo sind entsprechend den Vorgaben des ZALF Müncheberg die Größen: atmosphärische Deposition, NO_3-Auswaschung, N_2-Bindung durch frei lebende Bakterien, N-Zufuhr mit dem Saatgut sowie die Nährstoffe - die in den Pflanzenresten auf den Flächen verbleiben (z. B. Mulch, Gründüngung, Strohdüngung bei Druschfrüchten, Wurzeln) unberücksichtigt (WILLMS, 2008).

2.4.2 Humusbilanzierung

Die Humusbilanz (vgl. Abschnitt 3.5) wurde nach den Vorgaben der Cross Compliance - Verordnung durch das ZALF Müncheberg (WILLMS, 2008) berechnet (vgl. ANONYMUS, 2004). Die fruchtartspezifischen Humus-Reproduktionskoeffizienten nach CC gelten für Marktfrüchte und Futterpflanzen. Für den Anbau von Energiepflanzen gibt es „methodische Unschärfen“ auf Grund des früheren Erntezeitraums. Beim Mischfruchtanbau wurden die Mischungspartner entsprechend ihrem Anteil zur Ernte mit dem fruchtartspezifischen Humus-Koeffizienten eingesetzt. Für die Humus-Reproduktionsrate von Stroh ist nach der CC Verordnung der Koeffizient: 100 angenommen worden. Des Weiteren wurde als Zufuhrgröße der Bilanzierung die Ausbringung des gesamten Gärrests einer Fruchtart in den Fruchtfolgen, mit der Berücksichtigung von 15 % Silier- und 15 % Ausbringungsverlusten, unterstellt (WILLMS, 2008).

2.4.3 Theoretische Biogas- und Methangasausbeute

Im ATB Potsdam-Bornim (vgl. Teilprojekt 4: „Ermittlung des Einfluss der Pflanzenart und der Silierung auf Substratqualität und Biogasausbeute“) wurden aufwandsbedingt an ausgewählten Pflanzenproben der Projektpartner (Teilprojekt 1) die Siliereignung bestimmt und Gärtests vorgenommen (vgl. Anhang 1). Aus Kosten- und Zeitgründen sind Gärtests über Laboranlagen in großen Serien nicht möglich. Daher wird zurzeit die Biogasausbeute u. a. nach dem Ansatz der „Handreichung Biogasgewinnung“[14] unter Verwendung der Mittelwerte der spezifischen Biogasausbeute und des Methangehaltes (SCHATTAUER & WEILAND, 2006) geschätzt (vgl. Abschnitt 3.3). Bei dem rechnerischen Ansatz wurden die Verdaulichkeitsquotienten aus den DLG-Futterwerttabellen (ANONYMUS, 1997) und die im Projekt untersuchten Parameter der erweiterten Weender Futtermittelanalyse (vgl. Anhang 9) berücksichtigt. Da die Inhaltsstoffparameter aus dem getrockneten Erntegut (ohne Konservierungsverfahren wie Silierung bzw. Heubereitung) resultieren, wurde die Futterwerttabelle 1 (Grünfutter) verwendet.

[13] Die Vorgaben erfolgten durch Dr. WILLMS - ZALF Müncheberg (2008).
[14] Broschüre der Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V.; Auflage 2006

3 Ergebnisse und Diskussion - Standort Güterfelde

3.1 Ganzpflanzen-Trockenmasseerträge

Im Versuchszeitraum 2005 bis 2008 führte der Witterungsverlauf (vgl. Abschnitt 2.2) zu erheblichen Ertragsschwankungen bei den mehrjährig geprüften Pflanzenarten (Abb. 3).

Ungeachtet des unterschiedlichen Ertragsniveaus der Versuchsjahre erreichten der Mais und das Sudangras signifikant höhere Ganzpflanzenerträge als die anderen Fruchtarten im Untersuchungszeitraum (Abb. 3; vgl. Abb. 5; Anhang 8 und Bericht Erntezeitpunkte).

Das Bewerten der hier im Überblick gezeigten Erträge kann aber nur im Kontext mit einer detaillierten Betrachtung der Einflussgrößen Witterung (vgl. Abschnitt 2.2) und Bewirtschaftung vorgenommen werden. Die Mittelangaben und die Behandlungstermine sind dem Anhang 7 zu entnehmen. Der Vergleich der Erträge zwischen dem Hauptfrucht- und dem Zweitfruchtanbau (Abschnitt 3.1.1) bzw. zwischen den Erntezeitpunkten (vgl. Bericht Erntezeitpunkte) weist weiterhin auf die Problematik der diluvialen Standorte des ostdeutschen Tieflandes mit einer häufig ungünstigen Niederschlagsverteilung und dem ausgeprägten Risiko der Vorsommertrockenheit hin, die das Abreifeverhalten der Pflanzenbestände erheblich beeinflussen.

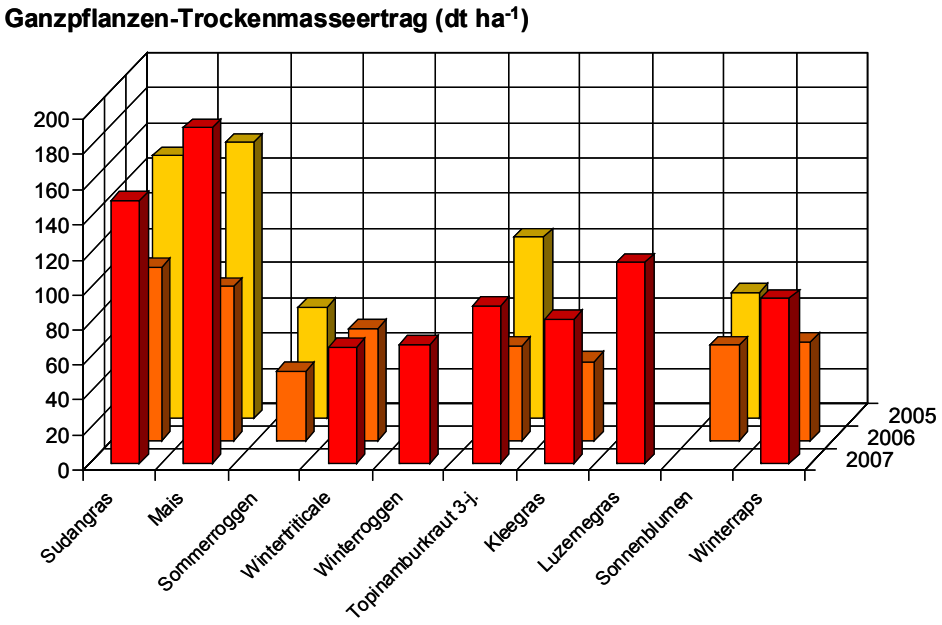


Abbildung 3: Ganzpflanzen-Trockenmasseerträge (dt ha^{-1}) am Standort Güterfelde im Versuchszeitraum 2005 bis 2007[15]

Die stark abweichenden **Mais**erträge in den Versuchsjahren (Abb. 3; Anhang 8.1) werden im Folgenden in ihrer Abhängigkeit von Witterung und Bewirtschaftung diskutiert.

Kühle Perioden nach der Aussaat bewirkten in allen Jahren sichtbare Mängel mit einer differenzierten Ausprägung[16], was zu Wachstumsverzögerungen, jedoch zu keinen irreversiblen

[15] Im Fruchtfolgeversuch wurden bisher die Sorghumtypen: *Sorghum bicolor x Sorghum sudanense* mit den Hybridsorten „Susu“ und „Lussi“ sowie *Sorghum bicolor* – (Hybridsorte „Super Sile 18“) geprüft. In den Grafiken und im Text werden vereinfacht die Bezeichnungen Sudangras bzw. Zuckerhirse verwendet.

Schäden führte. Nur der Zweitfruchtmais 2007 wurde durch die Kälteperiode negativ beeinflusst. Dagegen war 2006 vielmehr die anhaltende Trockenheit Ursache für die Beeinträchtigungen in der Pflanzenentwicklung. Der extreme Trockenstress zur Blüte beim Hauptfruchtmais 2006 führte zu einer schlechten Befruchtung, geringem Kornansatz sowie zu einer sehr unterschiedlichen Kolbenentwicklung innerhalb des Bestandes. Im August verursachten die nach der langen Trockenperiode einsetzenden Niederschläge Zellschädigungen, was die Infektion mit Maisbeulenbrand (Ustilago maydis) förderte. Dieser wechselnde extreme Witterungsverlauf verursachte weiterhin das Aufreißen der Blätter (Blattverluste 40 %) und die erhöhte Ausbildung von Fingerkolbigkeit. Eine inhomogene Abreife war die Folge. Somit wurden TM-Gehalte von < 28 % zur Maisernte 2006 verursacht (vgl. Anhang 8.1), obwohl u. a. das Temperatursummenmodell für das Festlegen des Maiserntetermins berücksichtigt wurde (vgl. HERTWIG & PICKERT, 1999; SCHMALER, 2005). Die Trockensubstanzentwicklung der Maisganzpflanze ist insbesondere bei langer Sommertrockenheit schwierig einzuschätzen. Entscheidend ist das ausreichende Wasserangebot zur weiblichen Blüte. So wurden auch in Trockenjahren wie z. B. 2003 im Bundesland Brandenburg eine gute Befruchtung und hohe Kolbenanteile bei allerdings sehr schneller trockenheitsbedingter Verstrohung der Restpflanze erzielt - was wiederum für die Silierung zu ungünstigen TM-Gehalten von ca. 40% beitrug (BARTHELMES, 2006).

Trotz der ungünstigen Bedingungen für den Zweitfruchtmais 2006 – späte Aussaat nach verzögerter Frühjahrsentwicklung und Ernte des Grünschnittroggens bzw. schlechter Jugendentwicklung durch Trockenheit - reifte der Bestand durch die Niederschläge während der weiblichen Blüte homogen ab.

Die Ergebnisse von 2007 weisen durch das warme Frühjahr und die überdurchschnittlichen Niederschläge ab Mai Relativerträge von ca. 122 % (zu 2005; durchschnittliche Jahreswitterung) bzw. von ca. 220 % gegenüber den Hauptfruchterträgen im Trockenjahr 2006 aus. In der Zweitfruchtstellung 2006 wurden mit der späteren Aussaat ca. 90 % und 2007 ca. 77 % der Hauptfruchterträge erzielt (Anhang 8.1; vgl. Abschnitt 3.1.1).

Das Ertragsmittel in den Versuchen der Witterungsextremjahre 2006 und 2007 (vgl. Abschnitt 2.2) liegt im Hauptfruchtanbau bei ca. 140 dt TM ha^{-1} und im Zweitfruchtanbau bei ca. 115 dt TM ha^{-1}, d. h. über dem Praxisdurchschnitt im Bundesland Brandenburg (2000 bis 2005) von 110 dt TM ha^{-1} (Agrarbericht, 2005).

Bei **Sorghum** wurden witterungsbedingt ebenfalls abweichende Erträge zwischen den Jahren ermittelt (Abb. 3; Anhang 8.2). Das kühle Frühjahr 2006 mit verzögerter Bodenerwärmung in Wechselwirkung mit der anhaltenden Trockenheit während der Phase des Längenwachstums verursachte Relativerträge von 66 % gegenüber 2005. Im Zweitfruchtanbau 2006 wie auch 2008 wirkten sich die Witterungsereignisse (heftiger Schauer bzw. lange Trockenheit nach der Aussaat) in Kombination mit der pfluglosen Bestellung nachteilig auf das Keimverhalten aus. Lückiger Auflauf war hier die Folge. Das verursachte einen deutlich verzögerten Wachstumsverlauf als im witterungsbegünstigten Jahr 2007 (vgl. Abschnitt 2.2), so dass der Zweitfrucht-Relativertrag 2007 der Sudangrashybridsorte „Susu“ 226 % im Vergleich zu

[16] So waren z.B. bei dem Mais in Hauptfruchtstellung 2005 und 2006 die oberen Blätter gelb und bei dem Mais in Zweitfruchtstellung 2007 die oberen Blätter deformiert (Schlingenbildung). Diese Schlingenbildung war bis Anfang Juli sichtbar, die Pflanzen/Blätter hatten aber später das Vermögen sich auszurollen.

2006 betrug. Dieses Ertragsniveau ist mit 120 bis 150 dt TM ha^{-1} dem des Hauptfruchtanbaus 2005 vergleichbar. Allerdings wiesen die Trockensubstanzentwicklung und das Ertragsverhalten der Hybridsorten „Susu“ und „Lussi“ Unterschiede auf (Anhang 8.2; vgl. ADAM 2006 und 2007; vgl. Abschnitt 3.1.1).

Der Aussaattermin von Sorghum-Saaten wird zum einen durch die Fruchtfolgestellung als Hauptfrucht, als Zweitfrucht nach Grünschnittroggen im Mai bzw. als Sommerzwischenfrucht nach Getreideganzpflanzensilage im Juni bestimmt[17]. Zum anderen ist die Frühjahrswitterung für die zeitige Ernte der Vorfrucht (Abschnitt 3.1.1), vor allem aber für das Erreichen der Bodentemperaturen (vgl. Anhang 3) entscheidend, die zügiges Keimen und Auflaufen ermöglichen. Daher wird eine Aussaat unabhängig von der Fruchtfolgestellung nicht vor Mitte Mai empfohlen. Erst Bodentemperaturen ab 14...16 °C gewährleisten eine schnelle Keimung und beeinflussen somit eine rasche Jugendentwicklung und Unkrautunterdrückung (z.B. ADAM, 2005). Wird diese Anforderung berücksichtigt, ergibt sich für den Vergleich des Aussaattermins von Mais und Sorghum im Hauptfruchtanbau von vornherein ein Unterschied von 2 bis 3 Wochen. Bei der Bewertung des Zweitfruchtanbaus (Abschnitt 3.1.1) sowie der Fruchtfolgen (Abschnitt 3.2) sind diese pflanzenbaulichen Aspekte in ihrer Wechselwirkung mit dem aktuellen Witterungsverlauf zu bewerten. Im Hinblick auf mögliche Effekte verschiedener Saatzeiten wurde innerhalb eines weiteren von der FNR geförderten Projektes (FKZ: 22021507) am Standort Güterfelde im Jahr 2008 ein Versuch mit Saatzeitstaffelung von Sorghum im Vergleich zu Mais begonnen.

Die Ertragsunterschiede der **Getreide-Ganzpflanzen**ernten fallen im Gegensatz zu Mais und Sorghum im Hauptfruchtanbau in den Jahren relativ geringer aus (Abb. 3; Anhang 8.3). Auf dem zur Frühjahrs- und Sommertrockenheit neigenden Standort Güterfelde waren Trockenstressphasen für das Getreide in allen Versuchsjahren zu verzeichnen. Allerdings sind der Ertrag und der TM-Gehalt von der Phänologie und dem Zeitpunkt des Trockenstresses abhängig. Trockenstress zur generativen Phase 2005, 2006 und 2008 bewirkte generell TM-Gehalte > 38 % bei der Ernte in der Milch- bis Teigreife (Anhang 8.3; vgl. Bericht: Erntezeitpunkte). Trockenstress im Zeitraum des Schossens 2007 verursachte Wachstumsdepressionen. Der geringere TM-Gehalt zur Ernte war gegenüber den anderen Jahren durch die ausgeprägten Niederschläge zur Blüte und Kornfüllungsphase bedingt.

Während das Sommergetreide 2005 das Ertragsniveau des Wintergetreides 2006 und 2007 (Anhang 8.3) erreichte, betrug der Sommergetreideertrag 2006 durch Kombination des kühlen Frühjahres mit der extremen Trockenheit zur Blüte und Kornentwicklung nur 62 % des Vorjahres. Die durch den milden Winter 2007/08 erfolgte intensive Bestockung des Wintergetreides begünstigte im Zusammenwirken mit den überdurchschnittlichen Niederschlägen während des Längenwachstums den Biomassezuwachs (vgl. Abschnitt 2.2). Dieses führte zu den höchsten Getreideganzpflanzenerträgen während der Projektlaufzeit mit Relativerträgen (2008 vs. 2007) von 130 % bei Wintertriticale und 160 % beim Winterroggen. Die von Mai bis Mitte Juni 2008 andauernde Trockenphase verursachte insbesondere bei Wintertriticale sehr starke Stresssymptome. Von der Blüte bis zur beginnenden Kornfüllungsphase war innerhalb von 5 Tagen bei trocken-heißer (30°C) und stark windiger Witterung ein Trockensubstanzanstieg um 8 % zu verzeichnen. Das verursachte schon zu Beginn der Fruchtent-

wicklung (BBCH 71) TM-Gehalte > 38 % (vgl. Bericht: Erntezeitpunkte). Anders als in den Jahren 2005 und 2006 mit Trockenstressauswirkungen in der generativen Phase wurde 2008 jedoch durch die für das Pflanzenwachstum günstige Witterung in den ersten vier Monaten die Grundlage für den höheren Getreideganzpflanzenertrag gelegt. Die Konsequenz wäre, auf den sandigen Böden Nordostdeutschlands bei langen Trockenstressphasen bis zur Blüte das Getreide für die Ganzpflanzennutzung noch vor oder zur beginnenden Kornbildung zu ernten, um den für die Silierung optimalen TM-Gehaltsbereich von 28 bis 35 % einhalten zu können.

Die Wintergetreide-GP-Erträge 2007 am Standort Güterfelde weisen mit 58...70 dt TM ha^{-1} nur ca. 50 % des erzielten Ertragsniveaus am Standort Dornburg (VETTER et al., 2007) auf. Vergleichend gibt WORTMANN für Standorte in Niedersachsen und Bayern für den Zeitraum Milch-/Teigreife für Wintergerste 120…160 dt TM ha^{-1} und für Winterroggen bzw. –weizen ca. 180…190 dt TM ha^{-1} an.

Während 2007 die Erträge zwischen Wintertriticale und –roggen am Standort Güterfelde kaum variierten, erzielte der Roggen 2008 einen Mehrertrag von 25 dt TM ha^{-1} (vgl. Anhang 8.3). Mit 85 dt TM ha^{-1} lag die Wintertriticale noch unter dem Niveau eines flachgründigen Standortes mit der Ackerzahl 25 von ca. 100 dt ha^{-1} (KARPENSTEIN-MACHAN, 2005; S. 92).

Die trockenheitsbedingten Mindererträge 2006 werden auch in weiteren, z. T. im Regionalversuch Brandenburg geprüften Pflanzenarten (Kleegras, Sonnenblumen, Winterraps und Topinambur) deutlich (Anhang 8.4).

Das **Rotkleegras** reagierte auf die ungünstige Witterung 2006 mit starken Wachstumsdepressionen. Geringe Erträge (46 dt TM ha^{-1}) in zwei Aufwüchsen waren die Folge, die deutlich unter dem Durchschnitt des dem Standort entsprechenden Brandenburger Landbaugebiets III lagen (75 dt TM ha^{-1}; vgl. ANONYMUS, 2008). Im 2. Hauptnutzungsjahr 2007 konnten diese Durchschnittserträge für Kleegras mit der Nutzung von vier Aufwüchsen übertroffen werden (Anhang 8.4). Im Vergleich zum zweijährigem Rotkleegras erzielte das einjährige **Luzernegras**gemenge (Anlage 2, 2007) mit 114 dt TM ha^{-1} einen Relativertrag von 140 % (Abschnitt 3.2; vgl. Bericht: Erntezeitpunkte). Das Anwelken des Ackerfutters wie aber auch des Grünschnittroggens für die Gärsubstratnutzung ist auf Grund der geringen TM-Gehalte als vorbereitende Maßnahme für die Silierung in gleicher Art und Weise wie beim Verfahren der Futterproduktion vorzunehmen. 2008 lagen witterungsbedingt beim zweijährigen Luzernegras die Erträge mit 98 dt TM ha^{-1} unter dem Vorjahresniveau (relativ 86 %), aber noch deutlich über dem des zweijährigen Kleegrases im witterungsbegünstigten Jahr 2007 (Anhang 8.4). Entscheidend für den Jahresertrag ist die Ertragshöhe des ersten Aufwuchses. Hier sollte die Nutzung im Stadium Rispenschieben / Knospenbildung und bei weiteren Aufwüchsen zu Beginn der Blüte erfolgen (vgl. Berichte: Erntezeitpunkte und Ackerfutter bzw. Anhang 12). 2008 erreichten die Aufwüchse, bedingt durch die lange Trockenperiode, z. T. TM-Gehalte (28 %) im unteren Optimalbereich.

Ein Anwelken ist für die zur Ganzpflanzenernte sehr trockensubstanzarmen Substrate wie **Sonnenblumen** und **Winterraps** nicht möglich. So ist bei diesen Fruchtarten vor allem das Nichterreichen des für die Silierung notwendigen Mindesttrockenmassegehaltes ein Nachteil (vgl. Abschnitt 3.2; Anhang 9; Bericht Erntezeitpunkte). Durch Trockenstress (Sonnen-

[17] Grünschnittroggen – Ernte zum Grannenspitzen/Ährenschieben (BBCH 49-59); Getreideganzpflanzen – Ernte zum Zeitpunkt Milch-/Teigreife (BBCH 75-83); vgl. Abschnitt 3.1.1

blumen) und Auswinterungsschäden (Winterraps) sind 2006 relativ geringe Erträge erzielt worden. Mit 94 dt TM ha^{-1} (165 %) wurde bei der Rapsganzpflanzenernte 2007 ein Mehrertrag gegenüber dem Vorjahr erzielt (Anhang 8.4). Vergleichend sind auf einem flachgründigen Standort mit der Ackerzahl 25 bei Raps ca. 80 dt ha^{-1} Ganzpflanzen-TM-Ertrag im Durchschnitt der Jahre 2002/03 im Bundesland Hessen ermittelt worden (KARPENSTEIN-MACHAN, 2005).

Die Bewertung von **Topinamburkraut** als Gärsubstrat ist auf Grund des späten Blühbeginns der Sorte „Rote Zonenkugel" sowie eines hohen Anteils (z. T. >50 %) an vertrockneten und abgestorbenen Blättern relativ schwierig. Letzteres war durch den Trockenstress 2006 sowie durch die erhöhte Triebanzahl und entsprechendem Lichtmangel in den unteren Blattetagen im dritten Standjahr bedingt. Dadurch wurden u. a. das Einhalten des für die Krautsilierung günstigen TM-Gehaltsbereiches (Anhang 8.4; vgl. Abschnitt 3.2 und Bericht Erntezeitpunkte) erschwert und hohe Aschegehalte verursacht, welche die Methanbildungsraten negativ beeinflussen (vgl. Anhang 9 und Abschnitt 3.3). Starke Ertragsschwankungen von bis zu 100 % (Abb. 3; Anhang 8.4) waren prägend in den Versuchsjahren. In Wechselwirkung zwischen der aus Kostengründen unterlassenen Herbizidbehandlung und dem Erntezeitpunkt hat sich ein unterschiedlicher Besatz mit Kanadischem Berufkraut (*Conyza canadensis* – mit Deckungsgraden bis zu 35 %) und anderen Unkräutern im Topinamburbestand entwickelt. Des Weiteren war durch den niederschlagsreichen Sommer 2007 bei der Sorte „Rote Zonenkugel" zur Krauternte der auch in den Vorjahren festgestellte Mehltaubefall stark ausgeprägt (Anhang 8.4).

In der 2. Versuchsanlage war infolge des milden Winters 2007/08 und der lt. Versuchsplan unterlassenen Herbizidbehandlung bereits Ende April (Vegetationsbeginn des im dritten Nutzungsjahr befindlichen Topinamburbestandes) ein flächendeckender Unkrautbewuchs vorhanden[18]. Die Trockenperiode im Mai wirkte sich weiterhin sehr stark wachstumshemmend, ohne messbare Zuwächse des Topinamburkrauts innerhalb von vier Wochen, aus. Mitte Juni musste daher der Topinambur umgebrochen werden. Als Ersatz wurde Zuckerhirse (Sorte „Friggo") ausgesät (vgl. Abschnitt 3.2).

3.1.1 Vergleich der Fruchtfolgestellungen

Der Begriff „Zweitfrucht" (ZF) für Aussaaten ab Mitte Juni ist strittig. Für diese Fruchtfolgestellung wäre auch der Begriff „Sommerzwischenfrucht" (SZF) zu definieren. Eine strikte Trennung mit zeitlicher Einordnung des Aussaattermins der „Zweitfrucht" wird in der Literatur nicht vorgenommen. Bei der Interpretation der Trockenmasseerträge der Zweitfrucht ist unbedingt die jeweilige Stellung in der Fruchtfolge zu berücksichtigen. Integrierend wird hier der Begriff „Zweikulturnutzung" für beide Fruchtfolgestellungen verwendet.

Auf den leichten, grundwasserfernen Sandböden sind sowohl in den Vegetationsperioden mit Niederschlagsdefiziten (2006) als auch in denen mit überdurchschnittlichen Niederschlägen (2007) im Zweikulturnutzungssystem[19] keine signifikant höheren Gesamterträge

[18] Die unterlassene Herbizidbehandlung für die 3-jährige Topinamburnutzung und deren Auswirkung war eine Versuchsfrage. Topinambur gelegt 2006 und für 3 Jahre genutzt – geplant: 2006 und 2007 = Kraut- bzw. 2008 = Kraut- und Knollennutzung; Hauptbestandsbildner: *Agropyron repens* und *Matrica spez.*, Deckungsgrad = 100 %)

[19] Hier gemeint: Winterzwischenfrucht (Grünschnittroggen - Nutzung: BBCH 49) und Zweitfrucht (Mais bzw. Sorghum) mit der Aussaat Anfang bis Ende Mai; bzw. Getreide-GP-Nutzung zur Teigreife und

(Summe Erst- und Zweitfrucht) gegenüber dem Hauptfruchtanbau von C4-Pflanzen ermittelt worden (Abb. 4). Durch die Fruchtfolgekonzeptionen bedingt, war ein direkter Vergleich zwischen Hauptfrucht- und Zweitfruchtanbau in den Jahren 2005 und 2008 nicht möglich. In der Zweitfruchtstellung wurden 2006 mit einer späteren Aussaat ca. 90 % (bei Mais) und ca. 60 % (bei Sudangras) sowie 2007 ca. 77 % (bei Mais) der Hauptfruchterträge erzielt (Abb. 4).

Ganzpflanzen-Trockenmasseertrag (dt ha^{-1})

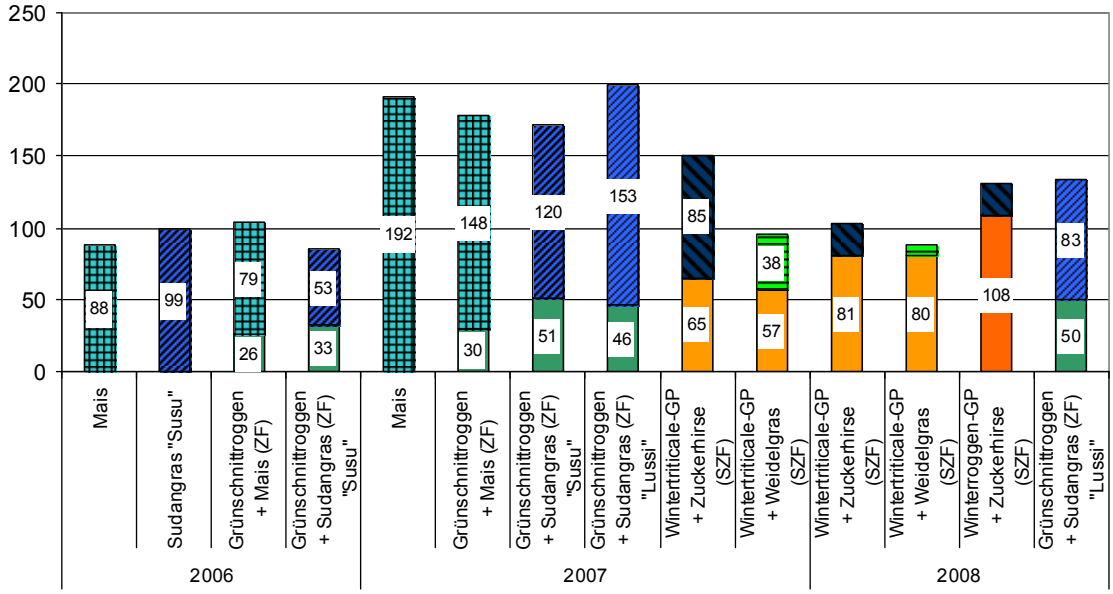


Abbildung 4: Ganzpflanzen-Trockenmasseertrag (dt ha^{-1}), Fruchtartenvergleich in Hauptfrucht-, Zweitfrucht- bzw. Sommerzwischenfruchtstellung 2006 bis 2008 am Standort Güterfelde[20]

Die Ertragsdifferenzen sind neben dem späteren Aussaattermin gegenüber der Hauptfrucht, dem Wasserangebot zur weiblichen Maisblüte auch durch die Sortenwahl begründet (Anhang 7):

- Zweitfruchtmais - frühe Sorte (S 200), bedingt durch Fruchtfolgestellung;
- Hauptfruchtmais - mittelspäte, in Brandenburg etablierte Sorte (S 260).

Die bodenökologisch positiven Aspekte einer Winterzwischenfrucht stehen allerdings einem erhöhten Aufwand gegenüber, der sich nur bei deutlich höheren Erträgen im Zweitfruchtanbau rentieren würde (vgl. Bericht Teilprojekt 3).

Die Witterung 2007 bewirkte eine um 14 Tage zeitigere Grünschnittroggenernte mit höheren Erträgen als 2006 (Abb. 4) und demzufolge eine frühere Aussaat der Nachfrucht. Die in der Regionalfruchtfolge 9 ausgewählte **Sudangras**hybride „Lussi“ wies bei günstigem Trockenmassegehalt (28,5 %) höhere Erträge als die Hybride „Susu“ (21 %) auf (Anhang 8.2; vgl. Bericht Erntezeitpunkte). Dabei lag 2007 die Sorte „Lussi“ auf einem gleich hohen und die Sorte „Susu“ (2006 und 2007) auf einem geringeren Ertragsniveau als der Zweit-

der Sommerzwischenfrucht Sorghum bzw. Welsches Weidelgras mit der Aussaat ab Mitte Juni (vgl. Abschnitt 3.1)

fruchtmais (Abb. 4). Im Hauptfruchtanbau 2005 war dagegen der Ertrag zwischen der Sudangrashybride „Susu“ und der Maissorte „Monumental“ annähernd gleich (150 vs. 157 dt TM ha^{-1}). Im Trockenjahr 2006 wies „Susu“ gegenüber „Monumental“ Ertragsvorteile in Höhe von ca. 10 dt TM ha^{-1} in der Hauptfruchtstellung auf (vgl. Abb. 3 und 4; vgl. Einschränkungen der Maisertragsbildung 2006 - Abschnitt 3.1). 2008 ist die Sudangrashybride „Lussi“ ebenfalls nach zeitiger Grünschnittroggenernte Mitte Mai als Zweitfrucht ausgesät worden. Allerdings war durch die Trockenheit zur Aussaat das Saatbett deutlich schlechter als 2007, was in der Folge durch die anhaltende Trockenheit zu einem mangelhaften Aufgang (15 %) führte. Erst mit den Niederschlägen ab Mitte Juni 2008 konnten weitere Samen keimen. Diese Pflanzen wurden jedoch in ihrer Jugendentwicklung durch die Unkrautkonkurrenz (insbesondere Unkrauthirse in verschiedenen Entwicklungsstadien) stark beeinträchtigt. So wurde unter den Bedingungen des Jahres 2008 für die Fruchtartenkombination Grünschnittroggen + Sudangras ein Relativertrag von ca. 70 % (zu 2007) bzw. ca. 140 % (zu 2006) ermittelt (Abb. 4).

Die Ergebnisse des Fruchtfolgeversuches bestätigen die am Standort Güterfelde mehrjährig durchgeführten Herkunftsvergleiche mit Sorghum[21], wo bei 16 geprüften Sorghumsorten 2007 eine Ertragsspanne von 97 bis 206 dt TM ha^{-1} vorhanden war (ADAM, 2007). Hierbei lag der Ertrag im Hauptfruchtanbau für die Hybriden „Lussi“ bei 206 dt TM ha^{-1} und für „Susu“ bei 180 dt TM ha^{-1}. Die hier jeweils um ca. 50 dt TM ha^{-1} höheren Ganzpflanzenerträge als im Zweitfruchtanbau der geprüften Fruchtfolgen (vgl. Abb. 4) dürften vor allem auf die unterschiedliche Fruchtfolgestellung sowie ferner auf die um ca. 6 bis 8 Punkte höhere Bodenbonität der Sortenversuchsfläche zurückzuführen sein. Die besseren Saatbettbedingungen sind im Vergleich zur Zweitfruchtstellung im Fruchtfolgeversuch ein weiterer Grund für die Unterschiede im Ertragsniveau.

Nach der Getreideganzpflanzenernte (Milch-/Teigreife) erbrachte die Mitte Juni ausgesäte **Zuckerhirse** unter den z. T. günstigen Bedingungen 2007 (frühe Ernte Vorfrucht; gute Niederschlagsverteilung ab Mai) Erträge von 85 bis 95 dt TM ha^{-1} (Abb. 4; Anhang 7), bei allerdings geringen TM-Gehalten von 20 % (Anhang 8.2; vgl. Bericht Erntezeitpunkte). An anderen EVA-Versuchsstandorten (Gülzow bzw. Ascha) war durch die überdurchschnittlichen Niederschläge 2007 die Aussaat der Sorghumgräser nach der Getreideganzpflanzenernte wesentlich schwieriger, was zu geringeren Erträgen führte (mündliche Informationen PETERS 2007; FRITZ 2007). Dagegen verursachte die Trockenheit im Mai/Juni 2008 am Standort Güterfelde nach der Aussaat Mitte Juni ebenfalls wie beim Sudangras (Zweitfrucht) ein sehr ungleichmäßiges und folgerndes Auflaufen der Zuckerhirse, so dass im Gegensatz zu 2007 der geringe Ertrag von 22 dt TM ha^{-1} aus ökonomischer Sicht kaum als erntewürdig einzuschätzen ist (vgl. Anhang 8.2)[22].

[20] Hinweis: Der Hauptfruchtmaisertrag 2006 in der Abbildung 4 ist gültig für die Fruchtfolge 1 (Anlage 1). In der Fruchtfolge 3 (Anlage 2) wurde 2006 in Hauptfruchtstellung ein Maisertrag von 74 dt TM ha^{-1} erzielt.

[21] vgl. FNR Vorhaben „Anbau und Nutzung von Energiehirse als Alternative für ertragsschwache Standorte in Trockengebieten Deutschlands“ – FKZ: 22011502

[22] 2008: in der Keim- und Jugendphase extreme Trockenperiode, d. h. verzögerter und ungleichmäßiger Auflauf und Wachstumsdepressionen; im September Kälteschäden sichtbar (obere Blätter gelb und z.T. Schlingenbildung), d. h. Wachstumsdepressionen; in der Summe wesentlich schlechtere Wachstumsbedingungen als bei dem Hirseanbau 2007 - Wegen der im Sommer 2008 absehbaren geringeren Ertragspotenziale gegenüber dem Vorjahr wurde auf eine 2. N-Gabe verzichtet. Da TM-Gehalte von mindestens 27/28 % mit dieser Sorte bei optimalen Witterungsbedingungen (vgl. 2007)

Eine Zweikulturnutzung nach der Getreideganzpflanzenernte zum Zeitpunkt der Teigreife hat den Vorteil einer Bodenbedeckung im Sommer und Ausnutzung der Vegetationszeit. Der Erfolg ist vom jeweiligen Standort sowie den kleinräumigen Witterungsereignissen abhängig und birgt gegenüber dem Haupt- bzw. dem Zweitfruchtanbau nach Winterzwischenfrüchten das höchste Risiko, keine erntewürdigen Bestände zu erzielen. In diesem Fall könnte die Wahl von Körner-Sorghumsorten statt Futter-Sorghumsorten mit geringeren Trockenmasseerträgen, aber höheren TM-Gehalten und somit verbesserten Siliereigenschaften zur Ernte eine Alternative sein.

Fazit: Die Zweikulturnutzung sollte aus Sicht der Ertragsleistung und Ökonomie den Standorten mit besserer Bodenbonität (AZ > 40) und sichererer Wasserverfügbarkeit vorbehalten bleiben. Einzig die Folge Grünschnittroggen – Zweitfrucht Mais oder Sorghum erreichte ähnliche Erträge wie der Anbau der C4-Arten in Hauptfruchtstellung, verursacht aber höhere variable Kosten. Der Anbauerfolg hängt dabei stark von der Wasserversorgung der Zweitfrucht ab. Ein Zweit- bzw. Zwischenfruchtanbau nach der Getreideganzpflanzennutzung zur Teigreife birgt gegenüber dem Zweitfruchtanbau nach Winterzwischenfrucht das höchste Risiko, unter den gegebenen Standortbedingungen bei Trockenheit keine erntewürdigen Bestände zu erzielen oder bei feuchter Spätsommerwitterung die erforderlichen TM-Gehalte nicht oder sehr spät zu erreichen und dadurch die Aussaat der Winterung stark zu verzögern.

3.2 Marktfrucht- und Gesamttrockenmasseertrag in den Fruchtfolgen

Die in die Fruchtfolgen integrierten Marktfrüchte (vgl. Abschnitt 2.3) zeigten im Versuchszeitraum ebenfalls witterungsbedingte Schwankungen der Kornerträge (Anhang 8.5).

Mit Kornerträgen von ca. 170 % bei Lupine und ca. 140 % bei der Erbse im Jahr 2007 gegenüber den Erträgen des Trockenjahres 2006 wurden die Durchschnittserträge im für Güterfelde maßgeblichen Brandenburger Landbaugebiet III für Lupine (21 dt ha^{-1}) erreicht und für Erbsen (25 dt ha^{-1}) überschritten (vgl. Anhang 7; Anhang 8.5; ANONYMUS, 2008c). Die ungünstige Bestandesentwicklung 2006 wurde neben dem späten Frühjahr insbesondere auch durch die höhere Befallsintensität durch Blattrandkäfer und zusätzlich bei der Lupine durch Wildverbiss verursacht. Die Jugendentwicklung der Leguminosenbestände 2007 wurde durch die Apriltrockenheit kaum beeinträchtigt. Mit den niederschlagsreichen Folgemonaten entwickelten sich sehr üppige Pflanzenbestände, welche allerdings durch Starkniederschläge Mitte Juni Lager mit mittlerer (Erbsen) bzw. starker Ausprägung (Lupine) aufwiesen. Die dadurch bedingte ungleichmäßige Abreife des Lupinenbestandes 2007 erforderte eine Sikkation vor der Ernte.

Die Kornerträge von Winterraps lagen mit ca. 26 dt ha^{-1} (2007) bzw. 17 dt ha^{-1} (2008) z. T. deutlich unter dem Mittel des Landbaugebietes III (30 dt ha^{-1}; vgl. ANONYMUS, 2008c). Hauptursache insbesondere für den Minderertrag 2008 sind die nicht optimalen Saatbettbedingungen infolge der versuchstechnisch bedingt pfluglosen Grundbodenbearbeitung im Fruchtfolgeversuch. Vergleichend wurden in den Landessortenprüfungen Winterraps Güter-

eh nicht erreicht werden, wurde die Ernte Mitte September 2008 vollzogen und das Aussaatoptimum der Nachfrucht Winterroggen eingehalten.

felde (Grundbodenbearbeitung mit dem Pflug) bei ansonsten entsprechender Bestandesführung Relativerträge von 102 % (2007) bzw. 218 % (2008) bei der Sorte „Taurus“ erzielt (BARTHELMES, 2008).

Der Kornertrag von Wintertriticale lag im Jahr 2007 mit 57 dt ha^{-1} deutlich über dem Durchschnitt von 46 dt ha^{-1} des Landbaugebietes III – (vgl. Anhang Recherche). Im Gegensatz zu den günstigen Witterungsbedingungen in der Kornfüllungsphase 2007, führte die lange Trockenheit in diesem Zeitraum 2008 zu schlechteren Bedingungen für die Ertragsbildung (geringere Tausendkornmasse von ca. 50 %). Der Ertrag von 42 dt ha^{-1} (74% zu 2007) lag somit etwas unter dem Mittel des Landbaugebietes. Die Divergenz des Ertragsverhaltens im Vergleich beider Jahre zwischen Ganzpflanzennutzung (2008 = höhere Erträge als 2007; vgl. Abschnitt 3.1) und Körnernutzung (2008 = geringere Erträge als 2007), ist auf das unterschiedliche Wasserangebot der Jahre in den Entwicklungsstadien Bestockung/ Schossen und Kornfüllungsphase zurückzuführen.

Der Winterroggenertrag 2008 betrug im Mittel aller untersuchten Fruchtfolgen der Anlage 1 55 dt Korn ha^{-1} (Anhang 8.5). Der Durchschnittswert für das Landbaugebiet III (Hybridsorten) wurde somit erreicht (vgl. ANONYMUS, 2008c). Allerdings variierte der Ertrag zwischen den Fruchtfolgen der Anlage 1 von 43 bis 72 dt Korn ha^{-1} (vgl. Tab. 5).

Unter anderem sind Bestandesunterschiede durch bei Trockenheit besonders relevanter Bodeninhomogenität und Mängel durch Lager zwischen den Einzelparzellen und Fruchtfolgen mögliche Gründe für diese Ertragsdifferenzierung. Die dadurch bedingte höhere Streuung der Einzelwerte erschwert die Wertung der Roggenerträge im Hinblick auf Fruchtfolgeeffekte in der Anlage 1.

Die Gesamterträge der neun geprüften Fruchtfolgen variierten in der vierjährigen Aufwuchsleistung nach Abschluss der ersten Rotation zwischen ca. 270 dt ha^{-1} und 425 dt ha^{-1} (Abb. 5). Die 2. Versuchsanlage erbrachte im Zeitraum 2006 bis 2008 Erträge von ca. 155 bis 355 dt ha^{-1}. Die Fruchtfolgen 1 bis 3 und 9 mit Mais bzw. Sorghumgräsern in Haupt- bzw. Zweitfruchtstellung (inklusive Grünschnittroggen) wiesen dabei deutlich höhere Erträge als die Fruchtfolgen 4 (nur Anlage 1), 5 (beide Anlagen) und 8 (Anlage 2) aus.

Die in der Fruchtfolge 4 (Anlage 1) zunächst vorgesehene Grasmischung A3 mit Rotklee erwies sich für den Standort Güterfelde als nicht geeignet. 2006 wurde daher in der Anlage 2 ein **Luzernegrasgemenge** ausgesät. Das einjährige Luzernegrasgemenge 2007 erzielte 30 dt TM ha^{-1} höhere Erträge als das zweijährige Kleegras (vgl. Abb. 3). Im 2. Hauptnutzungsjahr (2008) übertraf der Luzernegrasertrag das Niveau des zweijährigen Kleegrases im witterungsbegünstigten Jahr 2007 (vgl. Abschnitt 3.1). Unter anderem konnte dadurch in der Fruchtfolge 4 (Anlage 2) ein Mehrertrag um bis zu 100 dt TM ha^{-1} gegenüber den Fruchtfolgen 5 bis 8 nach dreijähriger Versuchsdurchführung erzielt werden (Abb. 5). Diese deutlichen Ertragsvorteile für Luzernegras sind auch am Standort Berge im Versuch „Ackerfuttermischungen“ ermittelt worden (vgl. Anhang 12 bzw. Bericht SCHMALER et al., 2007). Die bessere Bodenbonität bedingt hier allerdings insgesamt ein höheres Ertragsniveau als am Standort Güterfelde.

Trockenmasseertrag (dt TM ha^{-1})

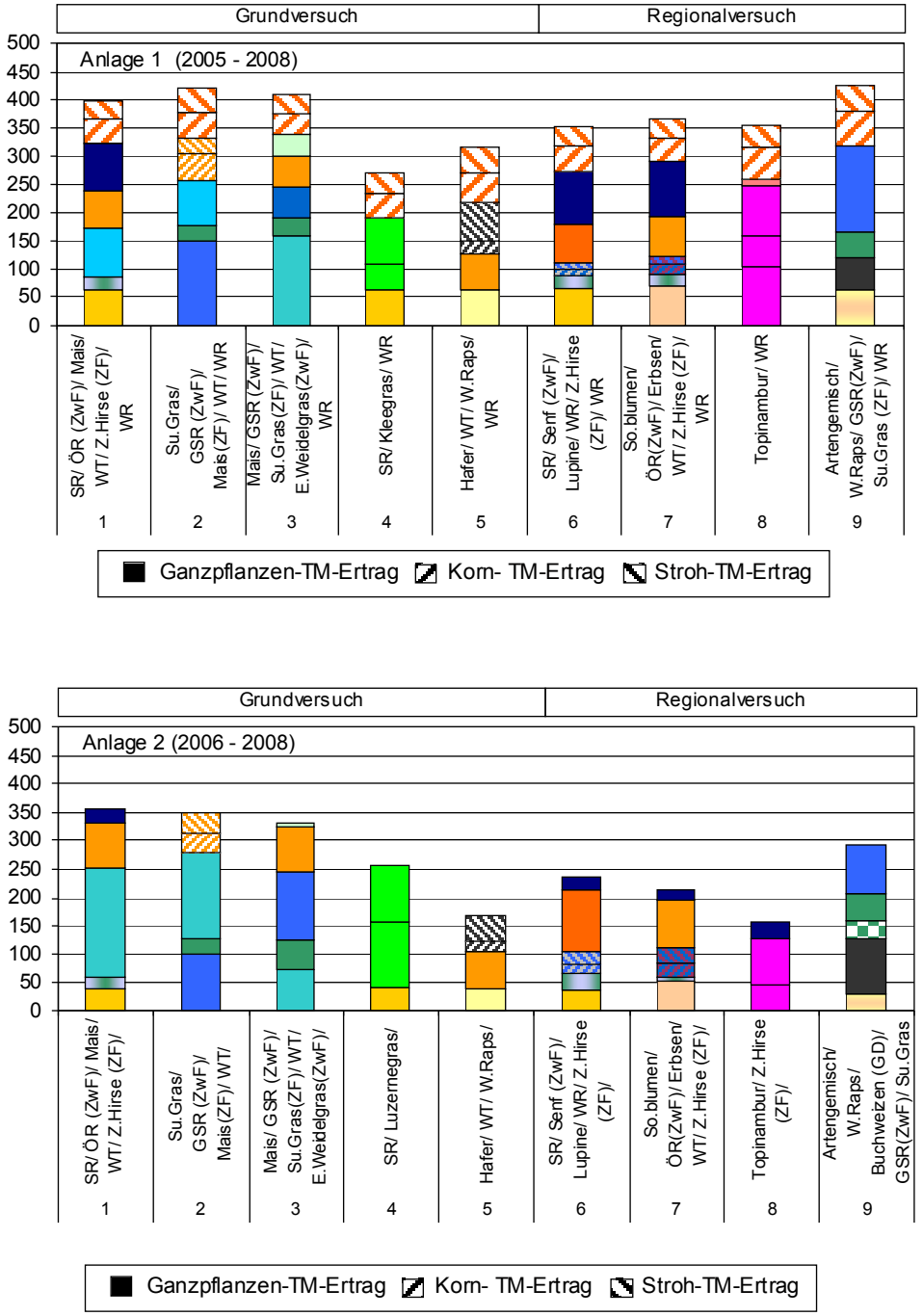


Abbildung 5: Kumulierter TM-Ertrag (dt TM ha^{-1}) der Fruchtfolgen am Standort Güterfelde; Ernte zum Standardtermin (Korn: Ertragsbasis bei $TM_{100\%}$)

Das abschließende Fruchtfolgeglied **Winterrroggen** variiert in den Kornerträgen von 43 dt ha^{-1} (Fruchtfolge 3) bis 72 dt ha^{-1} (Fruchtfolge 9) und in den Stroherträgen von 32 (Fruchtfolgen: 1; 3; 7) bis 47 dt TM ha^{-1} (Fruchtfolge 9). Der Durchschnitt über alle Fruchtfolgen und somit der mittlere Kornertrag für Hybridroggen im Landbaugebiet III von 55 dt ha^{-1}

(vgl. Anhang 8.5) wird in den Fruchtfolgen 8 und 9 mit Relativerträgen von 118 % bzw. 132 % übertroffen (vgl. Tab. 5).

Die in den Fruchtfolgen 1; 6 und 7 mit der spätreifenden Zuckerhirse als Vorfrucht (vgl. Abschnitt 2.3) um 14 Tage verlegte Aussaatzeit des Roggens (Anhang 8.5), bewirkte eine verzögerte Bestandesentwicklung. Angepasste Saatstärken (vgl. Anhang 7) waren offenbar ein Grund, dass teilweise der durchschnittliche Kornertrag der Fruchtfolgen erreicht wurde. Dagegen korrelieren die Stroherträge der (Fruchtfolgen 1; 6 und 7) auch mit den geringeren Bestandeshöhen (Tab. 5).

Tabelle 5: Korn- und Strohertrag des abschließenden Fruchtfolgegliedes Winterroggen der Anlage 1 am Standort Güterfelde 2008; Standardtermin

Fruchtfolge	Kornertrag		Strohertrag	
	dt ha^{-1} (bei TM 86%)	s%	dt TM ha^{-1}	s%
1	48,39	15,09	31,75	16,34
2	51,70	25,06	**43,30**	12,91
3	43,30	19,24	32,86	25,78
4	49,97	20,63	37,84	5,39
5	57,32	6,88	**45,73**	5,73
6	54,91	6,28	33,46	7,95
7	50,57	8,34	32,03	10,78
8	**64,85**	3,41	39,22	5,75
9	**72,31**	4,82	**47,18**	4,53
Mittel	**54,81**	**12,19**	**38,15**	**10,57**

Im Korn- und Strohgesamtertrag des Roggens schneidet die Fruchtfolge 3 am schlechtesten ab. Die auffällig großen Streuungsbereiche der Werte in den Fruchtfolgen 1...4 erschweren eine fruchtfolgespezifische Aussage (Tab. 5). Hauptursache waren die in diesen Fruchtfolgen aufgetretenen bodenbedingten Trockenstellen. Diese offensichtlich kleinräumigen Bodeneinflüsse, zeigen sich ebenfalls an den Ergebnissen des Standardausgleichs der Fruchtfolge 1. Im Standardausgleich 4 (zwischen den Fruchtfolgen 8 und 9 liegend – vgl. Abb. 2) existierten um bis zu 13 dt ha^{-1} höhere Korn- und ca. 10 dt ha^{-1} höhere Stroherträge als im Standardausgleich 2.

Der **Topinambur**-Knollenertrag von nur 50 dt FM ha^{-1} nach dem dritten Standjahr bei vorheriger Krautnutzung (Anlage 1, Fruchtfolge 8) im Gegensatz zu den aus früheren Untersuchungen am Standort Güterfelde bekannten Erträgen von 350 dt FM ha^{-1} nach einjährigem Anbau (BEER, ADAM & MÜLLER, 1993; RUNGE, 1994), schließt eine positive Bewertung dieser Fruchtart unter Berücksichtigung der schon benannten Nachteile der Krautnutzung sowie der Problematik der Durchwuchsbekämpfung in der Nachfrucht (ADAM 1995) (vgl. Abschnitt 3.1) aus. Diese geringen Knollenerträge sind u. a. auf die fruchtfolgebedingte Rodung vor Ende der Assimilateinlagerung zurückzuführen. Der im Abschnitt 3.1 dargelegte Zusammenhang einer extrem ungünstigen Bestandsentwicklung von Topinambur im dritten Standjahr (Anla-

ge 2 – Fruchtfolge 8) mit folgendem Umbruch und anschließender Aussaat von Zuckerhirse erschwert allerdings einen Vergleich dieser Fruchtfolge über beide Anlagen. Aus den Ergebnissen des vorliegenden Fruchtfolgeversuches ist unter den gegebenen Standortbedingungen des Prüfzeitraumes Topinambur als Gärsubstrat nicht zu empfehlen.

Fazit: Im Gesamtertrag sind die Fruchtfolgen 1; 2; 3 und 9 mit Mais und Sorghumgräsern in Haupt- bzw. Zweitfruchtstellung auf gleich hohem Niveau einzustufen und den anderen Fruchtfolgen überlegen.

3.3 Methangasausbeute und -ertrag

Die nach dem Ansatz von SCHATTAUER & WEILAND (2006) geschätzte theoretische Biogasausbeute je kg oTS (Anhang 10.1; vgl. Abschnitt 2.4.3) weicht zum Teil vom Bereich der KTBL-Richtwerte (ANONYMUS, 2005) ab: Getreide-GPS 520 $l_N\ kg^{-1}$ oTS; Sudangras 550 $l_N\ kg^{-1}$ oTS und Maissilagen (Milchreife) 570 $l_N\ kg^{-1}$ oTS.

Der Grünschnittroggen wies wie Weidelgras, Topinamburknollen und Ölrettich mit den ermittelten Inhaltsstoffparametern (vgl. Anhang 9) die höchsten spezifischen Biogasgehalte auf. Im Gegensatz zu Ölrettich und Topinamburknollen werden Grünschnittroggen im angestrebten Nutzungszeitraum (BBCH: 49) und Weidelgras durch ein Vorwelken silierfähig.

Spezifisch hohe Gasausbeuten sind allerdings nur sekundär entscheidend. Erst im Zusammenhang mit dem Trockenmasseertrag ist die Effizienz einer vorzeitigen Ernte und damit der Einfluss einer eventuell höheren Biogasausbeute je kg oTS zu werten (Bericht Erntezeitpunkte und Anhang 10.1). Der Methanertrag je Flächeneinheit ist somit primär der Vergleichsmaßstab zwischen den Pflanzenarten bzw. den Fruchtfolgen. Nach dem theoretischen Ansatz wiesen Mais mit ca. 5.400 $m^3CH_4ha^{-1}$ und der Zweitfruchtanbau mit Mais bzw. Sorghumgräsern inklusive der Winterzwischenfrucht Grünschnittroggen mit ca. 4.000...5.000 $m^3CH_4ha^{-1}$ die höchsten Methanerträge innerhalb einer Vegetationsperiode (2007) auf (Anhang 10.1 und Abb. 6). Das sind mehr als doppelt so hohe Methanerträge als im durch niedrige TM-Erträge gekennzeichneten Jahr 2006.

Die deutlich geringeren spezifischen Biogasausbeuten des Sudangrases gegenüber dem Mais bewirkten trotz Ertragsgleichheit im Zweitfruchtanbau geringere CH_4-Erträge je Flächeneinheit (Anhang 10.1)[23]. Dagegen wies das Sudangras 2006 auf Grund des höheren Trockenmasseertrages ähnliche Methanerträge wie Mais auf. Die Trockenmasseerträge 2008 (vgl. Abschnitt 3.1) verursachten zum einen die geringeren Methanerträge bei Sorghum, Luzerne- und Weidelgras als 2007; zum anderen allerdings die höchsten CH_4-Erträge der Getreideganzpflanzensubstrate innerhalb des betrachteten Versuchszeitraums 2005 – 2008 (Anhang 10.1).

Die bisher gewonnenen Ergebnisse basieren ausschließlich auf Versuchsdaten und geben die Methanertragspotenziale der Fruchtfolgeglieder (Anhang 10.1) bzw. summiert für die neun Fruchtfolgen (Abb. 6) am Standort Güterfelde im Zeitraum 2005 bis 2008 an. Aus diesen Potenzialen und der Anrechnung eines Ertragsabschlags (Versuchs- gegenüber Praxis-

[23] vgl. Fruchtfolge 9 – Anlage 1 mit Fruchtfolge 2 – Anlage 2; Standardernte

anbau: 15 %) bzw. des Silierverlustes (12 %) kann ein praxisrelevantes Niveau der Methanerträge abgeschätzt werden (Abb. 6).

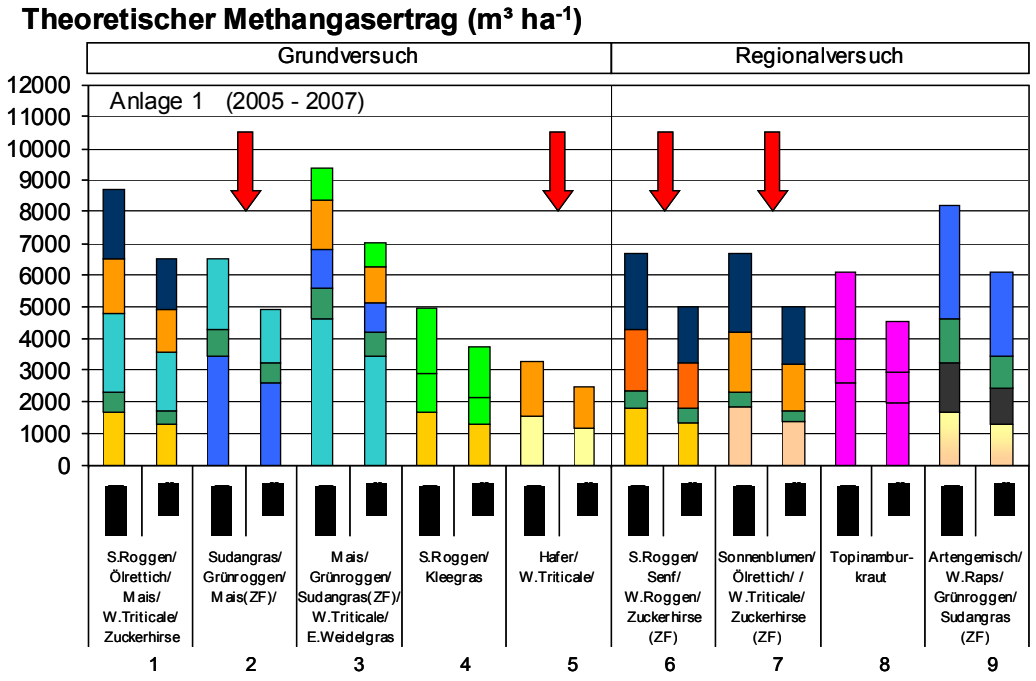
Dies entsprechend berücksichtigt, ergeben sich für die Fruchtfolgen nach der ersten Rotation geschätzte Methanerträge von 2.500 bis 7.000 $m^3\ ha^{-1}$ (Anlage 1) bzw. 2.000 bis 7.400 $m^3\ ha^{-1}$ (Anlage 2). Allerdings sind in den Fruchtfolgen mit Ganzpflanzen- und Körnernutzung (2; 5, 6 und 7; vgl. Abschnitt 2.3) geringere Methanerträge durch die Nutzung von je einem Fruchtfolgeglied als Marktfrucht begründet (Abb. 6 - Pfeile). Ein direkter Vergleich der Methanerträge beider Anlagen nach der ersten Rotation ist wegen des nicht zu berücksichtigenden letzten Fruchtfolgeglieds Winterroggen als Marktfrucht möglich. Die **Fruchtfolgen 1 und 3** mit den Fruchtarten Mais und Sudangras in Haupt- bzw. Zweitfruchtstellung, Grünschnittroggen und Wintergetreide als Ganzpflanze ergeben die höchsten Gesamtmethanerträge in beiden Anlagen. Die Fruchtfolge mit standortangepassten Ackerfuttermischungen (FF 4: Luzernegras – Anlage 2) erbrachte vergleichbare bzw. höhere Methanerträge zu den weiteren getesteten Fruchtfolgen 9 bzw. 8. Dabei begründet die bereits beschriebene Problematik der Topinamburkrautnutzung – Fruchtfolge 8 (Abschnitt 3.1 und Anhang 9) die im Fruchtfolgevergleich geringsten Methanerträge mit ca. 40 bis 60 % der Fruchtfolgen 1 bzw. 3 (Abb. 6).

Der dargelegte Ansatz von SCHATTAUER & WEILAND (2006) ist eine grobe Orientierung. Nachteile des Ansatzes sind:

- Die Einschätzung der Substrate erfolgt nach der Futternutzung.
- Zum Teil sind die realen Erntetermine mit den Tabellenwerten (z. B. TM-Gehalt) nicht deckungsgleich. Hier wurde der am nächsten liegende Wert angenommen.
- Für einige Fruchtarten mit Ganzpflanzensilage-Nutzung (z. B. Artengemisch aus Hafer, Erbsen und Leindotter; Topinamburkraut) sind keine Verdaulichkeitswerte verfügbar. Eine Schätzung für Topinamburkraut erfolgte mit den Werten der Fruchtart Sonnenblume.

Insbesondere für „Sonder“kulturen (z. B. Topinamburkraut) bzw. abweichende Nutzungsrichtungen, die bisher in den DLG-Futterwerttabellen (ANONYMUS, 1997) keine Berücksichtigung fanden, ist der theoretische Ansatz zu evaluieren.

Aussagen zur Silagequalität, der Höhe der Silierverluste, zur Vergärbarkeit der Pflanzen und der resultierenden Methangasausbeute können den Untersuchungen des ATB Potsdam/ Bornim (Teilprojekt 4; vgl. Bericht) entnommen werden. Ein standortbezogener Vergleich zwischen den Gärtests und dem theoretischen Ansatz ist mit Vorliegen der endgültigen Gärtestdaten möglich, welcher eine differenziertere Betrachtung der Substrate gegenüber dem Formelansatz erwarten lässt (vgl. Bericht Teilprojekt 4). So wird z. B. durch die Silierung offenbar die Methangasausbeute erhöht (vgl. Anhang 10.2), was aus dem theoretischen Ansatz nicht ableitbar ist.



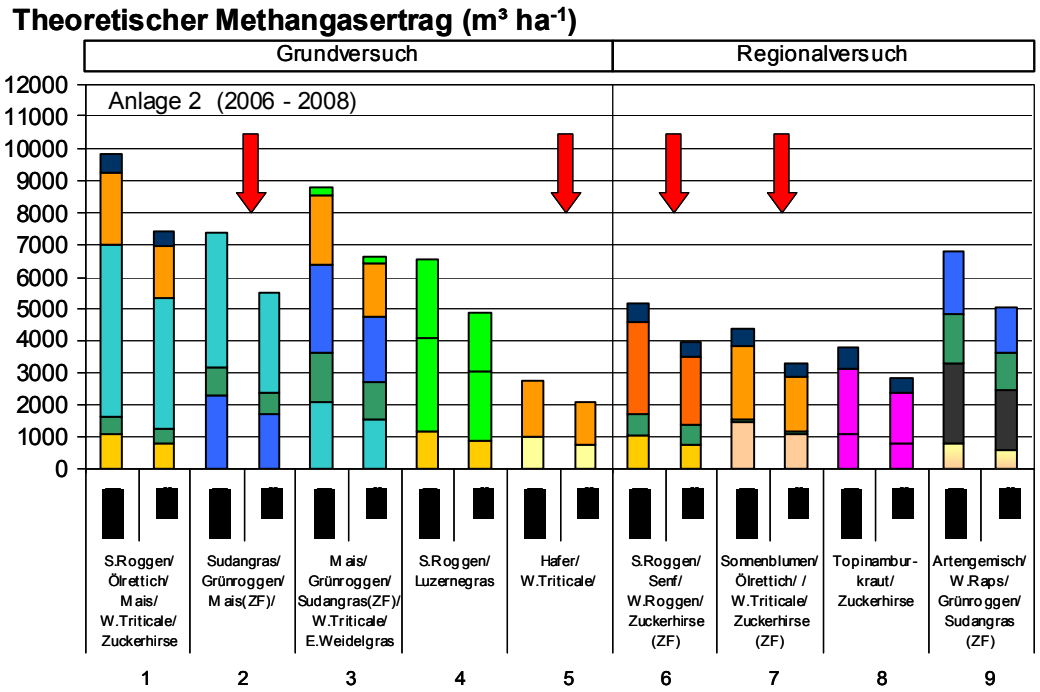


Abbildung 6: **Errechneter Methanertrag (m³ ha^{-1}) aller Fruchtarten für die Ganzpflanzennutzung in den Fruchtfolgen 1-9 am Standort Güterfelde; Ernte zum Standardtermin; Vergleich Potenzial und extrapoliert für die Praxis (um 15% verringerte Versuchserträge; 12% Abzug Verluste); Pfeile kennzeichnen Fruchtfolgen mit Marktfrüchten**

3.4 Nährstoffentzüge und -bilanzen

Für das Ermitteln der Nährstoffbilanzen sind die Düngung der Nährstoffe bzw. bei Leguminosen zusätzlich die N-Fixierung als Zufuhrgrößen und die Nährstoffentzüge der einzelnen Fruchtfolgeglieder als Abfuhrgrößen zu berücksichtigen (vgl. Abschnitt 2.4.1; Anhang 7; Tab. 6). Die Nährstoffentzüge variieren erheblich zum einen zwischen den Fruchtarten und zum anderen bei einer Fruchtart im Jahresvergleich durch das witterungsbedingte Ertragsverhalten (Anhang 11.2; vgl. Abschnitte 2.2 und 3.1). Hohe Nährstoffgehalte bei bestimmten Kulturen (wie z. B. Ackerfuttermischungen und Topinamburkraut) ergeben trotz geringerer Erträge Nährstoffentzüge, die z. T. über dem Niveau der C_4-Pflanzen Mais und Sudangras liegen. Insbesondere sind hier hohe Kaliumentzüge zu benennen.

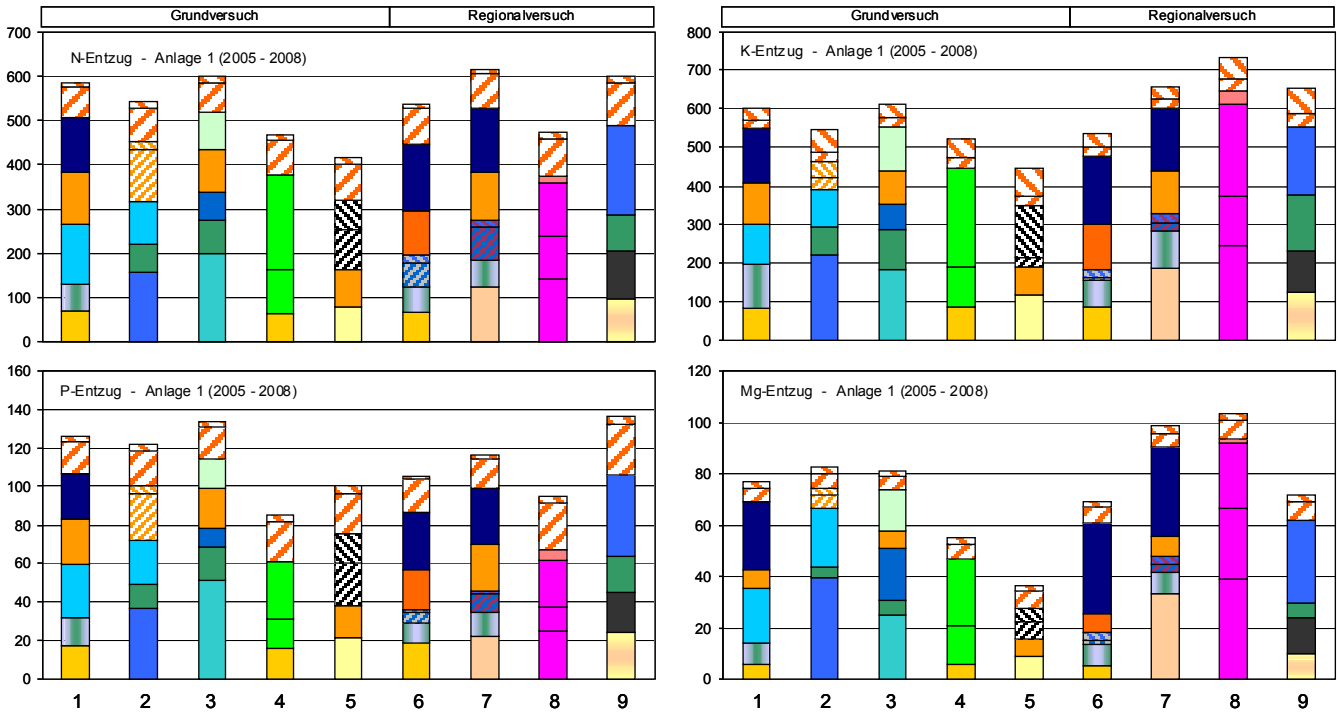


Abbildung 7: Nährstoffentzüge (kg ha^{-1}) in den Fruchtfolgen 1-9 (Anlage 1: 2005 bis 2008) am Standort Güterfelde; Ernte zum Standardtermin; Hinweis: die unterschiedliche Skaleneinteilung ist zu beachten

Die fruchtartenspezifischen und ertragsbedingten Nährstoffentzüge (Anhang 11.2) sowie die Gesamtentzüge der Fruchtfolgen am Beispiel der Anlage 1 (Abb. 7) weisen auf die Notwendigkeit fruchtfolgebezogener Düngungsstrategien hin. Nach der ersten 4-jährigen Fruchtfolgerotation variierten die N-Entzüge zwischen 416 und 617 kg ha^{-1}; die P-Entzüge zwischen 85 und 136 kg ha^{-1}; die K-Entzüge zwischen 447 und 733 kg ha^{-1} und die Mg-Entzüge zwischen 36 und 103 kg ha^{-1} (Abb. 7 – Anlage 1; vgl. Anhang 11.1 – Anlage 2).

Auf Grund der Fruchtfolgegliederanzahl und der geringeren Erträge sind in beiden Anlagen die Nährstoffentzüge in der Fruchtfolge 5[24] relativ niedrig im Vergleich zu den anderen An-

[24] Fruchtfolge 5: Hafer-GP; Wintertriticale-GP; Winterraps-Korn; Winterroggen-Korn

bausystemen. Dagegen wirkt sich der 3-jährige Anbau von Topinambur auf sehr hohe Kalium- und Magnesium-Entzüge im Fruchtfolgevergleich aus (Abb. 7).

Tabelle 6: Nährstoffbilanzen (kg ha^{-1}) der Fruchtfolgen 1-9 über den Versuchszeitraum am Standort Güterfelde; Standardtermin – reale Situation[25]

Anlage 1 2005-2008	Fruchtfolgen								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
N-Düngung	580	475	590	250	370	460	480	410	410
N-Fixierung	k.R.	k.R.	k.R.	218	k.R.	50	80	k.R.	9
N-Entzug	576	513	588	457	335	508	594	459	586
N-Saldo	**4**	**-38**	**2**	**11**	**35**	**2**	**-34**	**-49**	**-167**
P-Düngung	116	86	116	86	86	116	116	86	116
P-Entzug	124	115	131	82	81	102	113	92	133
P-Saldo	**-8**	**-29**	**-15**	**4**	**5**	**14**	**3**	**-6**	**-17**
K-Düngung	580	430	580	490	460	580	580	560	580
K-Entzug	570	447	574	472	241	481	599	678	587
K-Saldo	**10**	**-17**	**6**	**18**	**219**	**99**	**-19**	**-118**	**-7**

Anlage 2 2006-2008	Fruchtfolgen								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
N-Düngung	420	370	440	200	300	300	300	340	340
N-Fixierung	k.R.	k.R.	k.R.	298	k.R.	87	115	k.R.	3
N-Entzug	456	360	517	497	240	385	346	259	422
N-Saldo	**-36**	**10**	**-77**	**1**	**60**	**1**	**69**	**81**	**-78**
P-Düngung	136	116	146	86	86	116	116	86	116
P-Entzug	102	92	96	82	54	68	54	50	100
P-Saldo	**34**	**24**	**50**	**4**	**32**	**48**	**62**	**36**	**16**
K-Düngung	660	600	750	570	480	630	630	710	660
K-Entzug	538	414	567	626	207	413	382	425	550
K-Saldo	**122**	**186**	**183**	**-56**	**273**	**217**	**248**	**285**	**110**

Die Nährstoffbilanzierung (Tab. 6) wurde nach Vorgabe des ZALF Müncheberg erstellt (vgl. Abschnitt 2.4.1). In der Anlage 1 sind in den Fruchtfolgen 2; 8 und 9 durchgängig negative Nährstoffsalden für den Zeitraum 2005 bis 2008 bilanziert worden. Hier sind die deutlichen Defizite im Kalium (Fruchtfolge 8) und Stickstoff (Fruchtfolge 9) zu nennen. Erhebliche Überschüsse ergeben sich im K-Saldo für die Fruchtfolge 5. Verursacht wurde diese Unausgewogenheit in der Fruchtfolgebilanz wie aber auch in den Jahresbilanzen (vgl. Anhang 11) u. a. durch die extremen witterungsbedingten Ertragsschwankungen.

Wird extrapoliert, dass die Zwischenfrüchte Ölrettich und Senf auf der Fläche als Gründüngung verbleiben, sind in den Fruchtfolgen 1; 6 und 7 geringere Entzüge anzusetzen. Die ermittelten Bilanzen sind dadurch positiv oder werden z. T. als deutlicher Überschusssaldo ausgewiesen (Anhang 11). Allerdings wird bei dieser veränderten Nutzung von vornherein auch ein verändertes Düngungsregime durchgeführt.

[25] ohne Entzüge Stroh - verbleibt auf Acker; aber mit Nährstoffentzügen von Ölrettich und Senf, da diese Fruchtarten lt. Projektvorgabe abgefahren worden sind– reale Situation

3.5 Humusbilanz

Die Humusbilanz wurde durch den Projektpartner: ZALF Müncheberg (WILLMS, 2008) zunächst nach den Vorgaben der Cross Compliance-Verordnung ermittelt (vgl. Abschnitt 2.4.2). Im Folgenden wird hier zusammenfassend für erste Wertungen der Fruchtarten (Tab. 7) und Fruchtfolgen (Tab. 8) diese Bilanzierung herangezogen. Des Weiteren erfolgt gegenwärtig durch das ZALF Müncheberg die Humusbilanzierung für die Fruchtfolgen mit dem Modell REPRO und deren projektübergreifende Bewertung (vgl. Endbericht ZALF Müncheberg).

Mit der Bilanzierung nach der CC-Verordnung werden für das Luzerne- und das Kleegras die höchsten Humussalden (Tab. 7) ausgewiesen. Eine positive Bilanzierung ergibt sich weiterhin für die Fruchtarten mit Kornnutzung - unter der Voraussetzung Stroh bleibt im System, für Mischungen mit großkörnigen Leguminosen bzw. für den Zwischenfruchtanbau (grün unterlegt). Die anderen Pflanzenarten für die Gärsubstratbereitstellung, ohne Ausbringung von Gärresten unterstellt, werden nach CC negativ bilanziert (orange unterlegt). Mit einer unterstellten Gärrestdüngung (vgl. Abschnitt 2.4.2) verbessern sich generell die Humussalden, die somit für Sorghum- und Winterraps-Ganzpflanzennutzung nach CC positiv ausgewiesen werden. Auch wenn eine Gärrestdüngung angenommen wird, ist Mais aus Sicht der Humusbilanz als schlechteste Fruchtart mit negativen Salden zu bewerten, gefolgt von Sommer- und Wintergetreide sowie Sonnenblumen für die Ganzpflanzennutzung (Tab. 7).

Tabelle 7: Humussalden nach Cross Compliance (kg ha^{-1}) der Fruchtarten am Standort Güterfelde - Standardtermin, Mittel beider Anlagen und der Jahre 2005 bis 2007 (nach WILLMS, 2008)

Fruchtart	Nutzung	Fruchtfolgestellung	Humussaldo nach CC		Humus-Saldo mit Ausbringung von Gärresten	
			Mittel	relative Abnahme % im Vgl. zum Ackerfutter	Mittel	relative Abnahme % im Vgl. zum Ackerfutter
Luzernegras	GPS	HF 1. HNJ	**600**	**0**	**1093**	**0**
Kleegras	GPS	HF 1. HNJ	**600**	**0**	790	28
Kleegras	GPS	HF 2. HNJ	**600**	**0**	**945**	14
Winterraps	Korn	HF	507	15		
Senf	GD	SZF	279	53		
Ölrettich	GD	SZF	206	66		
Erbsen	Korn	HF	160	73		
Hafer-Erbse-Leindotter-Gemisch	GPS	HF	160	73	346	68
Lupine	Korn	HF	160	73		
Winterroggen	GPS	WZF	120	80	230	79
E. Weidelgras	GPS	SZF	100	83	269	75
Wintertriticale	Korn	HF	63	90		
Hafer	GPS	HF	-280	147	-53	105
Sommerroggen	GPS	HF	-280	147	-86	108
Sonnenblumen	GPS	HF	-280	147	-14	101
Sudangras (S. bicolor * S. sudanense)	GPS	HF	-280	147	289	74
	GPS	ZF	-280	147	220	80
Sorghum bicolor	GPS	SZF	-280	147	90	92
Winterraps	GPS	HF	-280	147	42	96
Winterroggen	GPS	HF	-280	147	-39	104
Wintertriticale	GPS	HF	-280	147	-32	103
Mais	GPS	HF	**-560**	**193**	**-132**	**112**
	GPS	ZF	**-560**	**193**	**-182**	**117**

Aus den oben getroffenen Aussagen ergibt sich für die Fruchtfolge 4 (Kleegrasanbau 2006 und 2007) das höchste Humussaldo und für die Fruchtfolge 1 mit den Humuszehrern Mais (2006) und Wintertriticale-Ganzpflanze bzw. Sorghum bicolor als Sommerzwischenfrucht (2007) das schlechteste Humussaldo. Wird die Ausbringung der Gärreste unterstellt, sind nach der CC-Bilanzierung für alle Fruchtfolgen positive Salden ermittelt worden (Tab. 8).

Tabelle 8: Humussalden nach Cross Compliance (kg ha^{-1}) der Fruchtfolgen am Standort Güterfelde - Standardtermin, Anlage 1 - 2005 bis 2007 (nach WILLMS, 2008); Fruchtfolge 8 keine Werte nach CC ermittelbar

Humussaldo kg C ha^{-1} nach CC - Fruchtfolgen									
Erntejahr	1	2	3	4	5	6	7	8	9
2005	-24	-280	-560	-280	-280	-16	-59		160
2006	-560	-440	-160	600	-280	160	160		-280
2007	-560	63	-180	600	507	-560	-560		-160
Summe	**-1144**	-657	-900	**920**	-53	-416	-459		-280
Humusbilanz ohne Gärreste als relative Minderung im Vergleich zur Fruchtfolge 4 in %									
	224	171	198	0	106	145	150		130

Humus-Saldo kg C ha^{-1} nach CC mit Ausbringung von Gärresten - Fruchtfolgen									
Erntejahr	1	2	3	4	5	6	7	8	9
2005	210	401	-56	-49	-3	227	242		387
2006	-250	-100	182	790	-45	160	160		-42
2007	44	63	208	945	507	58	97		670
Summe	**4**	363	334	**1686**	459	444	499		1015
Humusbilanz mit Gärresten - relativ im Vergleich zur Fruchtfolge 4 in %									
relativ %	**0**	22	20	**100**	27	26	30		60

Allerdings muss diese Aussage sehr kritisch betrachtet werden. Unter dem Gesichtspunkt der Bilanzierungsmethode nach der Cross Compliance-Verordnung sind diese Salden als zu optimistisch zu werten. Folgende Kritikpunkte aus Sicht der Humusbilanzierung nach CC sind u. a. zu benennen:

- Der geänderte Erntetermin bei der Ganzpflanzennutzung führt zu „methodischen Unschärfen“.
- Die einheitliche Humusreproduktionsleistung von Stroh wird mit dem Koeffizienten von 100 kg C t^{-1} nach CC ausgewiesen. Nach den Richtwerten zur Düngeverordnung (ANONYMUS 2008b; vgl. auch VDLUFA-Standpunkt – ANONYMUS 2004) wird für Brandenburg eine Humusreproduktionsleistung von 80 kg C t^{-1} Stroh empfohlen. Die Pflanzenart bleibt unberücksichtigt. Es wird davon ausgegangen, dass die Reproduktionsleistung von Rapsstroh (vgl. Tab. 7) nach der CC-Regelung überschätzt wurde.
- Die Standortbedingungen, Bodenbearbeitung und Erträge werden unzureichend berücksichtigt.
- Die Ausweisung positiver Humussalden bei Grünschnittroggen (WZF – Aufwüchse abgefahren) und der negativen Bewertung bei Ganzpflanzengetreide wird als Diskrepanz betrachtet.

Fazit: Aus Sicht der Humusreproduktion sind die Fruchtfolgen mit Pflanzen für die Gärsubstratbereitstellung zu kombinieren mit mehrjährigen Leguminosen-Grasgemengen sowie dem Marktfruchtanbau, bei dem das Stroh für die Humusreproduktion im System verbleibt. Die Gärreste sind entsprechend auf den Flächen auszubringen. Eine Humusbilanzierung nach der Cross-Compliance Verordnung ist sehr kritisch zu betrachten. Hier wird auf die intensivere Auswertung durch den Projektpartner: ZALF Müncheberg verwiesen.

3.6 Ökonomische Bewertung

Die Fruchtarten und -folgen wurden von TOEWS (2009) ökonomisch bewertet. Folgende einheitliche Annahmen gelten dabei als Voraussetzung (vgl. TOEWS, Februar 2009):

- Versuchserträge ohne Lagerverluste, d. h. es wird ein Verkauf zum Erntezeitpunkt unterstellt,
- Kornertrag bei einer Restfeuchte von 9 % (Raps) bzw. 14,5 % (Getreide),
- Wasserentzug von 8 % und Bröckelverlust von 10 % für das Anwelken der Ackerfuttergräser unterstellt,
- Bestandesführung der Versuchsbewirtschaftung unterstellt, für die Ernte der Ackerfuttergräser wurde einheitlich das Verfahren: Kreiselmähwerk, Wenden, Schwaden und Grassilieren angenommen,
- Arbeitserledigungskosten auf Grundlage der aktuellen KTBL-Daten zur Betriebsplanung, - Vollkosten der Arbeitserledigung (inklusive Abschreibung, Zinsen und Versicherung)
- Unterstellung Feld-Hof-Entfernung: 5 km und Schlaggröße: 10 ha,
- Gärrestausbringung unterstellt: 4,20 € t^{-1} Gärsubstrat, Anrechnung der Gärreste und Einsparung der Mineraldüngerapplikationsmengen,
- Erntekosten und –verfahren nach KTBL-Daten,
- Marktfruchtpreise als dreijähriges Mittel 2005/06 bis 2007/08,
- Gärsubstratpreis: unterstellt 28 € t^{-1} Silomais, d.h. Methanpreis 31 ct m^{-3}.

Im Folgenden werden die Ergebnisse für den Standort Güterfelde auszugsweise mitgeteilt. Ausführliche Informationen wie der Standortvergleich bzw. die Gegenüberstellung mit reinen Marktfruchtfolgen ist dem Bericht des Projektpartners (Universität Gießen – TOEWS, 2009) zu entnehmen.

Mais in Hauptfruchtstellung wies für den untersuchten Zeitraum den höchsten Deckungsbeitrag auf (Tab. 9). Positive Deckungsbeiträge wurden des Weiteren für die Nutzung von

Winterroggenganzpflanze bzw. -korn, Wintertriticalekorn sowie den Maiszweitfruchtanbau ermittelt. In Abhängigkeit des witterungsbedingten Ertragsniveaus variieren die Deckungsbeiträge zwischen den Jahren innerhalb einer Fruchtart. So weist im Trockenjahr 2006 auch Mais negative Deckungsbeiträge aus.

Im Anlagejahr der Leguminosengrasgemenge besteht durch den fehlenden Erlös ein Negativsaldo. Das Luzernegras konnte in den beiden Hauptnutzungsjahren einen positiven Deckungsbeitrag erzielen. Jedoch tendiert im ertragreichen Jahr 2007 durch eine Vierschnittnutzung der Wert gegen Null. Die reduzierte Schnitthäufigkeit bei mittleren Erträgen (2008) wirkt sich deutlich günstiger aus (Tab. 9). Wird für ein weiteres Hauptnutzungsjahr ein mittle-

rer Ertrag bei einer Dreischnittnutzung unterstellt (vgl. Abschnitt 3.1 und Anhang 12) wäre ein positiver Deckungsbeitrag für den 3 ½ jährigen Luzernegrasanbau in der Summe möglich. Allerdings steht die Versuchsfestlegung in der Fruchtfolgerotation dem gegenüber. Die noch folgende ökonomische Auswertung für das Satellitenprojekt: Ackerfutter wird nach drei Hauptnutzungsjahren darüber Aufschluss geben.

Tabelle 9: Deckungsbeitrag in € ha^{-1} der Fruchtarten am Standort Güterfelde – Standardtermin (TOEWS 2009)

Fruchtart	Nutzung	Frucht-folge-stellung	Anbau-wiederho-lungen	2005	2006	2007	2008	Mittel	relative Minderung des DB in % zur Mais HF
Mais (Bezugsbasis)	GPS	HF	4	370	-93	537		**271**	**0**
Winterroggen	GPS	HF	2			39	348	**193**	**29**
Wintertriticale	Korn	HF	2			262	108	**185**	**32**
Winterroggen	Korn	HF	9				155	**155**	**43**
Mais	GPS	ZF	2		-9	303		**147**	**46**
Sudangras (S. bicolor * S. sudanense)	GPS	HF	2	34	-34			**0**	**100**
Wintertriticale	GPS	HF	8		-27	-79	76	**-10**	**104**
Luzernegras	GPS	HF	2		-254	2	170	**-27**	**110**
Sommerroggen	GPS	HF	2	-27	-102			**-65**	**124**
Winterraps	Korn	HF	2			-38	-140	**-89**	**133**
Sudangras (S. bicolor * S. sudanense)	GPS	ZF	4		-287	34	-87	**-114**	**142**
Hafer	GPS	HF	2	-88	-158			**-123**	**145**
Ölrettich	Gd	SZF	2	-140	-138			**-139**	**151**
Kleegras	GPS	HF	2	-334	27	-125		**-144**	**153**
Senf	Gd	SZF	2	-139	-150			**-144**	**153**
Buchweizen	Gd	SZF	2		-182	-174		**-178**	**166**
Hafer-Erbse-Lein-dotter-Gemisch	GPS	HF	2	-123	-253			**-188**	**169**
Sorghum bicolor	GPS	SZF	6			-85	-312	**-199**	**173**
Erbsen	Korn	HF	2		-301	-146		**-223**	**182**
Winterroggen	GPS	WZF	6		-303	-172	-229	**-235**	**187**
E. Weidelgras	GPS	SZF	2			-242	-288	**-265**	**198**
Winterraps	GPS	HF	2		-253	-281		**-267**	**198**
Lupine	Korn	HF	2		-318	-314		**-316**	**217**
Sonnenblumen	GPS	HF	2	-420	-355			**-387**	**243**
Topinambur	Kr/KK	HF	2	-1287	63	-204		**-476**	**276**

Topinambur für die Kraut- und Knollennutzung ist neben den schon benannten pflanzenbaulichen Nachteilen auch aus ökonomischer Sicht als schlechteste Fruchtart zu bewerten (z. B. hohe Anlagekosten). Des Weiteren schneiden bisher Sonnenblumen für die Ganzpflanzennutzung und Lupine als Marktfrucht ökonomisch deutlich schlechter ab (ca. um 200 bis 250 %) als Mais und Getreide. Ölrettich, Senf und Buchweizen erbringen als Gründüngung ökonomisch keine Erlöse, werden aber in der Humusbilanz positiv bewertet (Abschnitt 3.5).

Die Deckungs- und Gewinnbeiträge sind vergleichsweise in der Fruchtfolge 2 (S. bicolor * S. sudanense/ Grünschnittroggen/ Mais (ZF)/ Wintertriticale (Korn)/ Winterroggen (Korn) am höchsten (Tab. 10). Fruchtfolge 1 und Fruchtfolge 4 (Klee- bzw. Luzernegras und Winterroggen-Korn) schneiden aus ökonomischer Sicht in beiden Anlagen günstiger als die restlichen

Fruchtfolgen ab. Trotz des hohen Gewinnbeitrags von Winterroggen-Korn 2008 ist auf Grund des dreijährigen Topinamburanbaus die Fruchtfolge 8 als schlechteste zu bewerten.

Tabelle 10: Deckungs- und Gewinnbeiträge in € ha^{-1} der Fruchtfolgen am Standort Güterfelde - Standardtermin (TOEWS 2009)

Fruchtfolge	1		2		3		4		5		6		7		8		9	
Anlage	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
DB 2005	-171		34		370		-37		-88		-151		-559		-1238		-123	
Gewinn 1	-271		-66		270		-137		-188		-251		-659		-1338		-223	
Gewinn 2	-255		-50		**286**		-121		-172		-235		-643		-1322		-207	
DB 2006	-29	-255	-321	-34	-582	-158	27	-84	-27	-158	-318	-269	-301	-481	42	-1336	-484	-253
Gewinn 1	-129	-355	-421	-134	-682	-258	-73	-184	-127	-258	-418	-369	-401	-581	-58	-1436	-584	-353
Gewinn 2	-113	-339	-405	-118	-666	-242	-57	-168	-111	-242	-402	-353	-385	-565	-42	-1420	-568	-337
DB 2007	-164	537	262	79	-374	-260	-125	2	-38	-74	-65	-314	-98	-146	-204	85	34	-455
Gewinn 1	-264	437	162	-21	-474	-360	-225	-98	-138	-174	-165	-414	-198	-246	-304	-15	-66	-555
Gewinn 2	-248	**453**	**178**	-5	-458	-344	-209	-82	-122	-158	-149	-398	-182	-230	-288	1	-50	-539
DB 2008	94	-216	109	108	49	-228	87	170	107	-140	163	39	117	-246	309	*	356	-315
Gewinn 1	-6	-316	9	8	-51	-328	-13	70	7	-240	63	-61	17	-346	209	*	256	-415
Gewinn 2	**10**	-300	**25**	**24**	-35	-312	**3**	**86**	**23**	-224	**79**	-45	**33**	-330	**225**	*	**272**	-399
DB Mittel/a	-67	**22**	**21**	**51**	-134	-215	-12	**30**	-11	-124	-93	-181	-210	-291	-273	-417	-54	-341
Gewinn 1	-167	-78	-79	-49	-234	-315	-112	-70	-111	-224	-193	-281	-310	-391	-373	-517	-154	-441
Gewinn 2	-151	-62	-63	-33	-218	-299	-96	-54	-95	-208	-177	-265	-294	-375	-357	-501	-138	-425
relativ %	42	53	100	100	29	11	66	60	66	16	36	12	21	9	18	7	46	8

Anmerkung: Der Gewinn 1 wurde nach TOEWS (2009) als Differenz aus dem Deckungsbeitrag (DB) und einer Pacht für das Land Brandenburg durchschnittlichen Pacht von 100 € ha^{-1} ausgewiesen. Der Gewinn 2 basiert auf einer geringeren Pacht für das Landbaugebiet III (Standort Güterfelde) von 84 € ha^{-1} (ANONYMUS 2008a – Agrarbericht Land Brandenburg). * keine Ernte von Topinamburkraut – vgl. Abschnitt 3.1 – ersatzweise Hirse (S. bicolor) als Sommerzwischenfrucht

Das witterungsbedingte Ertragsniveau bewirkt in den Jahren schwankende Gewinnbeiträge (s. o. Fruchtartenvergleich). Der Gewinnbeitrag 2008 in der Anlage 1 ist mit dem abschließenden Fruchtfolgeglied Winterroggen (Korn) außer in der Fruchtfolge 3 positiv. Im Mittel aller Jahre wird für den Untersuchungszeitraum 2005 bis 2008 kein positiver Gewinn ebenso wie an den Standorten: Werlte (Niedersachsen) und Trossin (Sachsen) ausgewiesen. Allerdings bleiben hier Prämienzahlungen unberücksichtigt.

Fazit: Ökonomisch lassen sich aus den Versuchsdaten eine Vorzüglichkeit der Fruchtarten: Mais und Winterroggen für die Ganzpflanzennutzung sowie Winterroggen-/-triticale Körnernutzung für das Landbaugebiet III des Landes Brandenburg ableiten. Die Fruchtfolge 2 (S. bicolor * S. sudanense/ Grünschnittroggen/ Mais (ZF)/ Wintertriticale (Korn)/ Winterroggen (Korn) schnitt am günstigsten ab. Bei Fruchtfolgen mit Luzernegras ist bei einer reduzierten Schnitthäufigkeit (n = 3 je Jahr) und einer Ernte von drei Hauptnutzungsjahren ein positiver Deckungsbeitrag zu erwarten. Durch weitere Versuche und Untersuchungen sind diese Ergebnisse zu validieren. Die dargelegte Kalkulation beruht auf das gegenwärtige Versuchsdatenmaterial (z. B. notwendige zusätzliche versuchstechnische Arbeitsgänge) und den getroffenen Annahmen. In folgende Bewertungen sind diese mit den standorttypischen Praxisverfahren und der Variation der Annahmen abzugleichen (vgl. TOEWS, 2009).

3.7 Anbauempfehlungen für die Region

Im bundesweiten Vergleich ist auf den zur Vorsommertrockenheit neigenden ostdeutschen Diluvialstandorten mit einem geringeren Ertragsniveau zu rechnen. Dies ist bei der Flächenplanung für den Energiepflanzenanbau zur Biogasgewinnung zu berücksichtigen.

Je nach Pflanzenart und Jahr ist mit Trockenmasseerträgen zwischen 50 und 150, im günstigsten Fall bis zu etwa 200 dt/ha zu rechnen. Der für die Silierung optimale Erntetermin bei einem TM-Gehalt von 28 bis 35 % ist bei Mais auf Grund der Anbauerfahrungen und des großen Sortenangebotes in einem weiten Reifebereich am besten einzuhalten.

Die Einhaltung des optimalen TM-Gehaltsbereiches von Ganzpflanzengetreide erfordert in noch höherem Maße als bei Mais ein darauf abgestimmtes Anbaumanagement, da der TM-Gehalt bei anhaltender Trockenheit in kürzester Zeit den Optimalbereich gravierend überschreiten kann. Alternativ ist gegebenenfalls der Drusch in Betracht zu ziehen. Wintergetreide, insbesondere Winterroggen, ist auf Grund der Ertragshöhe und -stabilität dem Sommergetreide vorzuziehen. Gegenwärtig werden für Ganzpflanzengetreide Anbauintensitäten geprüft, um standortangepasste Aussagen zu treffen.

Sorghumarten sind als Biogassubstrat praxisfähig und können mit Mais vergleichbare Erträge erreichen. Ob und in welchem Umfang sie Mais unter Trockenstressbedingungen überlegen sind, wird weiter untersucht. Neue Sorten und optimierte Anbauverfahren könnten zu verbesserter Wettbewerbsfähigkeit von Sorghum auf trockenen Sandstandorten beitragen.

Die Zweikulturnutzung sollte aus Sicht der Ertragsleistung und Ökonomie den Standorten mit besserer Bodenbonität (AZ > 40) und sichererer Wasserverfügbarkeit vorbehalten bleiben. Einzig die Folge Grünschnittroggen – Zweitfrucht Mais oder Sorghum erreichte ähnliche Erträge wie der Anbau der C4-Arten in Hauptfruchtstellung, verursacht aber höhere variable Kosten. Der Anbauerfolg hängt dabei stark von der Wasserversorgung der Zweitfrucht ab. Ein Zweit- bzw. Zwischenfruchtanbau nach der Getreideganzpflanzennutzung zur Teigreife birgt gegenüber dem Zweitfruchtanbau nach Winterzwischenfrucht das höchste Risiko, unter den gegebenen Standortbedingungen bei Trockenheit keine erntewürdigen Bestände zu erzielen oder bei feuchter Spätsommerwitterung die erforderlichen TM-Gehalte nicht oder sehr spät zu erreichen und dadurch die Aussaat der Winterung stark zu verzögern. Folgt keine Winterung, sollte der Sommerzwischenfruchtanbau zur Gründüngung in Wirtschaftlichkeitsüberlegungen einbezogen werden, da die Fruchtfolgen in der Regel einen hohen Anteil Humuszehrer aufweisen.

Zur Ganzpflanzenverwertung als Gärsubstrat sind die Pflanzenarten Topinambur (Kraut und Knolle), Sonnenblumen, Winterraps sowie die Zwischenfrüchte Senf und Ölrettich nicht oder nur bedingt geeignet. Ursache sind die im Vergleich zu C4-Gräsern und Getreide geringen TM-Erträge und -gehalte sowie Probleme in der Vergärbarkeit. Je nach Pflanzenart können erhöhte Rohasche-, Rohprotein- und Schwefelgehalte zudem den Fermentationsprozess beeinträchtigen.

Entscheidend für die Einbeziehung mehrschnittigen Ackerfutters als Gärsubstrat, wie z. B. Luzernegras auf grundwasserfernen Sandstandorten ab AZ 30, wird die Abwägung der Vor- und Nachteile (Humusbilanz, Diversifizierung des Artenspektrums, Verfahrenskosten etc.) aus der zurzeit noch ausstehenden ökonomischen und ökologischen Bewertung sein.

Fruchtfolgen mit Mais, Sorghumgräsern und Getreide für die Ganzpflanzennutzung (besonders Roggen) sind in Kombination mit dem Marktfruchtanbau unter den Bedingungen ostdeutscher Diluvialstandorte empfehlenswert.

4 Zusammenfassung des Fruchtfolgeversuchs am Standort Güterfelde

Im Teilprojekt 1 „Entwicklung und Optimierung von standortangepassten Anbausystemen für Energiepflanzen im Fruchtfolgeregime (Land Brandenburg)“ des FNR-Verbundvorhabens (Laufzeit 2005 bis 2008) wurden am Standort Güterfelde des Landesamtes für Verbraucherschutz, Landwirtschaft und Flurneuordnung Brandenburg (Referat Ackerbau und Grünland) neun verschiedene Fruchtfolgen (Grund- und Regionalversuch) im Hinblick auf das Ertrags- und Biogaspotenzial sowie auf die ökologischen und ökonomischen Parameter untersucht. Am Standort Güterfelde (lehmiger Sand, Ackerzahl 29 bis 33) ist dieser Fruchtfolgeversuch zusätzlich unter dem Aspekt der Optimierung des Erntezeitpunktes betrachtet worden (vgl. Bericht Erntezeitpunkt).

Jahresschwankungen im Ertrag: Im Versuchszeitraum 2005 bis 2008 führten stark abweichende Jahreswitterungen mit Extremereignissen (vgl. Abschnitt 2.2) zu erheblichen Ertragsschwankungen bei den mehrjährig geprüften Fruchtarten. Im Jahr 2007 wurden durch das warme Frühjahr und die günstige Niederschlagsverteilung ab Mai hohe Ganzpflanzenerträge für Mais (190 dt TM ha^{-1}) und für Sudangras in Zweitfruchtstellung (bis 150 dt TM ha^{-1}) erzielt. Diese Erträge liegen somit deutlich über denen der Vorjahre bzw. 2008 (vgl. Abschnitt 3.1). 2008 wurden mit bis zu 110 dt TM ha^{-1} Winterroggen der höchste Getreideganzpflanzenertrag (160 % zu 2007) im Beprobungszeitraum ermittelt.

Trockenmassegehalte: Witterungsbedingt konnten im Jahr 2007 die optimalen Trockenmassegehalte zur Ernte eher eingehalten werden als in den durch Trockenheit geprägten Jahren 2006 und 2008. Besonders für Jahre mit anhaltender Trockenheit zur Blüte und Fruchtentwicklung ist der in anderen Regionen Deutschlands ermittelte Zusammenhang zwischen Entwicklungsstadien und TM-Gehaltsverlauf für Standorte mit leichten Böden in Ostdeutschland (Ackerzahlen < 35) zu präzisieren (vgl. Bericht Erntezeitpunkte).

Gesamterträge: Die Gesamterträge der neun geprüften Fruchtfolgen variierten in der vierjährigen Aufwuchsleistung nach Abschluss der ersten Rotation zwischen ca. 270 dt ha^{-1} und 425 dt ha^{-1} (Abschnitt 3.2). Die 2. Versuchsanlage erbrachte im Zeitraum 2006 bis 2008 Erträge von ca. 155 bis 355 dt ha^{-1}. Die Fruchtfolgen 1; 2; 3 und 9 mit Mais und Sorghumgräsern in Haupt- bzw. Zweitfruchtstellung sind auf gleich hohem Niveau einzustufen und den anderen Fruchtfolgen überlegen.

Methanerträge: Die nach dem Ansatz von SCHATTAUER & WEILAND (2006) geschätzte theoretische Biogas- bzw. Methanausbeute je kg oTS weicht zum Teil vom Bereich der KTBL-Richtwerte ab (vgl. Abschnitt 3.3). Im Jahr 2007 wurden für Mais mit ca. 5.400 m^3CH_4 ha^{-1} und für den Zweitfruchtanbau mit Mais bzw. Sorghumgräsern mit ca. 4.000...5.000 m^3 CH_4ha^{-1} die höchsten Methanerträge ermittelt. Das ist mehr als das Doppelte als im Trockenjahr 2006. Die Fruchtfolgen 1 und 3 mit den Fruchtarten Mais und Sudangras in Haupt- bzw.

Zweitfruchtstellung, Grünschnittroggen und Wintergetreide als Ganzpflanze ergeben die höchsten Gesamtmethanerträge in beiden Anlagen.

Ökonomisch lassen sich aus den Versuchsdaten eine Vorzüglichkeit der Fruchtarten: Mais und Winterroggen für die Ganzpflanzennutzung sowie Winterroggen-/-triticale Körnernutzung für das Landbaugebiet III des Landes Brandenburg ableiten. Die Fruchtfolge 2 (S. bicolor * S. sudanense/ Grünschnittroggen/ Mais (ZF)/ Wintertriticale (Korn)/ Winterroggen (Korn) schnitt am günstigsten ab (vgl. Abschnitt 3.6).

Generell basieren die getroffenen Aussagen der Fruchtfolgen auf Versuchsdaten des Standortes Güterfelde. Durch eine weitere Fruchtfolgerotation werden diese Ergebnisse validiert. Zusätzlich werden im Folgenden die Versuchsdaten projektübergreifend für die einzelnen Regionen (hier: Roggen-Kartoffel-Region) Deutschlands mit einer breiteren Datenbasis bewertet. Die Praxisbewertung wird in Kooperation mit allen Projektpartnern vorgenommen.

5 Literaturverzeichnis (Auswahl)

ADAM, L. (2005): Biogas aus Sudangras. Bauernzeitung, 46, Heft 20, S. 15-16

ADAM, L. (2007): http://www.mluv.brandenburg.de/cms/media.php/2331/sorghumv.pdf
http://www.mluv.brandenburg.de/cms/media.php/2331/sorghumh.pdf

ANONYMUS (1997): DLG Futterwerttabellen Wiederkäuer. Herausgeber – Universität Hohenheim. 7. Auflage. DLG Verlag Frankfurt am Main.

ANONYMUS (2004): Standpunkt Humusbilanzierung. Herausgeber: Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten (VDLUFA), Bonn.

ANONYMUS (2005): Gasausbeute in landwirtschaftlichen Biogasanlagen. Herausgeber: Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V. (KTBL) Darmstadt – Arbeitsgruppe „Biogaserträge“.

ANONYMUS (2006): Energiepflanzen. Daten für die Planung des Energiepflanzenanbaus – KTBL Datensammlung. Herausgeber: Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V. (KTBL) Darmstadt und Leibniz-Institut für Agrartechnik Potsdam-Bornim e.V. (ATB) Potsdam.

ANONYMUS (2008a): Agrarbericht 2008 des Landes Brandenburg. Herausgeber: Ministerium für Ländliche Entwicklung, Umwelt und Verbraucherschutz des Landes Brandenburg, Potsdam.

ANONYMUS (2008b): Richtwerte für die Untersuchung und Beratung sowie zur fachlichen Umsetzung der Düngeverordnung (DüV). Herausgeber: Landesamt für Verbraucherschutz, Landwirtschaft und Flurneuordnung des Landes Brandenburg.

ANONYMUS (2008c): Datensammlung. Herausgeber: Landesamt für Verbraucherschutz, Landwirtschaft und Flurneuordnung des Landes Brandenburg; Reihe Landwirtschaft, 5. überarbeitete Auflage

BARTHELMES, G. (2006): Ergebnisse der Landessortenversuche bei Silo- und Körnermais. Vortrag im Rahmen des Maistag am 07.12.2006, Falkenrehde.

BARTHELMES, G. (2008): Landessortenprüfung Winterraps – Sortenratgeber. http://www.mluv.brandenburg.de/cms/media.php/2331/wraps_08.pdf

BEER M., L. ADAM, R. MÜLLER (1993): Topinambur. Untersuchungen zum Pflanzenschutz beim Anbau von Topinambur. Jahresbericht 1993 - Lehr- und Versuchsanstalt für Integrierten Pflanzenbau e.V. Güterfelde. S. 149-150

HEIERMANN, M.; M. PLÖCHL (2004): Biogas aus Pflanzen – Ergebnisse von Gärversuchen. 10. Internationale Tagung „Energetische Nutzung nachwachsender Rohstoffe“ an der TU Bergakademie Freiberg am 9. - 10. September 2004, S. 79-84.

HEIERMANN, M.; CH. IDLER, CH. HERRMANN, R. SCHNEIDER (2007): Teilprojekt 4: ATB Bornim: Silier- und Gärtests; Datenweitergabe April 2007

KAISER F. (2007): Entwicklung eines Berechnungsmodells für die Bestimmung des Methanpotenzials aus nachwachsenden Rohstoffen. In: Biogas – effizient und verlässlich. 17. Jahrestagung des Fachverbandes Biogas e.V. vom 15. – 17. Januar 2008, S. 131-135

KARPENSTEIN-MACHAN, M. (2005): Energiepflanzenbau für Biogasanlagenbetreiber. DLG Verlag Frankfurt am Main.

LINKE, B.; MONIKA HEIERMANN; P. GRUNDMANN; F. HERTWIG (2003): Grundlagen, Verfahren und Potenzial der Biogasgewinnung im Land Brandenburg. In: Biogas in der Landwirtschaft Leitfaden für Landwirte und Investoren im Land Brandenburg. 2. Auflage. Herausgeber: Ministerium für Landwirtschaft, Umweltschutz und Raumordnung des Landes Brandenburg. S. 10-23.

LINKE, B. (2004): Den Ertrag einschätzen, Methanerträge und Bemessungsdaten von Biogasanlagen auf einen Blick, Neue Landwirtschaft, Heft 12,: S. 25-27, 2004

RUNGE, M. (1994): Topinambur - Prüfung verschiedener Sorten und Herkünfte auf ihre Anbaueignung in Brandenburg. Jahresbericht 1994 - Lehr- und Versuchsanstalt für Integrierten Pflanzenbau e.V. Güterfelde. S. 162-164.

SCHATTAUER, A; P. WEILAND (2006): In: Handreichung Biogasgewinnung und –nutzung. Herausgeber Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR). 3. überarbeitete Auflage 2006. Kapitel 2: Grundlagen der anaeroben Fermentation. S. 29-31

SCHMALER, KATRIN (2005, 2006 und 2007): Eignung von Ackerfuttermischungen und Silomais für die energetische Nutzung. Zwischenberichte zum Verbundprojekt: Entwicklung und Vergleich von optimierten Anbausystemen für die landwirtschaftliche Produktion von

Energiepflanzen unter den verschiedenen Standortbedingungen Deutschlands. Teil Brandenburg (FNR-FKZ 22002305): NAN-Versuche Humboldt-Universität zu Berlin.

SCHMALER, KATRIN; F. HERTWIG; KARIN NEUBERT; G. EBEL (2007): Eignung verschiedener Ackerfuttermischungen für die Erzeugung von Biogas. In: Schriftenreihe des Landesamtes für Verbraucherschutz, Landwirtschaft und Flurneuordnung. Aktuelle Ergebnisse – Nutzung von Biomasse als Gärsubstrate. 26. Fachtagung für Acker- und Pflanzenbau am 22. November 2007, Bresch (Landkreis Prignitz). S. 39-46

VETTER, A; ARLETT NEHRING; C. STRAUSS (2007): Entwicklung und Vergleich von optimierten Anbausystemen für die Produktion von Energiepflanzen. Symposium Energiepflanzen am 24./25. Oktober 2007 in Berlin. In: Schriftenreihe „Nachwachsende Rohstoffe“, Band 31. Herausgeber: Nachwachsende Rohstoffe e.V. S. 55-67

WILLMS, M. (2008): Humusbilanzierung nach Cross Compliance. Persönliche Mitteilung.

WORTMANN H. (2008): Welches Wintergetreide als GPS. Praxisnah 3/2008

Im Anhang 13 sind die Quellen der vom LVLF publizierten Schriften zum EVA - Verbundprojekt angegeben. Der Tagungsband der 26. Fachtagung für Acker- und Pflanzenbau „Aktuelle Ergebnisse – Nutzung von Biomasse als Gärsubstrate“ (November 2007) wird als Informationsmaterial auch im Internet angeboten:

http://www.mluv.brandenburg.de/cms/media.php/2320/ft_bioma.pdf



Abschlussbericht zum Forschungsvorhaben:

„Entwicklung und Vergleich von optimierten Anbausystemen für die landwirtschaftliche Produktion von Energiepflanzen unter verschiedenen Standortbedingungen Deutschlands“

Teilprojekt 1:

„Entwicklung und Optimierung von standortangepassten Anbausystemen für Energiepflanzen im Fruchtfolgeregime auf D-Süd-Standorten“

FKZ: 220-023-05

(Projektlaufzeit: 15.04.2005-31.03.2008)

(Verlängerung: 01.04.2008-31.12.2008)

Projektleiter: **Dr. habil. Ch. Röhricht**
Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie

Projektbearbeiter: **Dr. habil. Ch. Röhricht**
Dr. S. Freydank
Dipl. Ing. (FH) S. Schröder

Das Vorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz durch die Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. Gülzow gefördert.

Inhaltsverzeichnis

1	**Einleitung**	**159**
2	**Material und Methoden**	**159**
2.1	Standortcharakteristik	159
2.2	Witterungsverlauf und klimatische Wasserbilanz	159
2.3	Versuchsdurchführung	163
2.4	Berechnungsgrundlagen	165
2.4.1	Nährstoffbilanzierung (N, P, K, Mg)	165
2.4.2	Humusbilanz	165
2.4.3	Theoretische Biogas- und Methangasausbeute	166
3	**Ergebnisse**	**167**
3.1	Frischmasse (FM)- und Trockenmasse (TM)-Erträge der Fruchtfolgevarianten	167
3.2	Winterroggen in Kombination mit dem Strohertrag	173
3.3	Nährstoffbilanz	174
3.4	Humusbilanz	176
3.5	Theoretische Biogas- und Methangasausbeute	180
3.6	Ökonomische Bewertung	185
3.7	Anbauempfehlungen für die Region	189
4	**Zusammenfassung**	**190**
5	**Literaturverzeichnis**	**191**

1 Einleitung

Der Energiepflanzenanbau hat in Deutschland in den letzten zehn Jahren deutlich zugenommen. Etwa zwei Millionen Hektar (17% des Ackerlandes) werden für Energie- und Industriepflanzen genutzt (Stand 2008). Der Anbau konzentriert sich wesentlich auf die Energiepflanzen Winterraps (Biodiesel), Getreidekorn (Bioalkohol), Energiemais und Getreideganzpflanzen zur Biogasgewinnung. Im Interesse des Umwelt- und Naturschutzes sowie im Konsens mit den Anforderungen einer guten fachlichen Praxis, ist die steigende Nachfrage nach Energierohstoffen aus der Landwirtschaft künftig durch pflanzenbaulich wesentlich vielfältig gestaltetere Anbausysteme mit hoher Energie- und Umwelteffizienz zu befriedigen.

Die vorliegenden Untersuchungen zum Energiepflanzenanbau in Fruchtfolgesystemen leisten hierzu einen Beitrag. Sie verfolgen das Ziel, die bestehende hauptsächlich auf Mais ausgerichtete Anbaustruktur für die Biogasproduktion zu diversifizieren. In diesem Sinne werden unterschiedliche Fruchtfolgesysteme, die neben traditionellen Kulturen auch neue Fruchtarten einbeziehen, nach der Trockenmasseleistung, dem Biogas- und Methanertrag, der Humus- und Nährstoffbilanz sowie ihrer Wirtschaftlichkeit bewertet. Aus diesen Ergebnissen sollen Empfehlungen zum Energiepflanzenanbau für die Kartoffel-Winterroggen-Region der D-Süd-Standorte Deutschlands abgeleitet werden.

2 Material und Methoden

2.1 Standortcharakteristik

Der Versuchsstandort Trossin liegt im sächsischen Landkreis Torgau/Oschatz. Er repräsentiert im Verbundprojekt die leichten, diluvialen Standortbedingungen der Kartoffel-Roggen-Region Deutschlands.

Es handelt sich um einen mittelschluffigen Sandboden (Su3), der im Ap-Horizont 67% Sand, 27% schluffige Bestandteile und 6% Ton enthält. Er verfügt somit nur über eine geringe Wasserspeicherkapazität. Die Bodenzahl 31 weist ihn zudem als ertragsschwachen Standort aus.

Den langjährigen Niederschlags- und Temperaturbedingungen ist zu entnehmen, dass der Standort niederschlagsarm und warm ist (Jahresniederschlagssumme 420mm (1994-2005), Jahresdurchschnittstemperatur 9,1°C).

Der Versuchsstandort Trossin spiegelt mit dieser bodenklimatischen Charakteristik typische Anbaubedingungen der D-Süd-Standorte wider, die einen beachtlichen Anteil an der landwirtschaftlichen Nutzfläche Deutschlands von etwa 19% einnehmen.

2.2 Witterungsverlauf und klimatische Wasserbilanz

In der monatlichen Niederschlagsverteilung unterscheiden sich die Versuchsjahre 2005-2008 deutlich (Abbildung 1). Für die Ertragsbildung der Kulturpflanzen ist dabei besonders der Vegetationszeitraum von März bis Oktober maßgebend.

Wie die Niederschlagsverteilung der einzelnen Jahre zeigt, ist das Versuchsjahr 2005 durch hohe, über dem langjährigen Mittel liegende Niederschläge im Zeitraum April bis August ge-

kennzeichnet. Ein extrem hoher Peak ist besonders im Monat Juli zu beobachten. Die Herbstmonate waren hingegen vergleichsweise trocken (Abbildung1).

Das Versuchsjahr 2006 weist in den Monaten Januar bis Mai eine normale bzw. leicht erhöhte monatliche Niederschlagssumme auf. Die Folgemonate Juni und Juli sind als sehr niederschlagsarm einzustufen. Gleiches gilt für den Monat September. In den übrigen Monaten bewegen sich die Werte dicht um das jeweilige langjährige Monatsmittel.

Die Jahre 2007 und 2008 prägt insgesamt eine überdurchschnittliche Niederschlagstätigkeit, sieht man von den Monaten April 2007 und Mai 2008 ab (Abbildung 1).

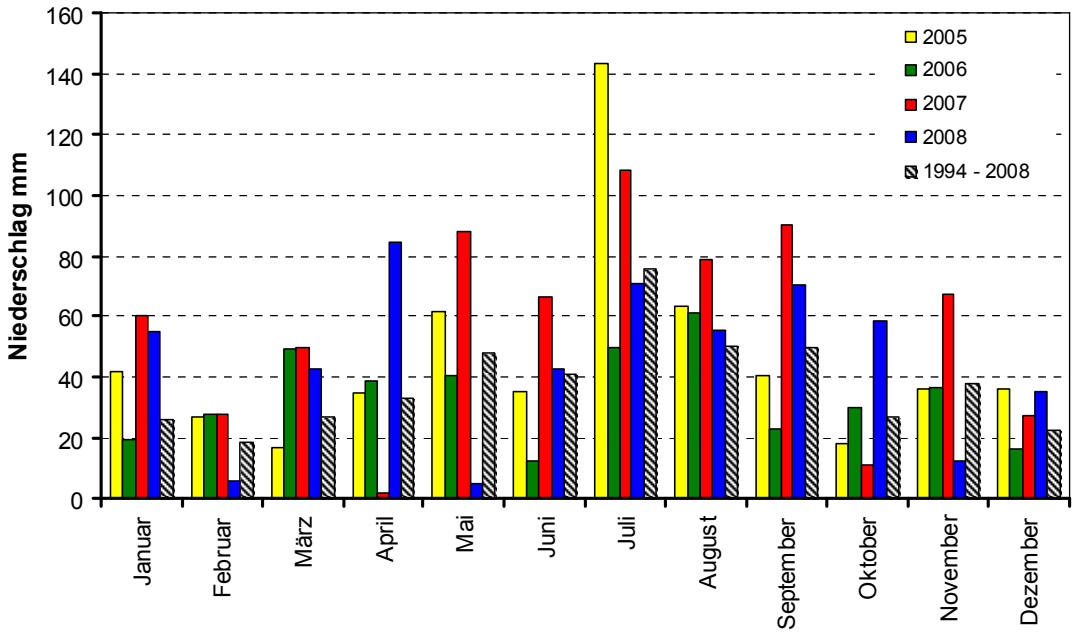


Abbildung 1: Monatliche Niederschlagssumme am Versuchsstandort Trossin (Su3, Az 31) für die Versuchsjahre 2005-2008, Angaben der Wetterstation Spröda des LfULG

Die monatlichen Mittel der Lufttemperatur entsprechen in den Versuchsjahren 2007 und 2008 für die einzelnen Monate weitgehend den langjährigen Werten. Eine Ausnahme bilden hier die Monate Mai und Juni mit überdurchschnittlichen Lufttemperaturen (Abbildung 2).

Im Jahr 2006 unterscheidet sich der Monat Juli durch eine extreme Wärme von den übrigen Sommermonaten des Versuchsjahres und dem langjährigen Mittel. Gleiches gilt für den Abschnitt September bis Oktober. Die Werte der übrigen Monate entsprechen im Wesentlichen den langjährigen Mittelwerten. Für das Versuchsjahr 2005 bewegen sich die Temperaturwerte weitgehend im Bereich der Mittelwerte. Allerdings waren die Sommer- und Herbstmonate vergleichsweise kühl (Abbildung 2).

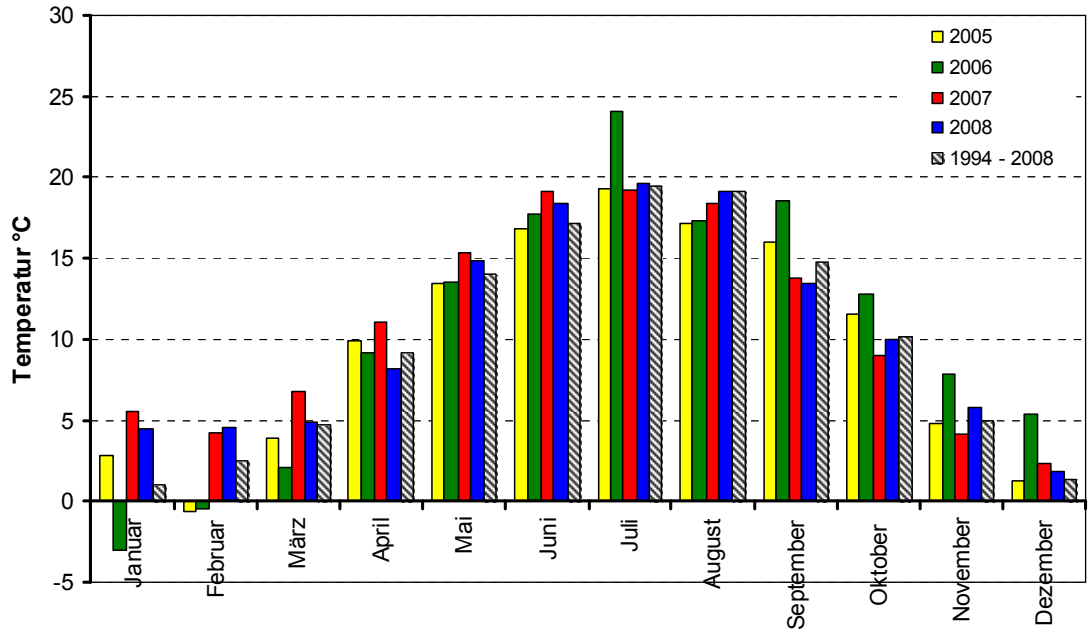


Abbildung 2: Monatliche Mittel der Lufttemperatur am Versuchsstandort Trossin (Su3, Az 31) für die Versuchsjahre 2005-2008, Angaben der Wetterstation Spröda des LfULG

Die insgesamt eintreffende Solarstrahlung (Globalstrahlung) variiert über die Versuchsjahre (Abbildung 3). So ist besonders das Jahr 2006 durch eine hohe, weit überdurchschnittliche Sonneneinstrahlung während der Sommer- und Herbstmonate zu charakterisieren. Auch das Jahr 2008 weist für die Monate Mai bis Juni eine hohe Globalstrahlung auf. Der übrige Verlauf entspricht den langjährigen Durchschnittswerten. Im Vergleich zu den Versuchsjahren 2006-2008 ist das Jahr 2005 durch eine geringe Sonneneinstrahlung in den Monaten Mai bis Oktober geprägt (Abbildung 3).

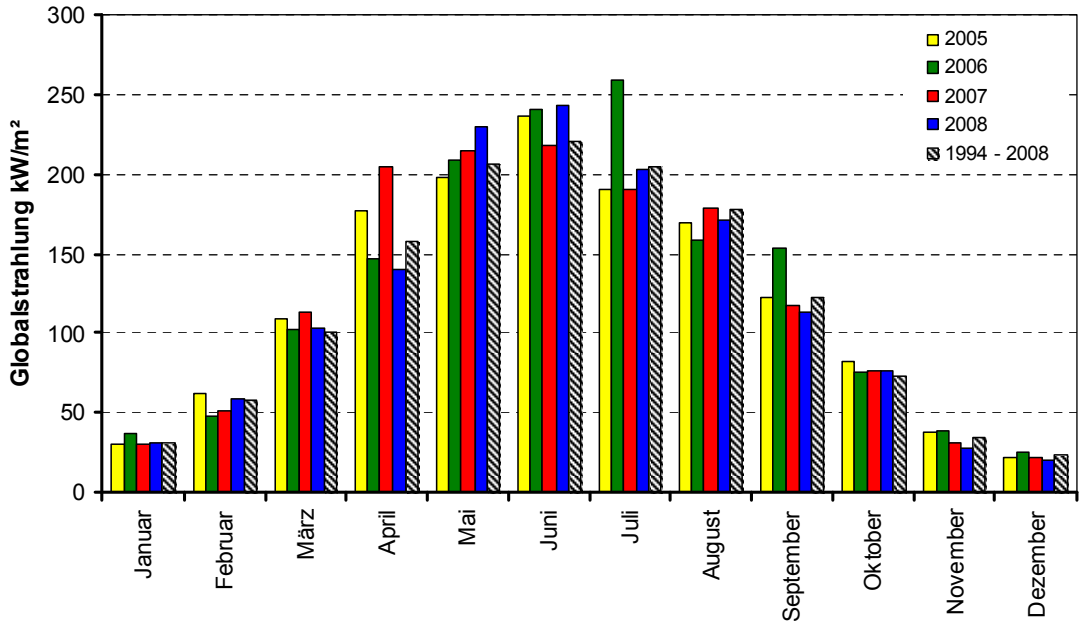


Abbildung3: Globalstrahlung (Monatsmittel) am Versuchsstandort Trossin (Su3, Az 31) für die Versuchsjahre 2005-2008, Angaben der Wetterstation Spröda des LfULG

Tabelle 1: Allgemeine Einstufung der Versuchsjahre 2005-2008 für das Pflanzenwachstum, Versuchsstandort Trossin (Su3, Az 31)

Jahr	Witterung	Einstufung für das Pflanzenwachstum
2005	feucht/kühl	günstig für an den gemäßigten Klimaraum adaptierte Kulturarten
2006	sehr trocken/warm	ungünstig, hoher Trockenstress für alle Kulturen
2007	feucht/warm	insgesamt günstige Wachstumsbedingungen
2008	feucht/warm	

Die klimatische Wasserbilanz ist ein Maß für die Abschätzung der Grundwasserneubildung. Aus den jährlichen klimatischen Wasserbilanzen geht hervor, dass sie in allen Versuchsjahren einen sinusförmigen Verlauf zeigen. In den ersten Monaten des Jahres (Januar bis März/April) ist sie positiv bzw. neutral, um dann in einen negativen Verlauf bis Jahresende überzugehen. Dies macht deutlich, dass bereits in der Vorsommerperiode auf den leichten Böden eine ungenügende Auffüllung des Bodenwasservorrates einsetzt und in den Folgemonaten nicht behoben wird.

Die Kurvenverläufe sind stark jahresspezifisch geprägt. Im Jahr 2005 fällt das Bodenwasserdefizit in der zweiten Jahreshälfte geringer aus als im niederschlagsarmen, trockenen Jahr 2006 (Abbildung 4). Durch eine stärkere Niederschlagstätigkeit sind in den Versuchsjahren 2007 und 2008 die negativen Bilanzwerte ebenfalls weitaus geringer als 2006. Der Umschlagpunkt zur negativen Bilanz variiert jahresspezifisch. Er setzt zwischen Mitte März (2005, 2007) und Mitte April (2006, 2008) ein (Abbildung 4). Unterzieht man die jährlichen Witterungsverläufe einer zusammenfassenden Wertung bezüglich ihrer Voraussetzungen für das Pflanzenwachstum, überwiegen im Versuchszeitraum günstige Witterungsverhältnisse (Tabelle 1). Für die Versuchsjahre ist aus den Wasserbilanzen jedoch abzuleiten, dass die Bodenwasserspeicher nur ungenügend ausgeglichen worden sind.

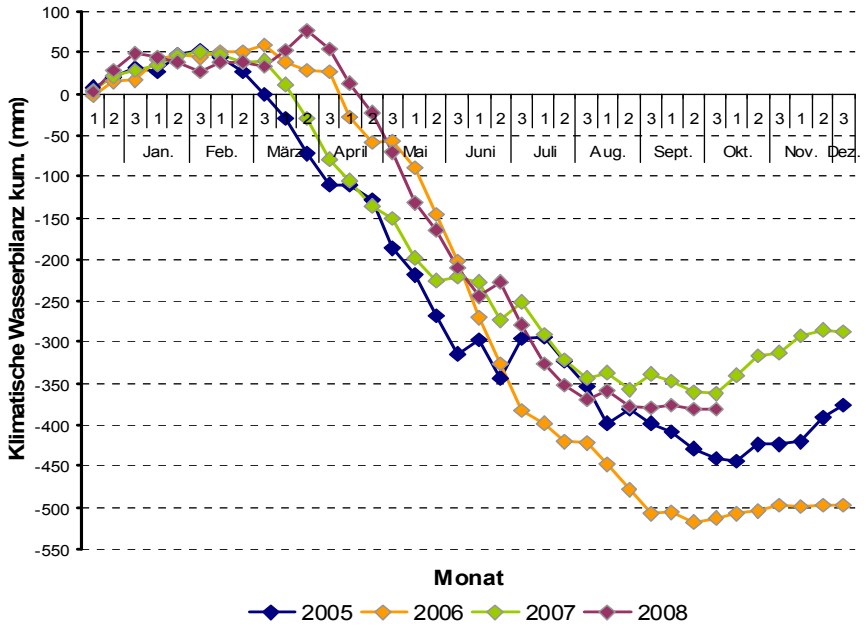


Abbildung 4: Klimatische Wasserbilanz am Standort Trossin (Su3, Az 31) - Fruchtfolgeversuch mit Energiepflanzen für die Biogasproduktion im Zeitraum 2005-2008, (Messdaten der Wetterstationen Holzdorf und Torgau)

2.3 Versuchsdurchführung

Der Fruchtfolgeversuch umfasst insgesamt acht Varianten. Davon sind die ersten fünf Varianten so genannte Standardfruchtfolgen, die an allen sieben Standorten des Verbundprojektes einheitlich durchgeführt werden. Die Fruchtfolgevarianten 6 bis 8 tragen hingegen einen regionalspezifischen Charakter. Um die Fruchtfolgesysteme unter verschiedenen Witterungsbedingungen auf den einzelnen Standorten zu prüfen, wurde der Versuch (Anlage 1) um ein Jahr zeitversetzt als Spiegelvariante (Anlage 2) durchgeführt (Tabelle 2.1 und 2.2).

Die Fruchtfolgesysteme 1-5 sind so aufgebaut, dass sie neben eingeführten Kulturen mit langjähriger Anbauerfahrung wie Mais, Grünschnittroggen und Ganzpflanzengetreide (GP-Getreide) auch neue Kulturen (Sudangras und Zuckerhirse) prüfen. Des Weiteren soll mit der Einbeziehung von Luzerne-Kleegras (Fruchtfolgevariante 4) eine wichtige ertragreiche und humusmehrende Futterkultur in den Energiepflanzenanbau integriert werden. In der Fruchtfolge 5 ist ein verstärkter Anbau von Marktfrüchten (Raps, Winterroggen) das Hauptmerkmal. Die intensive Eingliederung von Zwischenfrüchten in die Fruchtfolgevarianten 1 und 8 dient dem Ziel, im Anbausystem eine möglichst ganzjährige Bodenbedeckung zu sichern, um der Wind-/Wassererosion und Nährstoffauswaschung vorzubeugen.

Tabelle 2.1: Fruchtfolgen 1. Anlage in Trossin 2005-2008

Fruchtfolge: Erntejahr, Nutzung, Kulturart						
1	2005 Ganzpflanze Sommerroggen	2005 Gründüngung Ölrettich	2006 Ganzpflanze Mais	2007 Ganzpflanze Wintertriticale	2007 Ganzpflanze Zuckerhirse	2008 Korn Winterroggen
2	2005 Ganzpflanze Sudangras	2006 Ganzpflanze Grünroggen	2006 Ganzpflanze Mais	2007 Korn Wintertriticale	2008 Korn Winterroggen	
3	2005 Ganzpflanze Mais	2006 Ganzpflanze Grünroggen	2006 Ganzpflanze Sudangras	2007 Ganzpflanze Wintertriticale	2007 Ganzpflanze Einj. Weidelgras	2008 Korn Winterroggen
4	2005 Ganzpflanze Sommerroggen + Luzerne-Kleegras	2006 Ganzpflanze Luzerne- Kleegras	2007 Ganzpflanze Luzerne-Kleegras	2008 Korn Winterroggen		
5	2005 Ganzpflanze Hafer	2006 Ganzpflanze Wintertriticale	2007 Korn Winterraps	2008 Korn Winterroggen		
6	2005 Ganzpflanze Sommerroggen	2006 Ganzpflanze Sommerraps	2007 Ganzpflanze Landsberger Gem.	2007 Ganzpflanze Sudangras	2008 Korn Winterroggen	
7	2005 Ganzpflanze Mais	2006 Ganzpflanze Grünroggen	2006 Ganzpflanze Zuckerhirse	2007 Knollen Kartoffel	2008 Korn Winterroggen	
8	2005 Ganzpflanze Sommertriticale	2005 Gründüngung Gelbsenf	2006 Ganzpflanze Sonnenblume	2006 Gründüngung Phacelia	2007 Ganzpflanze Hanf	2008 Korn Winterroggen

Tabelle 2.2: Fruchtfolgen 2. Anlage (Spiegelung) in Trossin 2006-2009

Fruchtfolge: Erntejahr, Nutzung, Kulturart						
1	2006 Ganzpflanze Sommerroggen	2006 Gründüngung Ölrettich	2007 Ganzpflanze Mais	2008 Ganzpflanze Wintertriticale	2008 Ganzpflanze Zuckerhirse	2009 Korn Winterroggen
2	2006 Ganzpflanze Sudangras	2007 Ganzpflanze Grünroggen	2007 Ganzpflanze Mais	2008 Korn Wintertriticale	2009 Korn Winterroggen	
3	2006 Ganzpflanze Mais	2007 Ganzpflanze Grünroggen	2007 Ganzpflanze Sudangras	2008 Ganzpflanze Wintertriticale	2008 Ganzpflanze Einj. Weidelgras	2009 Korn Winterroggen
4	2006 Ganzpflanze Sommerroggen + Luzerne-Kleegras	2007 Ganzpflanze Luzerne- Kleegras	2008 Ganzpflanze Luzerne-Kleegras	2009 Korn Winterroggen		
5	2006 Ganzpflanze Hafer	2007 Ganzpflanze Wintertriticale	2008 Korn Winterraps	2009 Korn Winterroggen		
6	2006 Ganzpflanze Sommerroggen	2007 Ganzpflanze Winterraps	2008 Ganzpflanze Landsberger Gem.	2008 Ganzpflanze Sudangras	2009 Korn Winterroggen	
7	2006 Ganzpflanze Mais	2007 Ganzpflanze Grünroggen	2007 Ganzpflanze Zuckerhirse	2008 Knollen Kartoffel	2009 Korn Winterroggen	
8	2006 Ganzpflanze Sommertriticale	2006 Gründüngung Gelbsenf	2007 Ganzpflanze Sonnenblume	2007 Gründüngung Phacelia	2008 Ganzpflanze Hanf	2009 Korn Winterroggen

Geplant und angelegt wurden beide Fruchtfolgeversuche (Anlage 1 und 2) als Blockanlage mit vier Wiederholungen. Als Parzellengröße wurde 36m² gewählt. In den Parzellen erfolgte eine Kernbeerntung auf 18 m² Fläche.

Die agronomischen Maßnahmen in den Fruchtfolgeversuchen erfolgten nach den Prinzipien der guten fachlichen Praxis. Zur Etablierung der Kulturen wurden standortgeeignete Sorten verwendet (Anhang Tabelle A5). Die Aussaatmenge orientierte sich an den sortenspezifischen Empfehlungen der Züchterhäuser. Jahresabhängig wurden jeweils die agrotechnisch günstigen Saattermine gewählt (Anhang Tabelle A6). Die Aussaat erfolgte mit einer Parzellendrillmaschine vom Typ Hege 80.

Menge und Einsatzzeitpunkt der Düngung (N, P, K) wurde mit Hilfe des sächsischen Beratungsprogrammes BEFU (Albert, E. et al., 2008, www.landwirtschaft.sachsen.de/befu) ermittelt (Anhang Tabelle A1). Der Einsatz der Pflanzenschutzmaßnahmen in den Fruchtfolgen wurde entsprechend dem Befallsdruck unter Berücksichtigung des Schadschwellenprinzips durchgeführt (Anhang Tabelle A2).

Die Wahl des Erntetermins der Energiepflanzen/Marktfrüchte orientierte sich am BBCH-Stadium und dem für die Silierbarkeit erforderlichen Trockensubstanzgehalt der Kulturen (Anhang Tabelle A4). Zur Beerntung der Parzellen wurde Parzellenerntetechnik eingesetzt. Die Ganzpflanzenernte (GP-Getreide, Mais, Sorghumhirse u.a.) erfolgte mit einem Feldversuchshäcksler (Typ Hege). Zur Ernte der Zwischenfrüchte wurde der Fingermähbalken eingesetzt. Zur Kornernte (Getreide, Raps) fand ein Feldversuchsmähdrescher (Hege 160) Anwendung. Aus dem Erntegut wurden je Wiederholung Pflanzenproben zur weiteren Untersuchung (Inhaltsstoffe, Gasanalyse usw.) entnommen.

2.4 Berechnungsgrundlagen

2.4.1 Nährstoffbilanzierung (N, P, K, Mg)

Die Nährstoffbilanzierung bezieht sich auf die Makronährstoffe Stickstoff (N), Phosphor (P), Kalium (K) und Magnesium (Mg). Sie wird auf das jeweilige Erntejahr bezogen und berücksichtigt alle in diesem Jahr geernteten Fruchtarten (Hauptfrucht oder Winterzwischenfrucht bzw. Hauptfrucht und anschließende Sommerzwischenfrucht). Bei den Dauerkulturen werden die Schnitte pro Nutzungsjahr zusammengefasst.

Als Zufuhrgrößen gehen die mineralische Düngung und die N_2-Fixierung durch Leguminosen ein (Richtwerte für die Untersuchung und Beratung sowie zur fachlichen Umsetzung der Düngeverordnung (DüV) der Länder Brandenburg, Mecklenburg-Vorpommern, Sachsen-Anhalt und Sachsen, 2008). Die Nährstoffabfuhr entspricht dem Nährstoffentzug durch die Ernte. Nicht in die Bilanz gehen ein Mulch, Gründüngung (FF 1 und FF 8), Strohdüngung und Wurzeln. Ebenso werden keine Gärrückstände berücksichtigt.

Der Saldo berechnet sich nach folgendem Verfahren:

Nährstoffsaldo	=	Nährstoffzufuhr	-	Nährstoffentzug
N, P, K, Mg		* mineralische Düngung		* durch die Ernte
		* N_2-Fixierung		

2.4.2 Humusbilanzierung

Die Humusbilanzierung in den Fruchtfolgevarianten wird nach der Methode zur Beurteilung und Bemessung der Humusversorgung von Ackerland (Körschens, Rogasik, Schulz, 2004) vorgenommen. Aus dieser Datengrundlage wurden die Koeffizienten zur fruchtartenspezifischen Veränderung des Humusvorrates (Humus-C) für die Berechnung herangezogen. Für die auf die Biogasproduktion ausgerichteten Fruchtfolgeglieder ist ferner unterstellt worden, dass die Gärreste vollständig wieder zu der jeweiligen Fruchtart auf der Anbaufläche ausgebracht werden. Ausgenommen davon sind Luzerne-Kleegras und die für die Gründüngung vorgesehenen Kulturen (Ölrettich FF 1, Gelbsenf und Phacelia FF 8).

Der Anfall an Gärresten wird dabei wie folgt berechnet:

- Berechnung der Biogasausbeute nach biochemischer Zusammensetzung des Erntegutes der jeweiligen Fruchtart
- Umrechnung in kg Biogas/kg organischer Trockensubstanz (oTS)
- Berechnung der Biogasausbeute (kg Biogas) je Kilogramm Trockensubstanz (TS)
- Ermittlung der Gärrestmenge in kg Gärrest/kg TS durch Abzug der Biogasmenge je Kilogramm TS
- Bestimmung des Ertrages an Trockenmasse je Fruchtart unter Beachtung von 15% Silierverlusten
- Gärrestmenge je ha = kg Gärrest/kg TS * TS je Hektar
- aus der bestimmten Gärrestmenge wird durch Standardisierung auf 10% TS die Menge an Gärrestfrischmasse in t/ha errechnet.

Dieser Wert findet Eingang in die Humusbilanz. Für einen definierten Gärrest (10% TS) gilt der Humus-C-Wert von 12 kg C/t FM (Körschens, Rogasik, Schulz et al., 2004).

Die Humusreproduktionskoeffizienten für die Fruchtarten sind dem VDLUFA-Standpunkt (Körschens, Rogasik, Schulz et al., 2004) entnommen. Für Stroh wird der Koeffizient nach den Festlegungen von Cross Compliance (100 kg Humus-C je Tonne Substrat) herangezogen. Die Humus-C-Leistung des Luzerne-Kleegrases wird nach dem "Leguminosenrechner" (Stein-Bachinger, Bachinger, Schmitt, 2004) berechnet.

Weitere Einzelheiten des methodischen Vorgehens sind bei Willms (2008) enthalten.

2.4.3 Theoretische Biogas- und Methanausbeute

Die Berechnung der theoretischen Biogas- und Methanausbeute erfolgt aus den Daten der WEENDER-Futtermittel-Analyse. Danach wurden für die einzelnen Kulturen der Gehalt an:

- Rohasche
- Rohfett
- Rohprotein
- Rohfaser
- N-freien Extraktstoffen

laboranalytisch bestimmt und die entsprechenden Verdaulichkeitskoeffizienten (VQ) für die angeführten organischen Stoffklassen berücksichtigt. Die für die Biogas- und Methanberechnungen bei den einzelnen Kulturarten der Fruchtfolgevarianten herangezogenen Verdaulichkeitskoeffizienten, sind der Anhangstabelle A3 zu entnehmen. Auf der Grundlage dieser Daten und den spezifischen Gasausbeutekoeffizienten für die genannten organischen Stoffgruppen, wurde die Gasausbeute je Kilogramm organischer Trockensubstanz für die Kulturarten berechnet (Schattauer, Weiland, 2006; Döhler, Niebaum et al., 2007). Da nicht von allen Kulturen entsprechende Angaben vorliegen, wurden einige plausible Annahmen getroffen. Für Zuckerhirse ist der VQ von Sudangras übernommen worden. Der mittlere VQ von Winterweizen und Winterroggen bildet den Wert für Wintertriticale.

Bei der Ermittlung des theoretischen Flächenertrages an Biogas und Methan wurden keine Silierverluste berücksichtigt.

3 Ergebnisse

3.1 Frischmasse (FM)- und Trockenmasse (TM)-erträge der Fruchtfolgevarianten

Nach Ablauf der ersten Rotation (2005-2008) zeichnen sich zwischen den Fruchtfolgevarianten deutliche Unterschiede im Gesamtertrag ab (Abbildung 5 und 6, Anhang Tabelle A7 und A8).

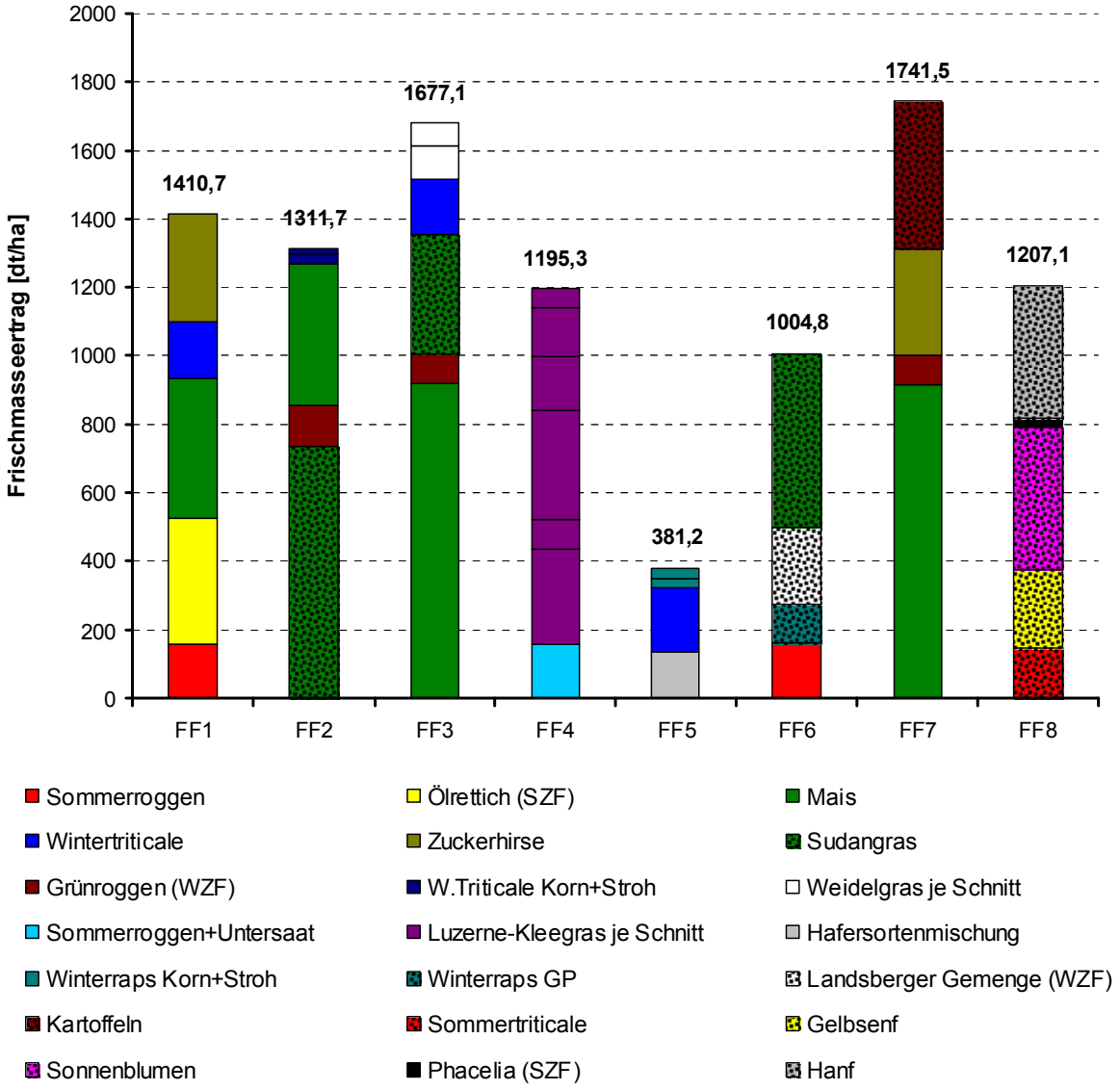


Abbildung 5: Kumulative Frischmasseerträge (dt/ha) im Fruchtfolgeversuch mit Energiepflanzen zur Biogasproduktion am Standort Trossin (Su3, Az 31), Anlage 1, 2005-2007

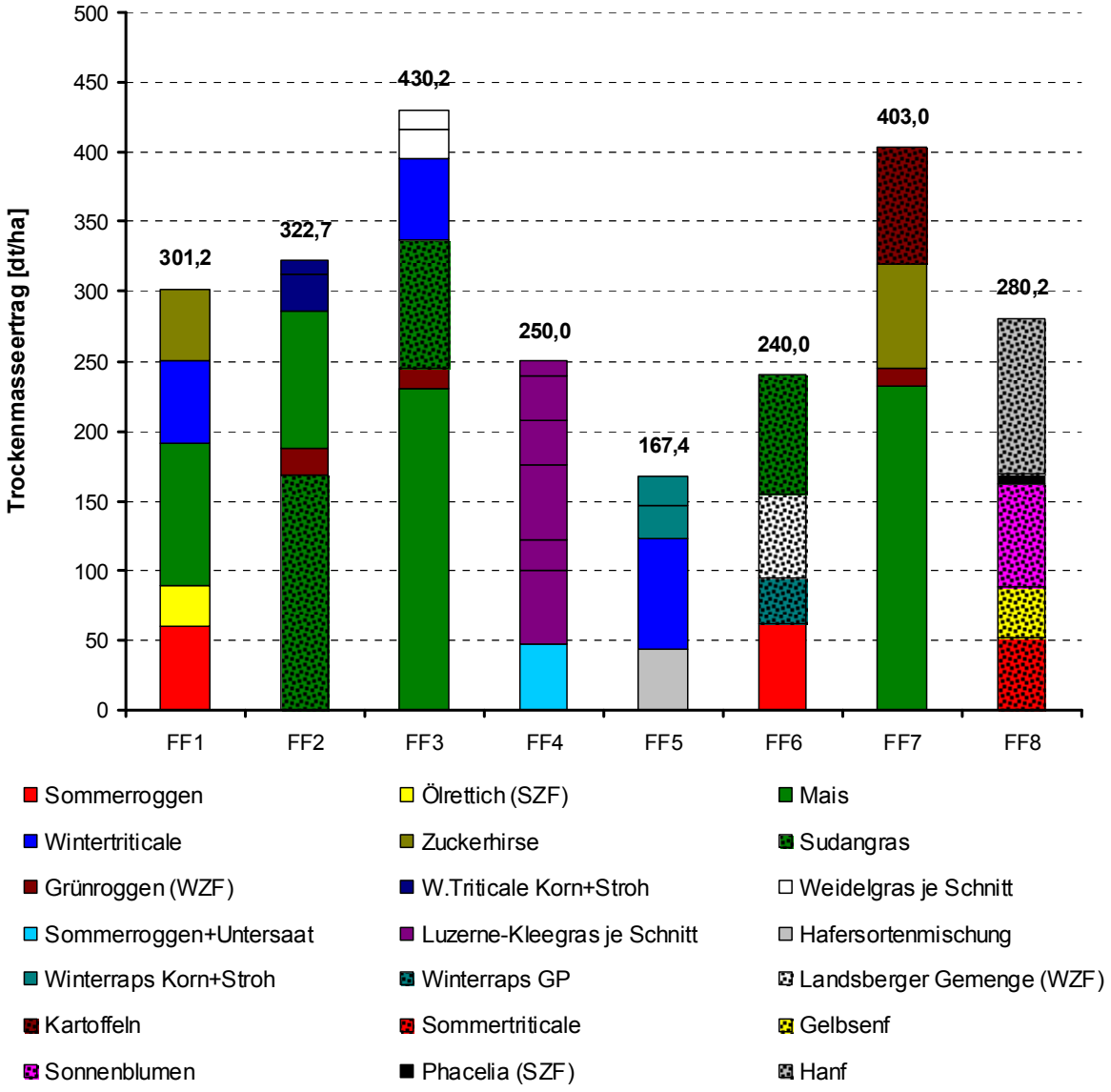


Abbildung 6: Kumulative Trockenmasseerträge (dt/ha) im Fruchtfolgeversuch mit Energiepflanzen zur Biogasproduktion am Standort Trossin (Su3, Az 31), Anlage 1, 2005-2007

Aus dem Vergleich im Versuch Anlage 1 geht hervor, dass das höchste Gesamtertragsniveau an Frischmasse (~1700 dt FM/ha) und Trockenmasse (>400 dt TM/ha) in den Fruchtfolgesystemen 3 und 7 erzielt wurde (Abbildung 5 und 6). Die Analyse der Fruchtfolgeglieder zeigt, dass der Gesamtertrag wesentlich durch die Kulturen Mais, Sorghumhirse und Kartoffeln bestimmt wird (Anhang Tabelle A7 und A8).

In der Fruchtfolge 8 konnte ebenfalls noch ein beachtlicher Gesamtertrag (280 dt TM/ha) nachgewiesen werden. Als ertragsstarke Kulturen, sind hier vor allem der Hanf und Getreideganzpflanzen zu nennen.

Die Luzerne-Kleegras-Fruchtfolge (FF 4) realisierte mit vorgeschaltetem Anbau von Getreide (GP-Nutzung) einen mittleren Gesamtertrag von 250 dt TM/ha. Dabei sind beim Luzerne-Kleegras pro Nutzungsjahr 70 dt TM/ha (2 Schnitte) bzw. 128 dt TM/ha (4 Schnitte) geerntet worden.

Eine mittlere kumulative Ertragsleistung (240 dt TM/ha) wurde auch in der Fruchtfolge 6 ermittelt. Das Ertragsniveau wird hier von Weidelgras und Getreideganzpflanzen (Sommerung) bestimmt.

Aus der Sicht des Gesamttrocken- bzw. Frischmasseertrages wurde das niedrigste Niveau im Fruchtfolgesystem 5 mit einem 50%-igen Anteil an Marktfrüchten (Winterraps, Winterroggen) beobachtet.

In den Fruchtfolgesystemen mit der höchsten Rotationsleistung an Frisch- und Trockenmasse wird erwartungsgemäß auch die höchste jährliche, durchschnittliche Ertragsleistung nachgewiesen (Tabelle 3). Sie liegt zwischen 130 dt TM/ha*a (FF 7) und 103 dt TM/ha*a in der Fruchtfolgevariante 3. Allerdings ist die Produktion an Biomasse mit einer vergleichsweise hohen jährlichen Ertragsschwankung über die Rotation verbunden.

Die Einbindung des mehrjährigen Luzerne-Kleegrases wirkt sich bei mittlerer durchschnittlicher Ertragsleistung (83 dt TM/ha*a) ertragsstabilisierend auf die Rotationsleistung aus (Tabelle 3).

Die Ertragsmaxima und -minima der Hauptfrüchte machen dabei deutlich, dass in den ertragsstarken Fruchtfolgen allerdings eine große Ertragsspreizung besteht. Die ertragsschwächeren Kulturen sind dabei meist Sommergetreideganzpflanzen (Tabelle 3).

Tabelle 3: Durchschnittliche jährliche Ertragsleistung in den Varianten des Fruchtfolgeversuches mit Energiepflanzen zur Biogasproduktion am Standort Trossin (Su3, Az 31), Anlage 1, 2005-2007[1)]

Fruchtfolgevariante	mittlerer jährlicher Ertrag an Trockenmasse	Standardabweichung	Variationskoeffizient	maximaler u. minimaler Ertrag (Hauptfrüchte dt TM /ha)	Spannweite
1	67,98	19,90	29,27	Mais 101,76 - Zuckerhirse 50,29	41,91
2	101,20	53,57	52,29	Sudangras 168,01 - WiTriticale (Korn+Stroh) 36,85	131,16
3	103,98	75,90	72,99	Mais 230,63 - Weidelgras 34,84	195,79
4	83,34	33,86	40,63	Luzerne/Kleegras128,51 - So-Roggen 46,98	81,53
5	55,45	16,97	30,60	WiTriticale GP 79,40 - Hafer GP 43,18	36,22
6	59,99	18,14	30,24	Sudangras 84,99 - SoRaps GP 33,72	51,29
7	129,61	72,12	55,64	Mais 231,46 - Zuckerhirse 74,07	157,39
8	79,01	24,39	30,86	Hanf 111,03 - SoTriticale GP 51,89	59,14

[1)] ohne Schlussfruchtfolgeglied Winterroggen

In dem um ein Jahr versetzt ablaufenden Fruchtfolgeversuch (Anlage 2) erreichten ebenfalls die mais-/sorghumhirsebetonten Fruchtfolgen 1, 2, 3 und 7 das beste Ergebnis bezüglich der kumulativen Trockenmasseleistung (Abbildung 7 und 8).

In beiden Versuchen kristallisiert sich die Fruchtfolge 3 als leistungsstärkstes Anbausystem heraus. Die Fruchtfolgen 1, 2 und 7 bilden weitere Varianten mit einem hohen kumulativen Ertragsniveau. Im Gegensatz zu Anlage 1 übertrafen die Fruchtfolgen 1 und 2 im Spiegelversuch das Fruchtfolgesystem 7 im kumulativen Trockenmasseertrag.

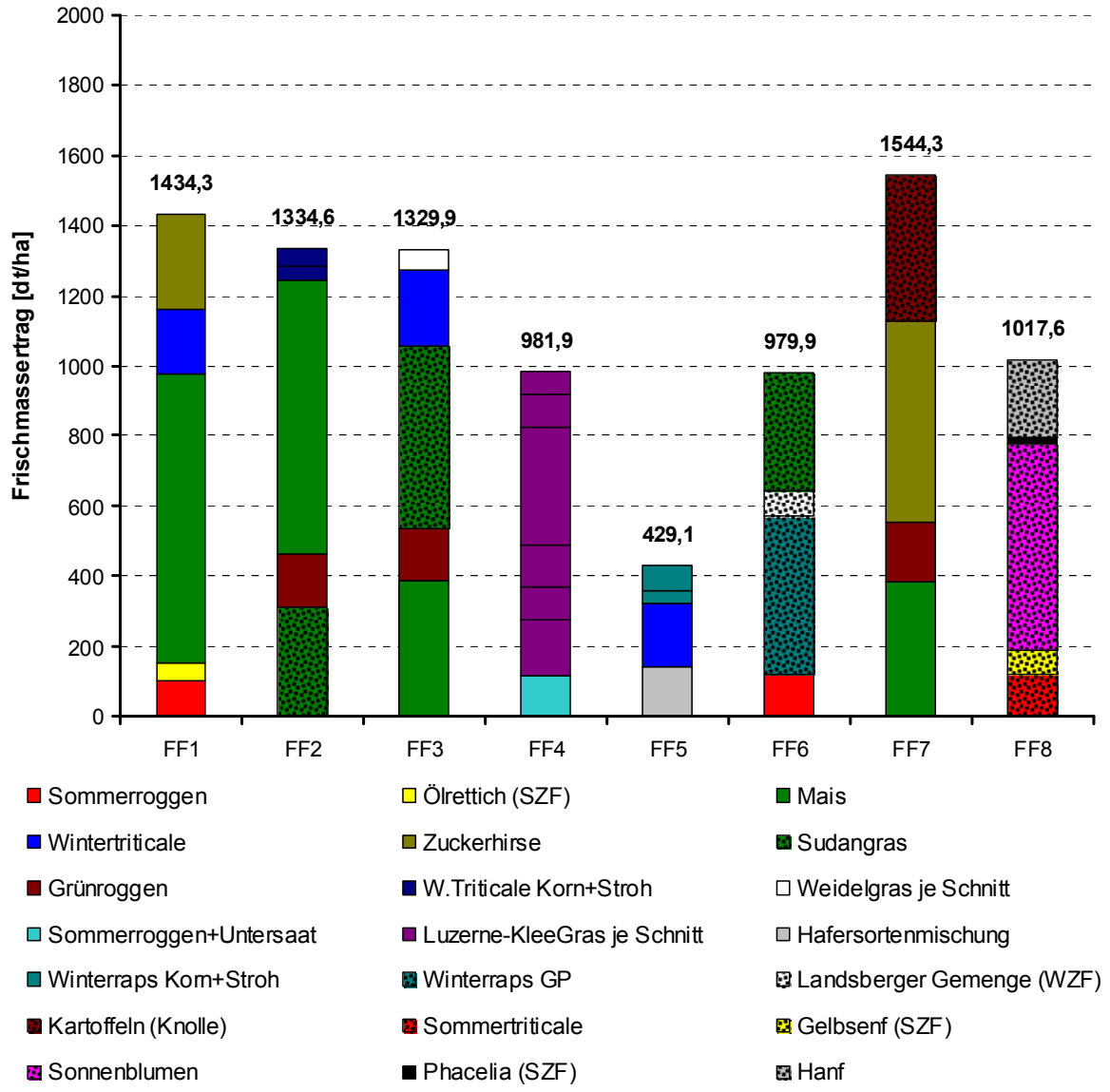


Abbildung 7: Kumulative Frischmasseerträge (dt/ha) im Fruchtfolgeversuch mit Energiepflanzen zur Biogasproduktion am Standort Trossin (Su3, Az 31), Anlage 2, 2006-2008

Ein mittleres Ertragsniveau konnten wiederum die luzernebetonte Fruchtfolge 4 und Fruchtfolge 6 nachweisen. Im Vergleich zum Ergebnis in Anlage 1 verringerte sich der Ertrag in Fruchtfolge 8 auf ein insgesamt niedriges Ertragsniveau. Die marktfruchtorientierte Fruchtfolge 5 erreichte auch im Spiegelversuch den niedrigsten Gesamtertrag an Trockenmasse (Abbildung 7 und 8).

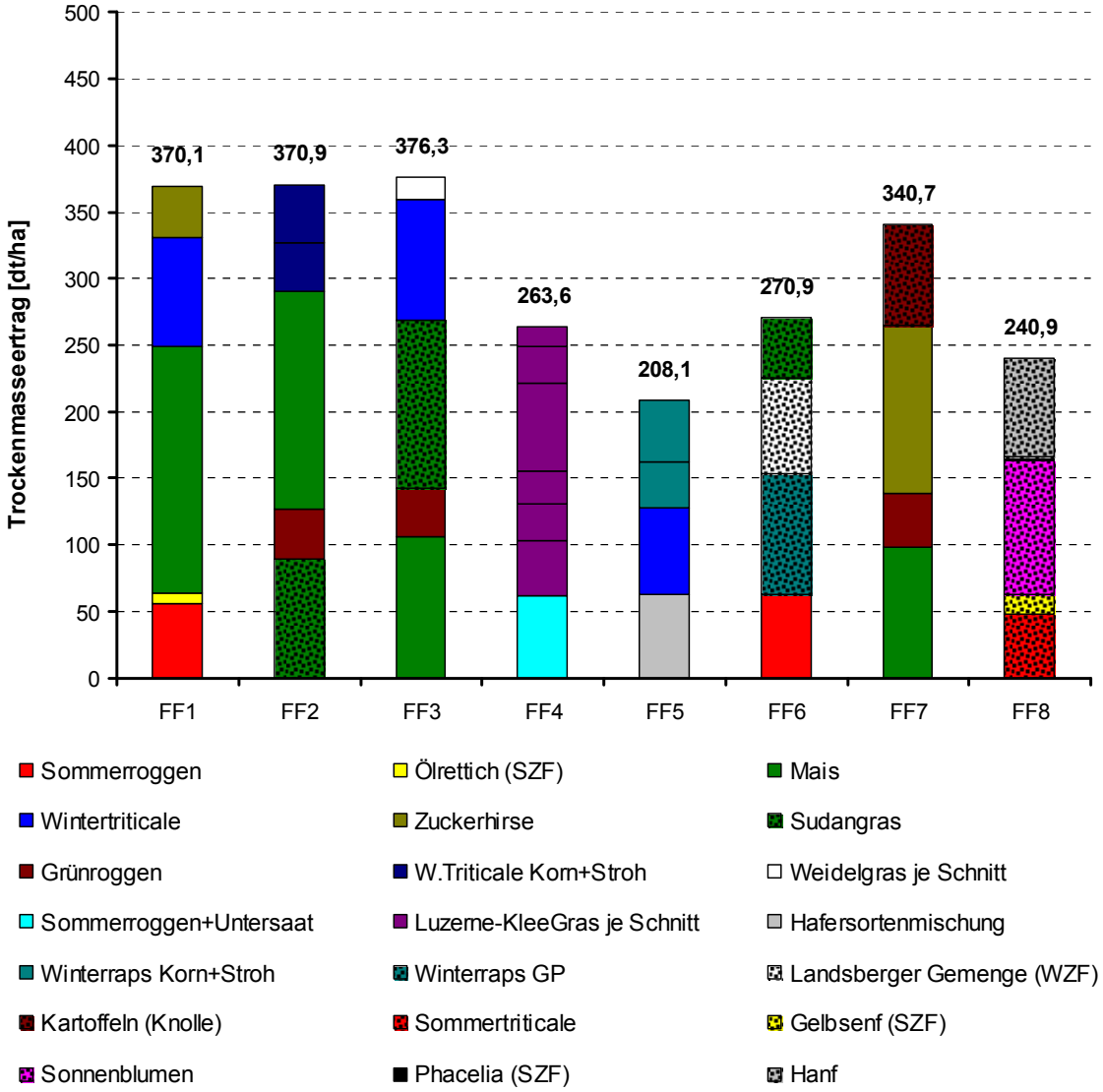


Abbildung 8: Kumulative Trockenmasseerträge (dt/ha) im Fruchtfolgeversuch mit Energiepflanzen zur Biogasproduktion am Standort Trossin (Su3, Az 31), Anlage 2, 2006-2008

Eine spezielle Analyse der Erträge von Mais und Sorghumhirse nach ihrer Haupt- und Zweitfruchtstellung unterstreicht ihre Bedeutung für die Ausbildung einer hohen Gesamtleistung an Trockenmasse in den Fruchtfolgevarianten (Tabelle 4, 5 und 6). Der Energiemais erzielte in Hauptfruchtstellung das höchste Ertragsniveau (140 und 200 dt TM/ha). Im Trockenjahr 2006 konnte er noch einen beachtlichen Ertrag von 100 dt TM/ha erreichen (Tabelle 4 und 5). Die Sorghumhirsen (Sudangras, Zuckerhirse) waren im Rahmen der Fruchtfolge meist in Zweitfruchtstellung nach Grünroggen positioniert. Auch sie erzielen noch ein durchschnittliches Ertragsniveau von ca. 80 dt TM/ha im Versuchsjahr 2006, das durch große Trockenheit gekennzeichnet war. Unter günstigen Witterungsbedingungen (2007) wurden im Zweitfruchtanbau 126 dt/ha Trockenmasse durch Sorghumhirse geerntet (Tabelle 4 und 5). Untersuchungen von Röhricht und Zander (2008) weisen in Trockenjahren auf leichten, diluvialen Böden deutliche Ertragsvorteile für Zuckerhirse gegenüber Mais und Sudangras aus.

Die Trockenmasseerträge der Getreideganzpflanzen (Winterroggen, Wintertriticale) waren deutlich niedriger als bei Mais und Sorghumhirsen. Insbesondere in niederschlagsarmen,

warmen Jahren (2006) ist mit sehr geringen Erträgen zu rechnen. Im Vergleich der Getreidearten schneidet Wintertriticale in der Ganzpflanzennutzung ertraglich besser ab als Winterroggen (Tabelle 6). Die Ergebnisse zeigen die Notwendigkeit auf, spezielle Getreidesorten zur Ganzpflanzenproduktion zu züchten.

Tabelle 4: Trockenmasseerträge für Mais, Sudangras und Zuckerhirse in verschiedenen Varianten des Fruchtfolgeversuches mit Energiepflanzen zur Biogasproduktion am Standort Trossin (Su3, Az 31), Anlage 1, 2005-2007

Art	Jahr	Fruchtfolge	Trockenmasseertrag (dt/ha)	Haupt-/Zweitfrucht	Vorfrucht
Mais	2005	3	230,6	Hf	Beginn
Mais	2005	7	231,5	Hf	Beginn
Mais	2005	10	223,2	Hf	Beginn
Mais	2006	1	101,8	Hf	Ölrettich
Mais	2006	2	98,7	Zf	Grünroggen
Sudangras	2005	2	168,0	Hf	Beginn
Sudangras	2006	3	92,1	Zf	Grünroggen
Sudangras	2007	6	85,0	Zf	Lands. Gem.
Zuckerhirse	2006	7	74,1	Zf	Grünroggen
Zuckerhirse	2006	10	87,1	Zf	Grünroggen
Zuckerhirse	2007	1	50,3	Zf	W-Triticale

Tabelle 5: Trockenmasseerträge für Mais, Sudangras und Zuckerhirse in verschiedenen Varianten des Fruchtfolgeversuches mit Energiepflanzen zur Biogasproduktion am Standort Trossin (Su3, Az 31), Anlage 2, 2006-2008

Art	Jahr	Fruchtfolge	Trockenmasseertrag (dt/ha) (Mittelwert)	Haupt-/Zweitfrucht	Vorfrucht
Mais	2006	3	105,7	Hf	Beginn
Mais	2006	7	98,29	Hf	Beginn
Mais	2007	1	185,0	Hf	Ölrettich
Mais	2007	2	164,2	Zf	Grünroggen
Sudangras	2006	2	89,17	Hf	Beginn
Sudangras	2007	3	126,9	Zf	Grünroggen
Zuckerhirse	2007	7	125,2	Zf	Grünroggen

Tabelle 6: Trockenmasseerträge für Getreideganzpflanzen in verschiedenen Varianten des Fruchtfolgeversuches mit Energiepflanzen zur Biogasproduktion am Standort Trossin (Su3, Az 31), Anlage 1 (2005-2007) und Anlage 2 (2006-2008)

Art	Jahr	Anlage	Fruchtfolge	Trockenmasseertrag (dt/ha) (Mittelwert)	Vorfrucht
Grünroggen	2006	1	2	19,07	Sudangras
Grünroggen	2007	2	2	37,35	Sudangras
Grünroggen	2006	1	3	14,19	Mais
Grünroggen	2007	2	3	36,92	Mais
Grünroggen	2006	1	7	14,13	Mais
Grünroggen	2007	2	7	41,09	Mais
Grünroggen	2006	1	10	13,99	Mais
Wintertriticale	2006	1	5	79,40	Hafer
Wintertriticale	2007	2	5	64,42	Hafer
Wintertriticale	2007	1	1	60,00	Mais
Wintertriticale	2007	1	3	58,43	Sudangras

Im Fazit der Ertragsanalyse in den Fruchtfolgesystemen ist festzustellen, dass die mais- und sorghumhirsebetonten Fruchtfolgen die höchste kumulative Leistung an Frisch- und Trockenmasse erreichen (Karpenstein-Machan, 2005). Eine weitere wichtige Ertragskomponente in leistungsstarken Anbausystemen bilden Getreideganzpflanzen (Wintergetreide) und Gräser. Für vierfeldrige Fruchtfolgen mit Mais, Sorghumhirse und Getreideganzpflanzen als Fruchtfolgeglieder (FF 1, 2, 3 und 7) konnten kumulative Trockenmasseerträge von 370 bis 430 dt TM/ha nachgewiesen werden.

Wie die Analyse des Fruchtfolgesystems 7 deutlich macht, bildet neben Mais und Sorghumhirse auch die Kartoffel ein Fruchtfolgeglied auf den leichten Böden, das die Höhe der Trockenmasseleistung wesentlich mitbestimmt.

Das durch eine hohe Humusreproduktionsleistung gekennzeichnete Luzerne-Kleegras-Anbausystem, zeichnet sich durch eine stabile mittlere Ertragsleistung aus. Es könnte auf sehr leichten Böden mit Humusdefizit Bedeutung erlangen.

3.2 Winterroggenertrag in Kombination mit dem Strohertrag

Die Fruchtfolgevarianten schlossen einheitlich mit Winterroggen (Kornnutzung) ab. Die Ergebnisse liegen für die Versuchsanlage 1 vor. Über die Fruchtfolgevarianten wurde ein mittlerer Kornertrag von 47,6 dt TM/ha mit einer sehr geringen fruchtfolgeabhängigen Streuung von ± 1,26 dt/ha ermittelt. Es konnte hier kein signifikanter Einfluss der Fruchtfolgevarianten auf die Ertragshöhe festgestellt werden (Tabelle 7, Anhang Tabelle A11). Im Vergleich der Korn- und Stroherträge zeigt sich, dass in den Fruchtfolgen 3 und 7, mit den höchsten kumulativen Trockenmasseerträgen über die Rotation 2005-2007, ein mittlerer und leicht über dem Durchschnitt liegender Kornertrag realisiert werden konnte (FF 3). In diesen Fruchtfolgesystemen war nach der Ernte der Vorkultur ein dem standortspezifischen Normal entsprechender N_{min}-Gehalt im Boden vorhanden (Anhang Tabelle A11). Der an sich zu erwartende gute Vorfruchtwert des Luzerne-Kleegrases kommt allerdings nicht in einem erhöhten Korn-

und Strohertrag bei der Abschlusskultur zum Tragen. Dies ist möglicherweise auf den niedrigen N_{min}-Gehalt zum Zeitpunkt der Aussaat zurückzuführen (Anhang Tabelle A11).

Die Stroherträge an Trockenmasse unterscheiden sich zwischen den Fruchtfolgevarianten ebenfalls nur geringfügig. Es wurde ein mittlerer Strohertrag von 50,2 dt TM/ha erzielt, der variantenabhängig mit 1,44 dt TM/ha (Streuung) nur wenig schwankt (Tabelle 7). Auf der Grundlage der Erträge konnte in den Fruchtfolgen ein für Winterroggen typisches Korn-/Strohverhältnis von 1,06 ermittelt werden. Etwas höhere, jedoch nicht statistisch gesicherte, Erträge erzielten die Varianten 5 und 8 des Fruchtfolgeversuches. Die übrigen Fruchtfolgen, mit Ausnahme der Variante 4, bewegen sich im Strohertrag dicht um den Mittelwert.

Damit wird in der Abschlusskultur im Mittel der verschiedenen Rotationen ein Gesamtertrag von 98 dt TM/ha erreicht. Das entspricht einem Energieertrag von 166 GJ/ha (17 MJ/kg TM).

Aus den Ergebnissen ist abzuleiten, dass sich in Fruchtfolgen mit betontem Energiepflanzenanbau Marktfrüchte ohne Ertragsnachteile integrieren lassen. Im Winterroggenanbau zur Kornnutzung konnte ein regionaltypischer Kornertrag in den Fruchtfolgevarianten nachgewiesen werden.

Tabelle 7: Trockenmassertrag des abschließenden Fruchtfolgegliedes Winterroggen im Fruchtfolgeversuch mit Energiepflanzen zur Biogasproduktion am Standort Trossin (Su3, Az 31), 1. Anlage, 2008

Fruchtfolge	1	2	3	4	5	6	7	8
Kornertrag in dt/ha:								
A	47,9	50,1	47,3	42,6	48,0	47,7	52,2	51,1
B	44,1	47,6	44,6	43,2	45,4	45,3	45,1	45,1
C	42,5	46,4	46,7	46,3	46,7	50,1	48,5	47,0
D	47,3	47,9	52,2	51,8	55,0	51,1	51,2	48,9
Mittelwert:	**45,5**	**48,01**	**47,2**	**45,9**	**48,8**	**48,6**	**49,2**	**48,03**
Strohertrag:								
a	49,7	55,4	54,7	49,8	58,8	50,9	56,4	56,4
b	51,0	51,6	45,1	42,2	42,8	41,4	43,7	47,9
c	44,3	43,2	45,6	53,3	49,9	51,2	46,7	49,4
d	55,5	51,4	56,4	50,9	56,7	46,1	54,0	55,3
Mittelwert:	**50,1**	**50,4**	**50,5**	**49,2**	**52,0**	**47,4**	**50,2**	**52,3**

3.3 Nährstoffbilanz

Nährstoffbilanzen bewerten das Verhältnis der im Anbau aufgewendeten und mit der Ernte entzogenen Nährstoffe für einzelne Schläge oder Betriebe. Im Sinne einer nachhaltigen Bewirtschaftung werden möglichst ausgeglichene Bilanzen angestrebt.

Für die Fruchtfolgen der Anlagen 1 und 2 werden nach dem Prinzip der Schlagbilanzierung vereinfachte Berechnungen vorgenommen. Sie bilden das Input-Output-Verhältnis für die in den Varianten getätigten mineralischen Düngergaben an Stickstoff, Phosphor, Kalium sowie Magnesium und den entsprechenden Nährstoffentzügen durch die Ernte ab (Abbildung 6 und 7, Anhang Tabelle A12 und A13).

Aus den Berechnungen geht hervor, dass für die Hauptnährstoffe negative Salden, mit Ausnahme der Luzerne-Kleegras-Fruchtfolge (FF 4) für Stickstoff, festzustellen sind. Dabei zeichnen sich zwischen den Varianten durchaus Unterschiede in der Höhe der negativen Salden ab.

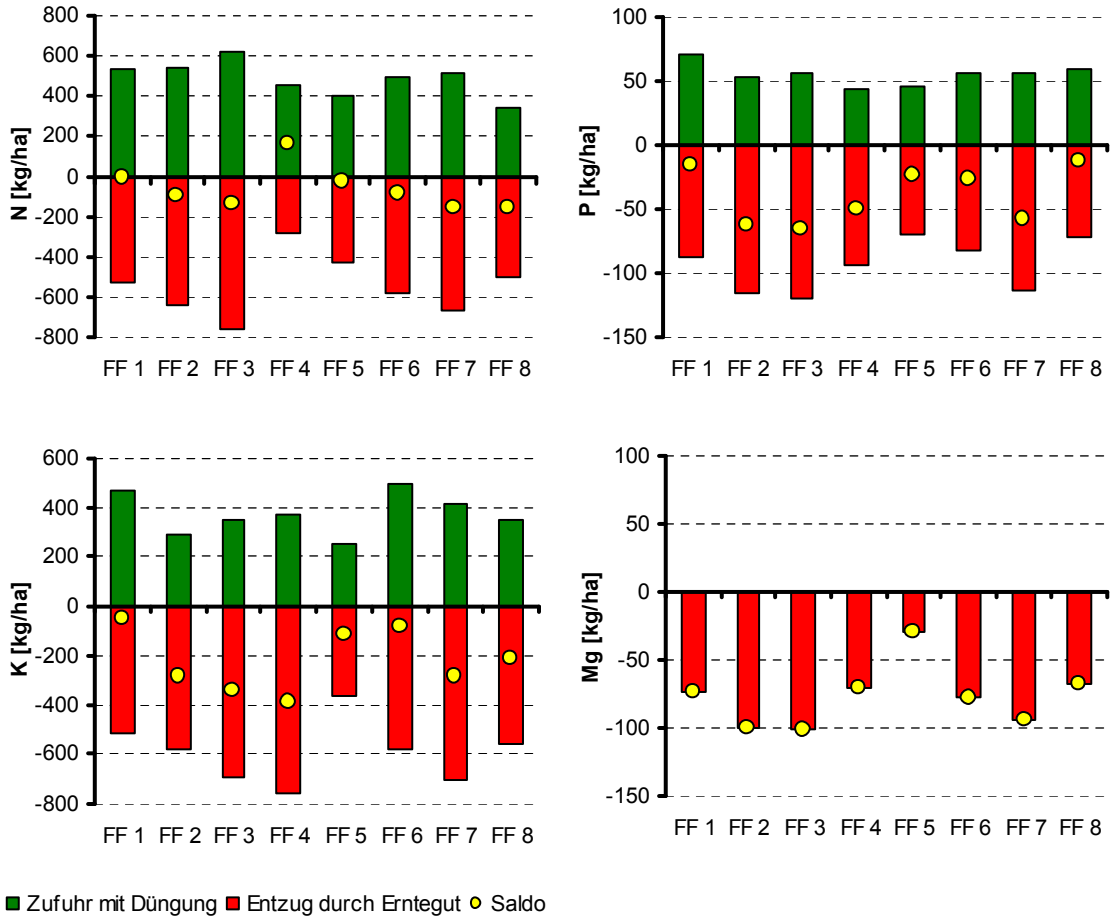


Abbildung 6: Nährstoffbilanzen für N, P, K und Mg im Fruchtfolgeversuch mit Energiepflanzen für die Biogasproduktion am Standort Trossin (Su3, Az 31), Anlage 1 (2005-2008)

Im Verhältnis zur Zufuhr ist in den Fruchtfolgen 3 und 7, bedingt durch das hohe Ertragsniveau, eine starke Abfuhr an Nährstoffen festzustellen. Dies führt zu vergleichsweise hohen negativen Bilanzen in diesen Fruchtfolgen. Das Einschalten einer Gründüngung in die Fruchtfolge (FF 1 und FF 8) verbesserte das Bilanzergebnis deutlich, ohne allerdings das Defizit, besonders bei Stickstoff und Kalium, vollständig zu beseitigen.

Die Luzerne-Kleegras-Fruchtfolge ist in der Lage, die N-Bilanz über die symbiotische N-Bindung deutlich positiv zu gestalten. Durch die hohen Erträge in beiden Nutzungsjahren wurde eine entsprechend intensive symbiotische N-Bindung erreicht.

Deutlich zeichnet sich ab, dass Fruchtfolgesysteme mit Energiepflanzen zur Biogasproduktion über die Ganzpflanzenernte dem System Boden-Pflanze erhebliche Mengen an Stickstoff und Kalium entziehen. Nach dem in beiden Rotationen (Anlage 1 und 2) praktizierten, mineralischen Düngerregime sind die Fruchtfolgen im Sinne eines Nährstoffausgleiches deutlich unterbilanziert. Bei Phosphor, Kalium und Magnesium ist in diesem Zusammenhang zu be-

achten, dass die Böden zu Beginn der Rotation die sehr hohe Versorgungsstufe E in der Ackerkrume aufwiesen. Der hohe Entzug an P, K und Mg macht jedoch deutlich, dass mit Energiefruchtfolgen ein starker Abbauprozess über die Rotationen einhergeht, der eine sorgfältige Kontrolle und das rechtzeitige Einleiten von ausgleichenden Maßnahmen erfordert. Die Rückführung von Gärresten bietet sich hier für Energiefruchtfolgen zur Substratbereitstellung für Biogasanlagen an.

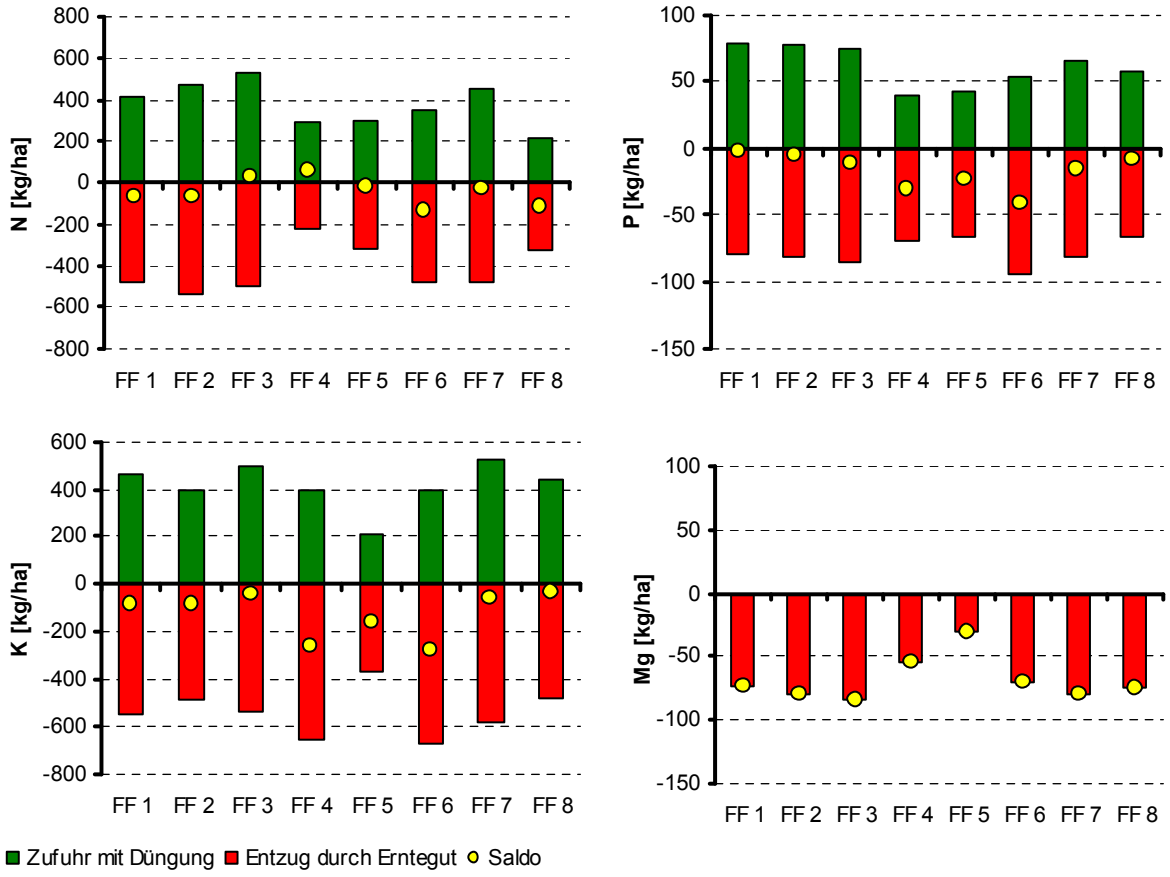


Abbildung 7: Nährstoffbilanzen für N, P, K und Mg im Fruchtfolgeversuch mit Energiepflanzen für die Biogasproduktion am Standort Trossin (Su3, Az 31), Anlage 2 (2006-2008)

3.4 Humusbilanz

Die nach den methodischen Grundsätzen des VDLUFA-Standpunktes (2004) vorgenommenen Bilanzierungen der in den Fruchtfolgevarianten für die Biogasproduktion angebauten Kulturen basieren auf Berechnungen von Willms (2008). Sie führen zu der Aussage, dass die Rückführung der pflanzlichen Gärsubstrate eine wesentliche Grundlage zur Gestaltung ausgeglichener Humusbilanzen in den Energiefruchtfolgen ist.

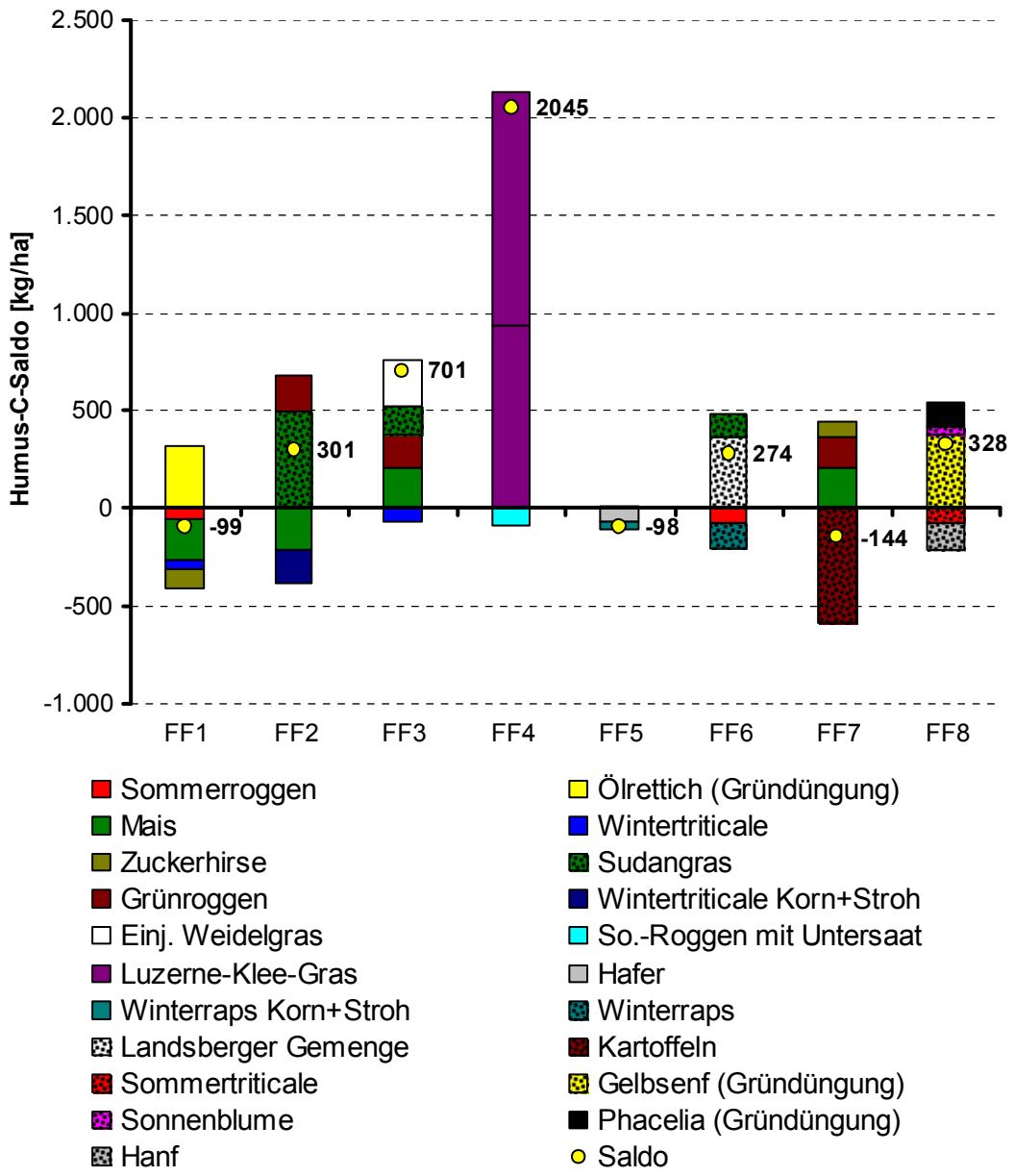


Abbildung 8: Humussaldo für die Varianten des Fruchtfolgeversuches Anlage 1, 2005-2008, ohne Abschlussglied Winterroggen, Standort Trossin (Su3, Az 31)

Wie die Ergebnisse in Anlage 1 zeigen, ergeben sich fruchtfolgeabhängig unterschiedliche Humussalden (Abbildung 8, Anhang Tabelle A16). So ist die Fruchtfolge 1 insgesamt mit -99 kg Humus-C/ha durch einen niedrigen Humussaldo (Gruppe B) geprägt, der nur mittelfristig auf humusreichen Böden tolerierbar ist (Körschens, Rogasik, Schulz, 2004). Die hier anfallenden Gärrückstände vermögen bei gegebener Ertragslage 64-84% der durch Mais, Sorghumhirse und Getreideganzpflanzen abgebauten Humus-C-Mengen zu ersetzen. Einen wichtigen Beitrag zur Verbesserung der negativen Bilanz leistet in diesem Anbausystem der Ölrettich als Gründüngung.

In den Fruchtfolgen 2 und 3, die einen hohen kumulativen Trockenmasseertrag erzielten, fallen größere Mengen an Gärrückständen an. Sie führen bei der Mehrheit der angebauten Kulturen zu hohen bis sehr hohen Humussalden. Sie stellen Luxusbilanzen dar, die nur mit-

telfristig akzeptabel sind bzw. mit Salden >300 kg Humus-C ein erhöhtes Risiko für Stickstoffverluste und niedrige N-Effizienz in sich bergen. In diesen Fruchtfolgen müsste deshalb der hohe Gärresteinsatz zu Sudangras und Mais in der folgenden Rotation reduziert werden.

Der mehrjährige Luzerne-Kleegras-Anbau in Fruchtfolge 4 ist in der Lage, einen sehr hohen Humus-C-Gewinn zu realisieren (Rogasik, Körschens, 2007). Derartige Systeme sind deshalb besonders für sehr humusarme Böden oder Standorte mit hohem negativen Saldo (Versorgungsgruppe A) zu empfehlen.

Bezogen auf die angebauten Energiepflanzen ist in Fruchtfolge 5 eine negative Humusbilanz zu verzeichnen. Hier ist zu beachten, dass in dieser Bilanz von den angebauten Marktfrüchten (Raps, Wintertriticale) nur das Rapsstroh als Humusquelle berücksichtigt wurde. Gleichwohl unterstreichen die Ergebnisse, dass in kombinierten Energie-/Marktfruchtfolgen das Stroh als Humus-C-Quelle im System verbleiben muss, um ausgeglichene Bilanzen zu gestalten. In den regionalspezifischen Fruchtfolgen 6 und 8 wurden positive Humussalden ermittelt, die vor allem dem Anbau von Landsberger Gemenge mit stark positivem Saldo (FF 6) und dem hohen Anteil Gründüngungspflanzen (FF 8) geschuldet sind. Die Integration der Kartoffel als Biogasrohstoff in die Fruchtfolge 7, baut den Humusvorrat des Bodens stark ab (-760 kg Humus-C/ha). Mit dem Einbau der Kartoffel in die Fruchtfolge wird somit ein starker Humusbedarf ausgelöst. Trotz Rückführung der Gärreste kommt in der Fruchtfolge ein negativer Saldo von -144 kg Humus-C/ha zustande. Er verlangt einen höheren Gärresteaufwand (>20 t FM/ha) als im Fruchtfolgesystem unterstellt wurde.

Die humusbilanziellen Untersuchungen in der Spiegelvariante (Anlage 2) beziehen sich auf den Versuchszeitraum 2006-2008 (Tabelle 9, Anhang Tabelle A17). Wie in Anlage 1 konnte in den ertraglich sehr leistungsstarken Fruchtfolgen 2 und 3 durch die vergleichsweise hohen Gaben an Gärrückständen positive Humussalden (Versorgungsstufe E) bilanziert werden. In Fruchtfolge 1 ist ebenfalls, trotz des hohen Anteils an humuszehrenden Kulturen, über den hohen Gärresteinsatz ein optimaler Bilanzwert erreicht worden. Zu vergleichbaren Aussagen gelangen Amon, Machmüller und Kryvoruschko (2007).

Eine sehr hohe, humusanreichernde Wirkung verzeichnete wiederum die Luzerne-Kleegras-Fruchtfolge. Die Bilanzierung der Fruchtfolge 5 erzielte, bedingt durch den hohen Korn- und Strohertrag (45 dt/ha) der Rapskultur, in Verbindung mit der Rückführung der Gärrückstände in Anlage 2 einen positiven Humussaldo, der in Anlage 1 aufgrund des geringeren Rapsertrages nicht erreicht wurde (Anhang Tabelle A16 und A17).

Für die Fruchtfolgen 6 und 8 liefert die Anlage 2 übereinstimmend mit den Ergebnissen der Anlage 1 den Beleg, dass mit der Einbeziehung von Futtergräsern sowie Gründüngungspflanzen, stabil positive Bilanzen (Versorgungsstufe D) zu erreichen sind. Die stark humuszehrende Wirkung des Kartoffelanbaus (FF 7) bedingt eine sehr negative Bilanz. Es erfordert intensiver humusmehrender Maßnahmen, um einer daraus resultierenden, mittelfristig ungünstigen Beeinflussung der Bodenfunktionen und Ertragsleistung entgegen zu wirken.

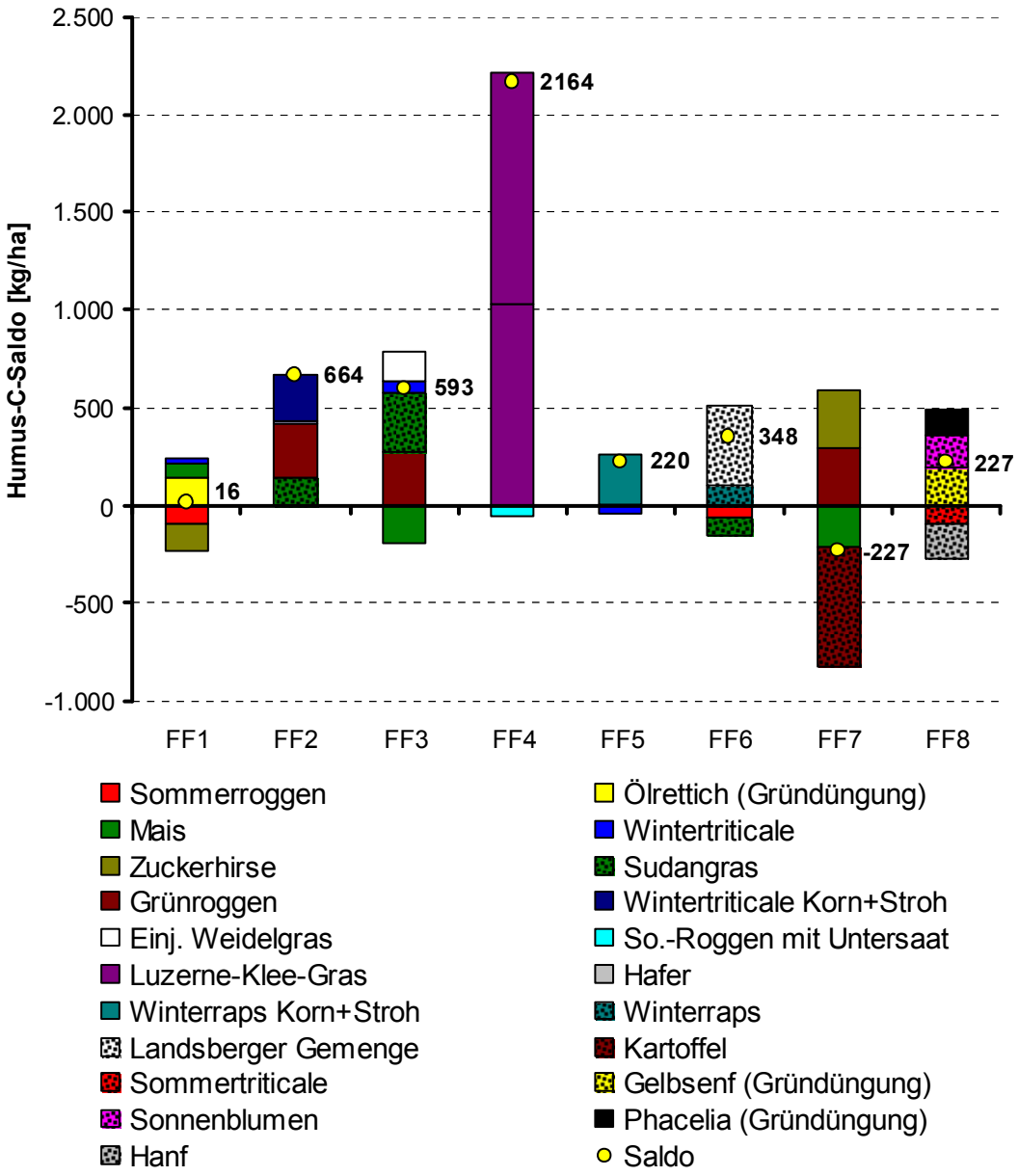


Abbildung 9: Humussaldo für die Fruchtfolgevarianten des Fruchtfolgeversuches Anlage 2, 2006-2008 (Fruchtfolgeglieder 2008, eig. Berechnung nach Willms), Standort Trossin (Su3, Az 31)

Die durchgeführten Humusbilanzen erlauben folgende zusammenfassende Aussagen:

Energiefruchtfolgen mit vorwiegender Ganzpflanzennutzung (Mais, Sorghumhirse, Getreideganzpflanzen, Kartoffel), sind als stark humuszehrende Anbausysteme einzustufen. Im Durchschnitt beträgt der jährliche Humusabbau ca. 200 kg Humus-C/ha*a.

Für eine optimale Humusbilanz (Stufe C - 75 bis 100 kg Humus-C/ha*a) ist ein ausreichender Einsatz organischer Dünger erforderlich, um die Fruchtbarkeit und Ertragsleistung des Bodens langfristig zu erhalten. Hierfür bietet sich in Fruchtfolgen zur Bereitstellung von Biogasrohstoffen die Rückführung von Gärresten an. Wie gezeigt werden konnte, tragen Gärreste wesentlich zur Schließung der Humusdefizite in den Anbausystemen bei. Hier ist ein Aufwand von 20-25 t FM an Gärresten/ha*a mit ca. 10% TS in der FM in den Kulturen einzu-

setzen. Für Fruchtfolgen mit Marktfruchtanteilen (Getreide, Ölfrüchte) ist neben den Gärrückständen der Verbleib des Nebenproduktes Stroh der Marktfrucht als humusbildende Substanzen zwingend geboten.

Für ausgeglichene Bilanzen bieten leistungsstarke Gründüngungspflanzen (Senf, Ölrettich) eine wichtige ergänzende Komponente zum Gärresteinsatz.

Ein hoher positiver Bilanzwert wird in der Luzerne-Kleegras-Fruchtfolge erzielt. Solche Fruchtfolgen sind besonders auf Standorten zu empfehlen, die ein stärkeres Humusdefizit aufweisen.

3.5 Theoretische Biogas- und Methanausbeute

Für die Energiefruchtfolgen Anlage 1 und 2 wurde, auf Basis der Daten der WEENDER-Analyse, der theoretische Biogas- und Methanertrag je Kilogramm organischer Trockensubstanz (oTS) und Hektar berechnet (Abbildung 10.1,10.2, 11.1 und 11.2, Anhang Tabelle A14 und A15).

Zunächst werden die spezifischen Biogas- und Methanerträge der einzelnen Fruchtarten betrachtet. Sie sind von der biochemischen Zusammensetzung der Trockenmasse abhängig. Hier bestehen zwischen den Fruchtarten deutliche Unterschiede.

Über einen sehr hohen Anteil leicht vergärbarer Substanzen (80% N-freie Extraktstoffe, NfE) verfügt die Kartoffelknolle. Ihre spezifische Gas- und Methanausbeute je Kilogramm oTS fällt von den untersuchten Fruchtarten in den geprüften Anbausystemen am höchsten aus. Im Mittel erreicht sie Erträge von 0,781 m³ Biogas/kg oTS mit einem hohen Anteil am wertbestimmenden Methan (CH_4) von 0,418 m³ CH_4/kg oTS. Auch der Futterroggen verfügt über ein hohes Gas- und Methanbildungsvermögen, das im Mittel der Untersuchungen 0,609 m³ Biogas bzw. 0,341m³ Methan/kg oTS beträgt. Bei mittleren Gehalten an N-freien Extraktstoffen (45%) bedingen hier die vergleichsweise hohen Rohproteingehalte von 18% eine höhere spezifische Gasausbeute.

Die hohe Biogas- und Methanleistung von Mais, Getreideganzpflanzen, Gras (Welschem Weidelgras), Landsberger Gemenge, Winterrapsganzpflanze, Zuckerhirse und Sonnenblume spiegeln die je Kilogramm oTS erzielten Ausbeuten von 0,540 bis 0,500 m³ Biogas bzw. 0,270 bis 0,290 m³ Methan wider. Bestimmend hierfür sind vor allem die hohen Gehalte an gut vergärbaren NfE von ca. 60% in der Trockenmasse beim Mais. Bei den übrigen Kulturen sind bei mittleren Gehalten an NfE auch die hohen Rohprotein- (Gräser) und Rohfettwerte (Sonnenblume, Winterraps) ausschlaggebend.

Eine mittlere spezifische Leistung bedingt die biochemische Zusammensetzung des Luzerne-Kleegrases (0,473 m³ Biogas bzw. 0,274 m³ CH_4/kg oTS). Sie ist stark schnittabhängig. Bei späten Schnitten enthält das Luzerne-Kleegras geringe Gehalte (40%) an NfE.

Das Sudangras ist nach seiner biochemischen Zusammensetzung mit einem geringeren Biogas- und Methanpotenzial (0,458 m³ Biogas bzw. 0,251 m³ CH4/kg oTS) ausgerüstet. Dies ist auf den hohen Rohfasergehalt (>30%) und die geringe Konzentration an NfE (<50%) zurückzuführen. Gleiches gilt für Hanf als Ganzpflanze. Er weist sehr hohe Rohfaserwerte (40%) und geringe Gehalte an NfE aus.

Insgesamt bestätigen die Berechnungen im Wesentlichen die in den Richtwerten zum Ausdruck kommende fruchtartenspezifische Rangfolge des spezifischen Biogaspotenzials (Schattauer, Weiland, 2006; Amon, Machmüller, Kryvoruschko, 2007; Döhler, Niebaum, 2007; Amon et al., 2006). In der absoluten Größenordnung bewegen sich die spezifischen Gaserträge teilweise im unteren Bereich der Richtwerte.

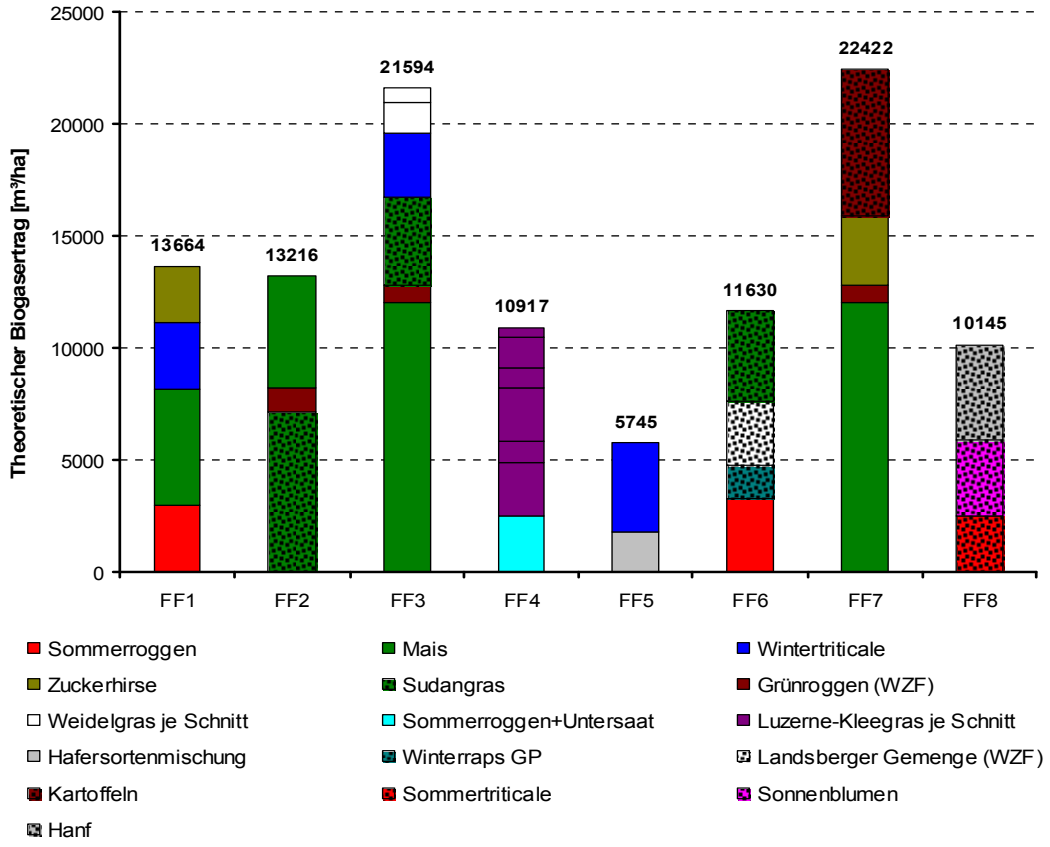


Abbildung 10.1: Theoretische Biogaserträge im Fruchtfolgeversuch mit Energiepflanzen zur Biogasproduktion am Standort Trossin (Su3, Az 31), Anlage 1, 2005-2007

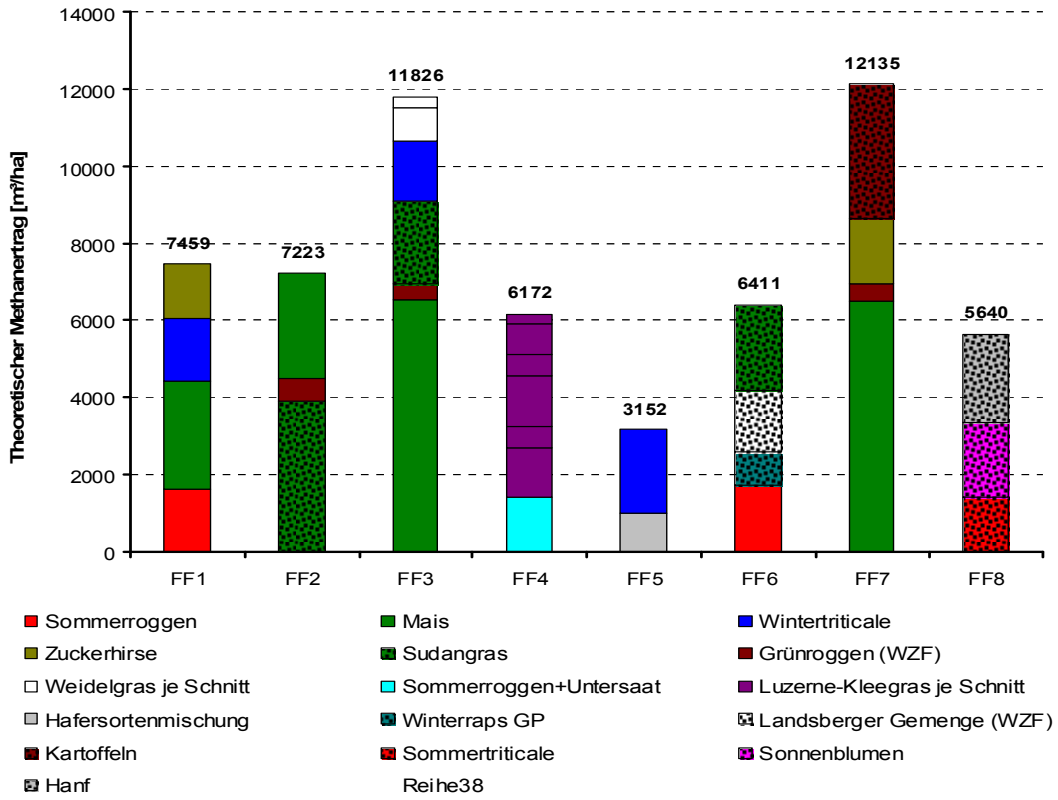


Abbildung 10.2: Theoretische Methanerträge im Fruchtfolgeversuch mit Energiepflanzen zur Biogasproduktion am Standort Trossin (Su3, Az 31), Anlage 1, 2005-2007

Für die Energiegewinnung ist der Flächenertrag an Biogas, vor allem Methan, zu beurteilen. Er ist das Produkt aus der spezifischen Biogas-/Methanleistung und dem Trockenmasseertrag je Hektar. Anhand dieser Kennziffer wird der kumulative Biogas- und Methanertrag der Fruchtfolgesysteme untersucht. Wie aus den Berechnungen hervorgeht, korrespondieren die erreichten Biogas- und Methanleistungen in starkem Maße mit den jeweiligen Trockenmasseerträgen der Fruchtfolgevarianten (Abbildung 10.1, 10.2, 11.1 und 11.2).

Danach erreichten die in der Trockenmasseproduktion leistungsstärksten Fruchtfolgen 3 und 7 (Anlage1) auch die höchsten kumulativen Biogas- und Methanerträge (Abbildung 10.1 und 10.2). Die kumulative Leistung dieser Systeme liegt in der Größenordnung von ca. 21.000 m³ Biogas/ha bzw. 12.000 m³ Methan/ha. Wesentlich wird diese Fruchtfolgeleistung durch den Maisanbau bestimmt.

Ein kumulativer Biogas- und Methanertrag von 13.200 -13.600 m³ Biogas/ha bzw. 7.200–7.400 m³ Methan/ha markiert für die Fruchtfolgen 1 und 2 ebenfalls noch ein hohes Leistungsvermögen. Hier beeinflussen Mais und die Sorghumhirse wesentlich das Gesamtniveau. In diesem Zusammenhang ist die Fruchtfolge 2 ein Beispiel, dass eine hohe Biogasleistung auch bei Integration von Energiepflanzen in Fruchtfolgen zur Nahrungsproduktion möglich ist.

In einem mittleren Leistungsbereich des kumulativen Biogas-/Methanertrages, sind die Fruchtfolgen 4, 6 und 8 mit ca. 11.000 m³ Biogas und 5.000-6.000 m³ Methan/ha im Vergleich der Fruchtfolgevarianten einzuordnen.

Die Fruchtfolge 5 zeigt, dass die Integration leistungsschwächerer Energiepflanzen (Hafer-Ganzpflanzen, Wintertriticale-Ganzpflanzen) als Mais und Sudangras in Fruchtfolgen zur Nahrungsproduktion zu einem geringen Gasertrag führt.

In den beiden Bestfruchtfolgen werden über den Methanertrag von 12.000 m³/ha ca. 10t Heizöläquivalent je Hektar nachhaltig substituiert.

Die hohe Ertragsleistung derartiger Anbausysteme konnte auch in der Spiegelvariante des Fruchtfolgeversuches (Anlage 2) bestätigt werden (Abbildung 11.1 und 11.2).

In den Fruchtfolgevarianten mit höheren Anteilen an Mais, Sorghumhirse, Getreideganzpflanzen sowie Kartoffeln (FF 1, 3, und 7) bewegten sich die kumulativen Erträge an Methan zwischen 9.500 und 10.000 m³/ha, bei Biogaserträgen von 17.500 bis 18.400 m³/ha.

Die Fruchtfolgen 2 (Mais/Sorghumhirse/Marktfrucht), 4 (Luzerne-Kleegras) und 6 (GP-Getreide/GP-Raps/Ackergras/Sorghumhirse) ordnen sich, wie in Anlage 1, in den mittleren Leistungsbereich mit ca. 13.320 m³ Biogas (7.400 m³ Methan) ein.

Auf einem geringeren Niveau siedelt sich das Leistungspotenzial der Fruchtfolge 8 (5.600 m³ Methan) an, die durch einen höheren Anteil Gründüngungspflanzen gekennzeichnet ist.

Ebenso wird deutlich, dass die zu 50% marktfruchtbasierte Fruchtfolge 5 nur ein Potenzial von 6.000 m³ Biogas bzw. 3.200 m³ Methan aufweist. Die Ergebnisse der Fruchtfolge 5 bestätigen auch in der Spiegelvariante, dass bei ausschließlicher Integration von Getreideganzpflanzen (Hafer, Wintertriticale) nur geringe Biogas- und Methanerträge in einer Marktfruchtfolge erreichbar sind.

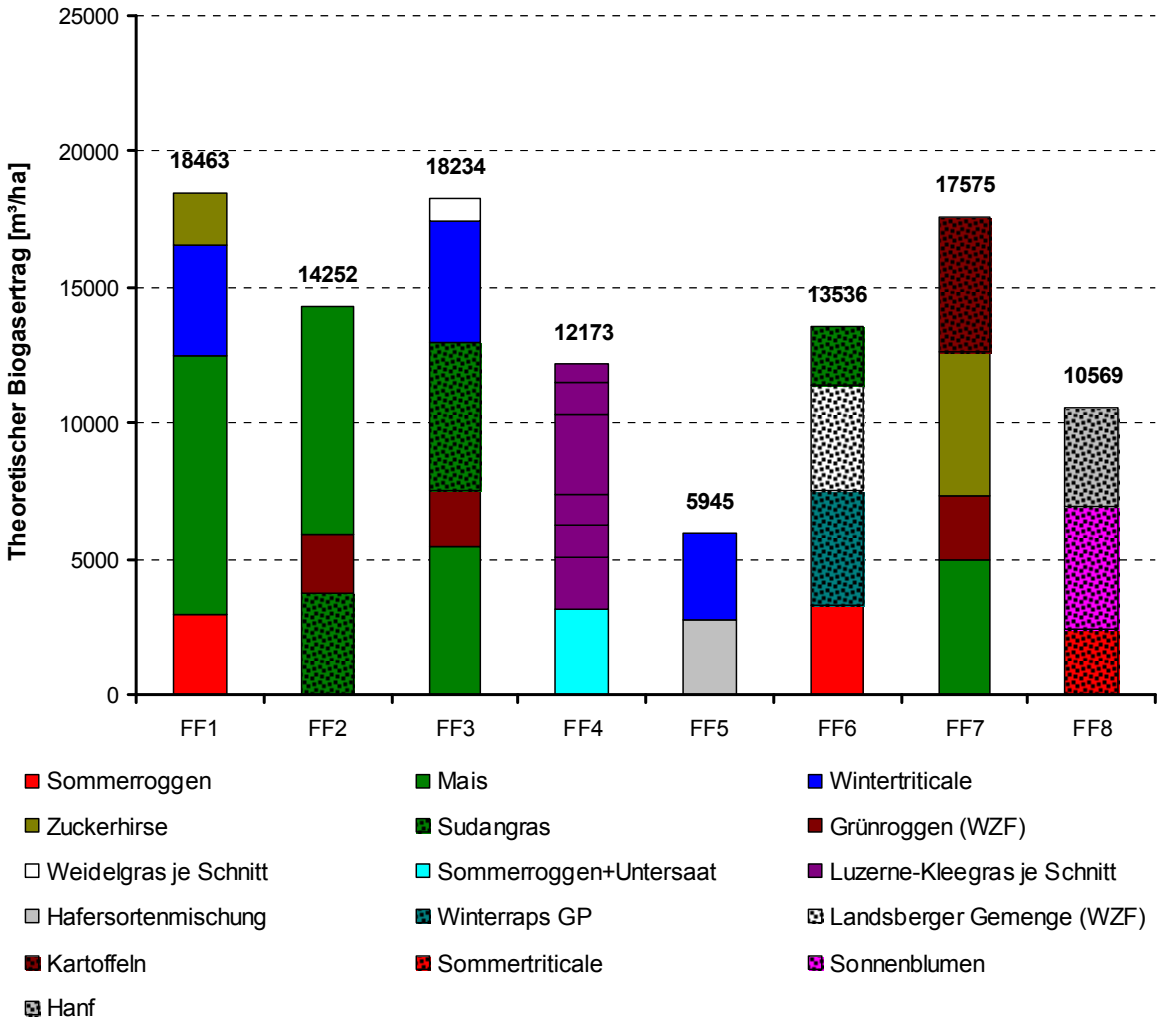


Abbildung 11.1: Theoretische Biogaserträge im Fruchtfolgeversuch mit Energiepflanzen zur Biogasproduktion am Standort Trossin (Su3, Az 31), Anlage 2, 2006-2008

Als Bestfruchtfolgen kristallisierten sich aus beiden Versuchen die Fruchtfolgevarianten 1, 3 und 7 heraus. Charakteristisch für diese Varianten ist ein 40%-iger Mais-/Sorghumhirseanteil sowie ein Anteil von 20% Getreideganzpflanzen oder Kartoffel in der Fruchtfolge.

Das errechnete Methanpotenzial dieser Fruchtfolgen schwankt in Abhängigkeit von den Witterungsverhältnissen, der spezifischen Gasausbeute und dem Ertragsniveau der Fruchtfolgeglieder zwischen 9.500 und 12.600 m³/ha. Im Wesentlichen wird dieses Leistungsvermögen durch folgende Fruchtfolgeglieder bestimmt: Mais 4.400 m³ Methan/ha (±1.683 m³ CH_4/ha), Kartoffel 3.070 m³ Methan/ha (±419 m³ CH_4/ha), Sudangras/Zuckerhirse 2.020 m³ Methan/ha (±703 m³ CH_4/ha) und Getreideganzpflanzen 1.960 m³ Methan/ha (±419 m³ CH_4/ha) (Tabelle A14 und A15). Im Fazit der Untersuchungen können für die leichten Standorte des mitteldeutschen Trockengebietes diese stark auf leistungsfähige Energiepflanzen ausgerichteten Fruchtfolgen empfohlen werden.

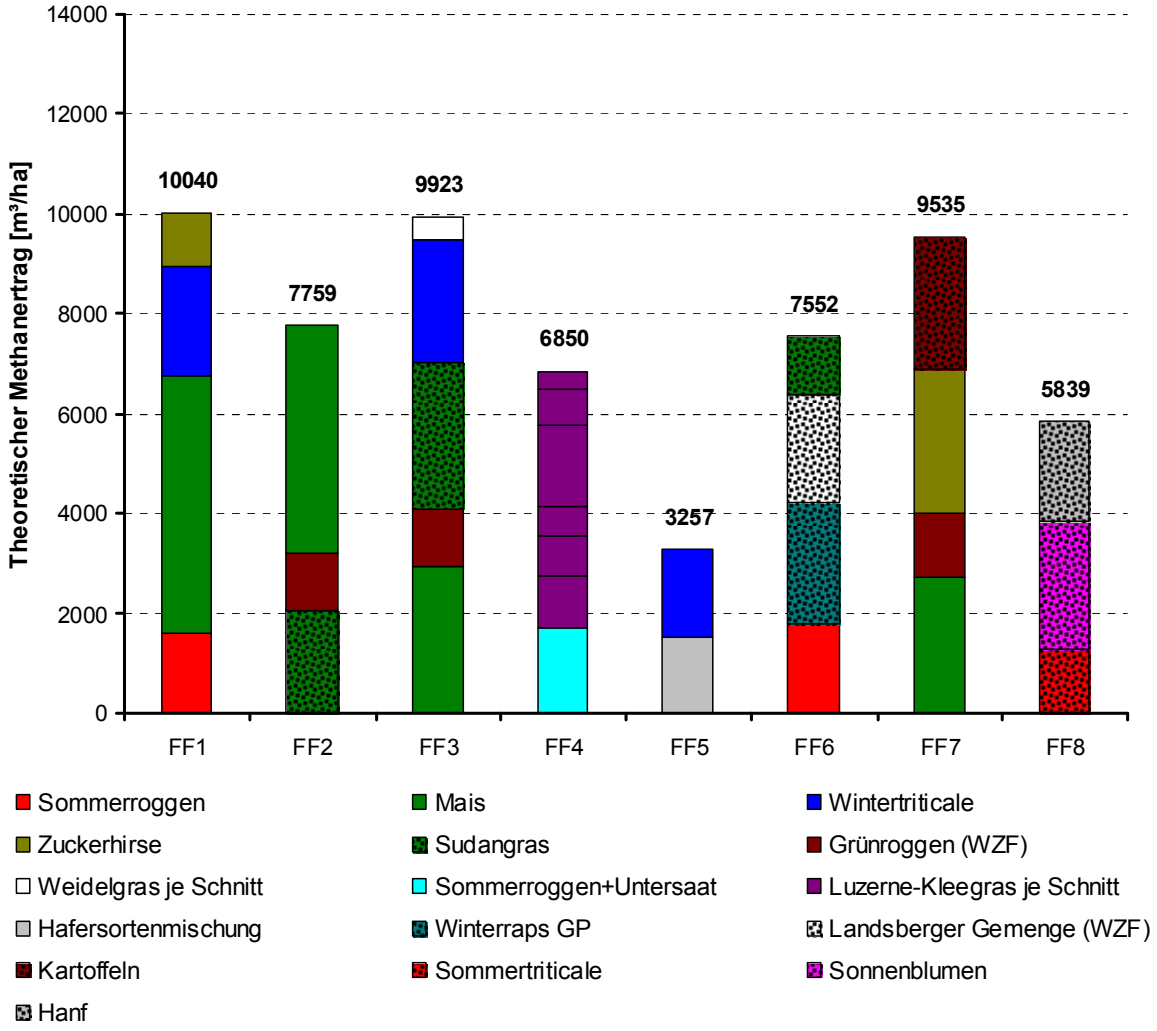


Abbildung 11.2: Theoretische Methanerträge im Fruchtfolgeversuch mit Energiepflanzen zur Biogasproduktion am Standort Trossin (Su3, Az 31), Anlage 2, 2006-2008

3.6 Ökonomische Bewertung

Die ökonomische Analyse fußt auf der Kalkulation der direkten Produktionskosten und den Methanerlösen je Hektar. Sie wurde vom Projektpartner Universität Gießen (Toews) durchgeführt. Bestandteile der direkten Produktionskosten sind die Arbeitserledigungskosten für den Anbau, die Ernte, den Transport, die Silierung und die Gärresteausbringung. Sie wurden auf der Basis der aktuellen Daten der Betriebsplanung 2008 KTBL kalkuliert. Die Preise für Diesel, Heizöl sowie Düngemittel entsprechen den aktuellen Marktbedingungen (Anhang Tabelle A20). Ebenso sind für die Kosten je Tonne Gärsubstrat bestimmte Annahmen getroffen worden.

Der Preis je Kubikmeter Methan wurde über den Preis von 30 €/t Frischmasse berechnet. Die Preise der Marktfrüchte (Winterroggen, Wintertriticale, Winterraps) stellen das Mittel des Zeitraumes 2005-2008 dar (Erzeugerpreise des statistischen Jahrbuches, BMELV, 2007). Weitere Einzelheiten sind dem Anhang (Tabelle A20) zu entnehmen.

Aus der Deckungsbeitraganalyse (DBI) ist zu entnehmen, dass von den angebauten Fruchtarten der Mais den höchsten Deckungsbeitrag realisiert (Tabelle 8 und 9). Ein mehrheitlich positiver Deckungsbeitrag geht auch von den Getreideganzpflanzen aus. Die wirtschaftliche Leistung der Sorghumhirsen weist sowohl positive als auch leicht negative Deckungsbeiträge auf. Danach bewegt sich der Sudangrasanbau in der wirtschaftlich positiven Zone, wenn Erträge >10 t TM/ha erreicht werden (Tabelle 8 und 9).

Durchweg negativ ist das Verhältnis der direkten Produktionskosten zum Methanerlös bei der Winterzwischenfrucht Grünroggen. Wesentlich ist dies auf den geringen Methanertrag pro Hektar zurückzuführen. Bei der Kartoffel bedingen hohe Verfahrenskostenbelastungen, dass der Deckungsbeitrag trotz guter Methanleistung negativ ausfällt.

Auch die aus der Sicht ausgeglichener Humusbilanzen sehr positiv zu bewertenden Fruchtarten Luzerne-Kleegras, Welsches Weidelgras sowie Landsberger Gemenge bilden bei gegebener Ertragslage keinen wirtschaftlich tragfähigen Ansatz im Energiepflanzenanbau (Biogasproduktion). Gleiches gilt für die alternativen Kulturen Sonnenblume und Hanf. Aus dem Kosten-Erlös-Verhältnis dieser Fruchtarten leitet sich ab, dass das Ertragsniveau auf >10 t TM/ha angehoben werden müsste, um den Anbau rentabel zu gestalten. Im Vergleich der in die Fruchtfolgen eingeschalteten Gründüngungspflanzen zeichnen sich für Ölrettich die niedrigsten direkten Kosten je Flächeneinheit ab.

Durch die Eingliederung von Marktfrüchten verbessert sich die Wirtschaftlichkeit der Fruchtfolgesysteme. Unter diesem Aspekt schneidet die marktfruchtorientierte Fruchtfolge 5 am besten ab. Sie erreicht den höchsten Gesamtdeckungsbeitrag (15-183 €/ha je nach Anlage) der geprüften Fruchtfolgen. Von den energiepflanzenbetonten Fruchtfolgevarianten sind die Fruchtfolgen 3 (Grundversuch) und 1 (Spiegelvariante) mit positiven Gesamtdeckungsbeiträgen hervorzuheben. Diese Fruchtfolgen zeichnen sich durch leistungsstarke Kulturarten aus und erzielen die höchsten kumulativen Trockenmasseerträge (Tabelle 8 und 9). In den übrigen geprüften Systemen konnten keine positiven Gesamtdeckungsbeiträge nachgewiesen werden. In diesem Zusammenhang ist zu beachten, dass in der wirtschaftlichen Analyse keine Beihilfezahlungen (Direktzahlungsprämien) berücksichtigt wurden.

Die für die einzelnen Fruchtarten ermittelten direkten Produktionskosten erlauben auch eine überschlägige Kalkulation der produktionsspezifischen Kosten (ohne fixe Kostenanteile) (Anhang Tabelle A18 und A19). Sie zeigen eine deutliche fruchtartenspezifische Differenzierung. Mit vergleichsweise niedrigen Kosten werden danach Mais und Sorghumhirse (15-20 €/t FM) als Biogassubstrat bereitgestellt (Schindler, 2005). Für Getreideganzpflanzen belegen die Untersuchungen deutlich höhere Produktionskosten von 30-37 €/t FM je nach erzieltem Ertragsniveau. Ebenso ist der Winterzwischenfruchtanbau (Grünroggen) mit vergleichsweise hohen Stückkosten (40-50 €/t FM) belastet. Die Kosten für die Bereitstellung von Kartoffeln (40 €/t FM) korrespondieren gut mit Angaben von Keymer und Reinhold (2005).

Die Kosten für Luzerne-Kleegras, Weidelgras und Landsberger Gemenge schwanken stark in Abhängigkeit vom Ertrag je Schnitt. Im Mittel ist hier von Kosten in einer Größenordnung von 25 €/t FM auszugehen. Eine kostengünstige Substratbereitstellung ist übereinstimmend mit Berechnungen von Schindler (2005) durch die Sonnenblume zu verzeichnen.

Insgesamt liefern die Berechnungen den Nachweis, dass sich die Kosten unter den maximalen Bereitstellungskosten bewegen (Keymer, Reinhold, 2005).

Tabelle 8: Deckungsbeitragsanalyse in den Fruchtfolgesystemen zum Energiepflanzenanbau am Standort Trossin (Su3, Az 31), Anlage 1, Zeitraum 2005-2008, nach Toews (2008)

FF	Erntejahr	Art	Ertrag dt/ha	Methan m^3/ha	Erlös €/ha	Saatgutkosten €/ha	Düngerkosten €/ha	PSM €/ha	ArErKosten €/ha	Deckungsbeitrag €/ha
1	2005	So.Roggen	59	1588	476	49	44	55	438	-110
1	2005	Ölrettich	29			44		9	63	-116
1	2006	Mais	102	2881	864	136	80	26	532	91
1	2007	Wi.Triticale	60	1624	487	71	50	38	373	-45
1	2007	Zu.Hirse	50	1327	398	13	61	17	471	-164
1	2008	Wi.Roggen	53		724	34	128	95	330	137
2	2005	Sudangras	168	3920	1176	34	147	97	865	33
2	2006	Grünroggen	19	571	171	55	23		394	-300
2	2006	Mais	99	2795	839	136	77	26	535	65
2	2007	Wi.Triticale	32		451	71	89	38	197	56
2	2008	Wi.Roggen	56		763	34	135	95	332	168
3	2005	Mais	231	6528	1958	136	180	131	975	536
3	2006	Grünroggen	14	425	128	55	17		371	-315
3	2006	Sudangras	92	2185	655	39	79	17	496	24
3	2007	Wi.Triticale	58	1581	474	71	49	38	369	-52
3	2007	Weidelgras	31	837	251	161	46		343	-299
3	2008	Wi.Roggen	55		751	34	133	95	331	158
4	2005	So.Roggen mit Untersaat	46	1256	377	39	35	55	438	-190
4	2006	LuzKleeGr	68	1717	515	90	24	57	491	-146
4	2007	LuzKleeGr	116	2906	872		54	9	806	3
4	2008	Wi.Roggen	54		730	34	129	95	330	142
5	2005	Hafer	43	1056	317	45	40	72	428	-268
5	2006	Wi.Triticale	79	2149	645	51	66		439	88
5	2007	Wi.Raps	27		769	46	141	293	210	81
5	2008	Wi.Roggen	57		776	34	137	147	343	114
6	2005	So.Roggen	61	1660	498	49	46	55	443	-96
6	2006	Wi.Raps	34	887	266	86	38	119	464	-441
6	2007	LaBeGe	54	1463	439	169	91		305	-126
6	2007	Sudangras	85	2016	605	78	73	34	677	-258
6	2008	Wi.Roggen	57		773	34	136	95	332	175
7	2005	Mais	227	6435	1931	136	178	131	968	518
7	2006	Grünroggen	14	421	126	55	17		369	-314
7	2006	Zu.Hirse	81	1901	570	7	56	17	479	10
7	2007	Kartoffel	83	2973	892	1725	53	99	952	-1938
7	2008	Wi.Roggen	58		782	34	138	95	333	182
8	2005	So.Triticale	52	1395	419	55	52	143	446	-278
8	2005	Gelbsenf	37			39		9	63	-111
8	2006	Sonnenblume	74	1883	565	108	83	86	551	-263
8	2006	Phacelia				88			52	-140
8	2007	Hanf	111	2543	763	124	83		586	-30
8	2008	Wi.Roggen	56		763	34	135	95	332	168

PSM - Pflanzenschutzmittel, ArErKosten - Arbeitserledigungskosten

Tabelle 9: Deckungsbeitragsanalyse in den Fruchtfolgesystemen zum Energiepflanzenanbau am Standort Trossin (Su3, Az 31), Anlage 2, Zeitraum 2006-2008, nach Toews (2008)

FF	Erntejahr	Art	Ertrag	Methan	Erlös	Saatgut-kosten	Dünger-kosten	PSM	ArEr-Kosten	Deckungsbei-trag
			dt/ha	m^3/ha	€/ha	€/ha	€/ha	€/ha	€/ha	€/ha
1	2006	So.Roggen	56	1528	458	49	43	10	391	-35
1	2006	Ölrettich	8			44	0		73	-117
1	2007	Mais	185	5237	1571	136	145	52	856	383
1	2008	Wi.Triticale	82	2219	666	68	69	79	412	37
1	2008	Zu.Hirse	39	1029	309	13	47	17	462	-230
2	2006	Sudangras	89	2080	624	39	78	17	546	-56
2	2007	Grünroggen	37	1119	363	55	45	35	381	-179
2	2007	Mais	164	4649	1395	136	128		791	339
2	2008	Wi.Triticale	42		598	68	118	95	231	86
3	2006	Mais	106	2993	898	136	83	26	591	62
3	2007	Grünroggen	37	1106	332	55	44	35	380	-181
3	2007	Sudangras	127	3011	903	39	109	17	623	115
3	2008	Wi.Triticale	91	2449	735	68	76	79	433	79
3	2008	Weidelgras	15	391	117	140	21	17	217	-278
4	2006	So.Roggen mit Untersaat	61	1661	498	42	46	10	397	3
4	2007	LuzKleeGr	84	2121	636	90	39	9	619	-119
4	2008	LuzKleeGr	98	2462	739		38		597	103
5	2006	Hafer	63	1549	465	49	58	26	424	-89
5	2007	Wi.Triticale	64	1743	523	55	54	85	417	-25
5	2008	Wi.Raps	38		1107	50	202	225	264	365
6	2006	So.Roggen	63	1712	514	49	48	10	401	6
6	2007	Wi.Raps	90	2375	712	50	102	289	647	-375
6	2008	LaBeGe	64	1743	523	159	108		485	-229
6	2008	Sudangras	46	1089	327	76	39	81	581	-451
7	2006	Mais	98	2782	835	136	77	26	591	6
7	2007	Grünroggen	41	1231	369	55	49	35	391	-160
7	2007	Zu.Hirse	125	2954	886	7	88	17	662	112
7	2008	Kartoffel	76	2716	815	1725	49	178	959	-2096
8	2006	So.Triticale	48	1300	390	55	49	41	404	-159
8	2006	Gelbsenf	14			39	0		73	-112
8	2007	Sonnenblume	101	2568	770	108	113	126	728	-304
8	2007	Phacelia				92	0		73	-165
8	2008	Hanf	75	1711	513	120	56		482	-145

PSM - Pflanzenschutzmittel, ArErKosten - Arbeitserledigungskosten

3.7 Anbauempfehlungen für die Region

Die Untersuchungen zum Energiepflanzenanbau in speziellen Fruchtfolgen liefern den Nachweis, dass sich auf leichten Böden in niederschlagsarmen Regionen Mitteldeutschlands standortbezogen hohe Erträge unter Beachtung ökologischer und ökonomischer Erfordernisse realisieren lassen.

Im Ergebnis der Prüfungen wird empfohlen, den Anbau in fünfgliedrigen Fruchtfolgen vorzunehmen. Als ertragsstarke und ertragsstabile Energiepflanzen haben sich dabei Energiemais, Sudangras, Zuckerhirse und Kartoffeln bewährt. Sie sollten zu 30 bis maximal 60% in der Fruchtfolge berücksichtigt werden. Von ökologischem (Humushaushalt) und ökonomischem Vorteil ist dabei der Aufbau von Fruchtfolgesystemen, die sowohl leistungsstarke Energiepflanzen als auch Nahrungspflanzen enthalten.

Mit den leistungsfähigsten Fruchtfolgen sind auf den leichten Böden kumulative Trockenmasseerträge von 370-430 dt TM/ha für die Biogasproduktion möglich. Nach Berechnungen können durch diese Anbausysteme 9.000-12.000 m³ Methan/ha (kumulativ) erzeugt werden. Die Höhe des Gesamtertrages an Trockenmasse und Methan wird dabei wesentlich durch die Fruchtfolgeglieder Mais, Sudangras, Zuckerhirse, Kartoffel und Ganzpflanzengetreide bestimmt. Von diesen Kulturen geht auch die stärkste Gewinnerwartung, gemessen an den Rohstoffbereitstellungskosten (direkte Kosten) und Methanerlösen je Hektar, in den Fruchtfolgesystemen aus. Ebenso wirkt sich der Getreideanbau als Abschlusskultur der Fruchtfolge positiv auf die Ökonomie aus.

In Hauptfruchtstellung (HF), aber auch in Zweitfruchtstellung (ZF), schnitt Mais in der Ertragsleistung am besten ab (168 dt TM/ha HF; 131,4 dt TM/ha ZF), gefolgt von Sudangras (128,6 dt TM/ha HF; 107,3 dt TM/ha ZF) und Zuckerhirse (84,2 dt TM/ha ZF). Die Kartoffel erreichte einen Ertrag von 100 dt TM/ha (Knollen).

In Haupt- und Zweitfruchtstellung wirken die Sorghumhirsen unter niederschlagsarmen und warmen Witterungsbedingungen ertragsstabilisierend und mindern das Ertragsrisiko. Sie sollten deshalb in Energiefruchtfolgekonzepten auf leichten Böden in niederschlagsarmen Regionen angemessen berücksichtigt werden. Für den Zweitfruchtanbau sind auf den leichten Böden frühräumende Vorfrüchte, wie Grünroggen oder Wintertriticale (früher Erntezeitpunkt) zu empfehlen. Nach Landsberger Gemenge zeigten sich für die Nachkultur oft schwierige Aufgangsbedingungen durch ein ungenügend abgesetztes Saatbett. Es erreicht aber mittlere bis hohe Gaserträge und verbessert den Humus-C-Vorrat.

Die luzerne-kleegrasgeprägte Fruchtfolge weist durch die mehrschnittige Nutzung hohe Kosten und einen vergleichsweise geringen Gewinn je Flächeneinheit auf. In dieser Bewertung sind allerdings Fruchtfolgevorteile, wie Düngerersparnis und Vorfruchteffekte, nicht berücksichtigt. Die Eingliederung von Luzerne-Kleegras bietet Vorteile für den Nährstoff- und Humushaushalt leichter, diluvialer Böden. Günstig ist dabei eine zweijährige Nutzung. Allerdings zeigen die Erträge eine starke Schwankungsbreite in Abhängigkeit von den jährlichen Aufwuchsbedingungen (70 dt TM/ha bei zwei Schnitten, 130 dt TM/ha bei vier Schnitten). Der Anbau ist besonders auf Standorten zu empfehlen, die in der Humusbilanz sehr niedrige Humussalden aufweisen.

Die berechneten Humus- und Nährstoffbilanzen belegen, dass durch den Energiepflanzenanbau ein starker Abbau der bodenfruchtbarkeitsbestimmenden Parameter (Humus-C, N, P,

K und Mg) stattfindet. Zum notwendigen Ausgleich sind anhand der Untersuchungen komplexe Maßnahmen in den Fruchtfolgen zu empfehlen:

- Mineraldüngergaben nach guter fachlicher Praxis
- Rückführung qualitativ hochwertiger Gärreste
- Integration von 1-2 Gründüngungspflanzen (z.B. Ölrettich, Gelbsenf) in die Fruchtfolge
- Integration von Marktfrüchten und Verbleib der Nebenprodukte auf dem Feld

4 Zusammenfassung

Auf leichten, diluvialen Böden Mitteldeutschlands (D-Süd-Standorte der Roggen-Kartoffel-Region mit im langjährigen Durchschnitt geringen Jahresniederschlägen (550mm) und hohen Jahresdurchschnittstemperaturen von 9,2°C) wurden acht verschiedene Fruchtfolgesysteme mit Energiepflanzen zur Biogasproduktion bezüglich ihrer Ertrags- und Biogasleistung im Zeitraum 2005-2008 untersucht. Der gewählte Versuchsstandort Trossin (Versuchsstation der biochem agrar GmbH Gerichshain) spiegelt repräsentativ diese bodenklimatischen Bedingungen wider.

In den Fruchtfolgen wurden sowohl traditionelle Kulturarten des Futterpflanzenanbaus (Mais, Getreideganzpflanzen) als auch neue Pflanzen (Sudangras, Zuckerhirse) aufgenommen. Sie wurden je nach Fruchtfolgevariante in Haupt- bzw. Zweitfruchtstellung integriert. Ebenso wurden mit Kartoffel, Luzerne-Kleegras, Hanf und Sonnenblume weitere traditionelle, aber auch alternative Kulturen als Fruchtfolgeglieder erprobt. Den Abschluss der fünfgliedrigen Fruchtfolgen bildet der Anbau von Winterroggen als Marktfrucht.

Im Ergebnis der Untersuchungen ist festzustellen, dass unter diesen Standortbedingungen die leistungsfähigsten Fruchtfolgevarianten kumulative Trockenmasseerträge von 370 bis zu 430 dt TM/ha erreichten. Über diese Anbausysteme sind theoretische Methanleistungen von insgesamt 12000 m³ Methan/ha möglich.

Den Gesamtertrag an Trockenmasse und Biogas/Methan bestimmen dabei wesentlich die Fruchtfolgeglieder Energiemais, Sudangras und Zuckerhirse aber auch Kartoffeln. Sie nehmen in den leistungsstarken Fruchtfolgen einen Anteil von 30 bis zu 60% ein.

Mais und Sorghumhirsen (Sudangras, Zuckerhirse) können dabei sowohl in Haupt- als auch in Zweitfruchtstellung integriert werden, wobei die Hauptfruchtstellung zu ca. 20% höheren Erträgen gegenüber der Zweitfruchtvariante führte.

Bei der Eingliederung des Getreideganzpflanzenanbaus in die Energiefruchtfolgen sind die winterannuellen Arten (Wintertriticale, Winterroggen) den Sommerarten (Sommerroggen, Sommertriticale, Hafer) vorzuziehen. Sie erreichten stabil höhere Erträge (16% Mehrertrag).

Für den Zweitfruchtanbau auf leichten Böden bilden frühräumende Vorfrüchte (Grünroggen) günstigere pflanzenbauliche Voraussetzungen als z. B. Landsberger Gemenge.

Auf den Ertrag der Abschlusskultur Winterroggen hatte der Energiepflanzenanbau keinen signifikanten Einfluss. Es konnte in allen Fruchtfolgevarianten ein regionaltypisches Ertrags-

niveau von 48 dt TM absolut/ha Korn und 50 dt TM absolut/ha Stroh erzielt werden. Von der Luzerne-Kleegrasgeprägten Fruchtfolge ging dabei keine signifikant bessere Vorfruchtwirkung als von den anderen Varianten aus. Hier sind die Langzeiteffekte zu prüfen.

Die Energiefruchtfolgesysteme zeigten, mit Ausnahme der Luzerne-Kleegras-Fruchtfolge, eine starke Inanspruchnahme des Humus- und Nährstoffhaushaltes des Bodens. Aus den Bilanzierungen geht hervor, dass zur Sicherung eines ausgeglichenen Saldos mehrere Maßnahmen erforderlich sind. Neben einer durch Beratungsprogramme gestützten Mineraldüngung ist auch die Rückführung der Gärreste als wichtiger Humus-C- und Nährstofflieferant in den Fruchtfolgesystemen zwingend notwendig. Eine weitere Quelle, zur Stabilisierung des Humus- und Nährstoffhaushaltes in den Energiefruchtfolgen, bildet die Gründüngung. Hier erreichten Gelbsenf und Ölrettich gute Erträge, während Phacelia im Ertrag deutlich schwächer abschnitt. Bei Integration von Marktfrüchten (Getreide, Raps) in Energiefruchtfolgen, ist der Verbleib von Nebenprodukten dieser Kulturen im System für ausgeglichene Bilanzen notwendig.

Die Wirtschaftlichkeit der Fruchtfolgeglieder basiert auf der Gegenüberstellung der Methanleistung je Hektar (30 cent/m³ CH_4) und den anfallenden direkten Kosten des Anbaus, der Silierung und des Transportes, einschließlich der Gärrestlagerung und -ausbringung. Hier sichert die marktfruchtorientierte Fruchtfolge 5 (50% Marktfruchtanteil) bei einem Marktpreisniveau der letzten Jahre (2005-2008) einen hohen positiven Gesamtdeckungsbeitrag.

Von den energiepflanzenbetonten Fruchtfolgen zeichnen sich nur die Fruchtfolgen 1 und 3 durch einen positiven Gesamtdeckungsbeitrag aus. Dies ist auf die günstige Kosten-/Ertragsrelation vor allem von Mais aber auch Getreideganzpflanzen sowie Sorghumhirse zurückzuführen.

5 Literaturverzeichnis

Albert, E. et al. (2007): Umsetzung der Düngeverordnung, Hinweise und Richtwerte für die Praxis. Freistaat Sachsen, Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft

Amon et al. (2006): Optimierung der Methanerzeugung aus Energiepflanzen mit dem Methanenergiewertsystem. Berichte aus der Energie- und Umweltforschung, 80/2006

Amon, Th., Machmüller A., Kryvoruschko V. (2007): Optimierung der Methanausbeute aus Zuckerrüben, Silomais, Körnermais, Sonnenblumen, Ackerfutter, Getreide, Wirtschaftsdünger und Rohglycerin unter den Standortbedingungen der Steiermark. Forschungsprojekt Nr. 1421, Endbericht 31. März 2007, Universität für Bodenkultur, Wien

Döhler, H., Niebaum, A. et al. (2007): Faustzahlen Biogas. Hrsg.: Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V. (KTBL), Darmstadt

Fachagentur für nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR), Gülzow

Erzeugerpreise des statistischen Jahrbuches, BMELV, 2007

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

Keymer, U., Reinhold, G. (2005): Bereitstellungskosten von Kofermenten. In: Handreichung Biogasgewinnung und -nutzung, Hrsg.: Fachagentur für nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR), Gülzow

Körschens, M., Rogasik, J., Schulz, E. et al. (2004): Humusbilanzierung, Methode zur Beurteilung und Bemessung der Humusversorgung von Ackerland. Verband Deutscher landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten (VDLUFA)

KTBL (2008): Betriebsplanung 2008/09

Röhricht, C. (2008): Untersuchungen zum Anbau von Energiefruchtfolgen und Sorghumhirse für die Biogasproduktion auf leichten Standorten. Fachveranstaltung zum Energiepflanzenanbau am 01.09.2008 in Trossin, Sächsisches Landsamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie, www.smul.sachsen.de/lfulg/8499.htm

Röhricht, C., Freydank, S. (2008): Vergleich von Fruchtarten und Fruchtfolgen in Trossin (Roggen-Kartoffel-Region). In: Vetter et al. (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". Hrsg.: Fachagentur für nachwachsende Rohstoffe e.V. Gülzow

Röhricht, C., Schröder, S., Freydank, S. (2008): Ergebnisse sächsischer Energiefruchtfolgeversuche aus der Dübener Heide. Bauernzeitung, Heft 25, 20. Juni 2008

Röhricht, C., Zander, D. (2008): Anbau und Nutzung von Energiehirse. Schriftenreihe der Sächsischen Landesanstalt für Landwirtschaft, Heft 2

Schattauer, A., Weiland, P. (2006): Grundlagen der anaeroben Fermentation. In: Handreichung Biogasgewinnung und -nutzung, Hrsg.: Fachagentur für nachwachsende Rohstoffe e.V. Gülzow

Schindler, M. (2005): Wirtschaftlichkeit des Anbaus. In: Karpenstein-Machan, M.: Energiepflanzenanbau für Biogasanlagenbetreiber. DLG-Verlag, Frankfurt/Main

Toews, T. (2008): Internes Arbeitspapier zu Zwischenergebnissen des ökonomischen Teilprojektes, Arbeitsmaterial 2008

Willms, M. (2008): Internes Arbeitspapier zur Humusbilanz in Energiefruchtfolgen, Arbeitsmaterial 2008

Thüringer Landesanstalt
für Landwirtschaft



Abschlussbericht 2009
zum Teilprojekt 1

Entwicklung und Optimierung von standortangepassten Anbausystemen für Energiepflanzen im Fruchtfolgeregime

Dieses Verbundvorhaben wird vom BMELV über die FNR gefördert
und seitens der TLL koordiniert.

(FKZ: 2200-2305)

Themenblatt-Nr.: 42.27.430

Thüringer Ministerium
für Landwirtschaft,
Naturschutz und Umwelt

Freistaat Thüringen

Langtitel:

Entwicklung und Vergleich von optimierten Anbausystemen für die landwirtschaftliche Produktion von Energiepflanzen unter den verschiedenen Standortbedingungen Deutschlands (EVA)

Kurztitel:

Entwicklung und Optimierung von standortangepassten Anbausystemen für Energiepflanzen im Fruchtfolgeregime

Projektleiter:	Dr. habil. A. Vetter
Abteilung:	400
Abteilungsleiter:	Dr. habil. A. Vetter
Laufzeit:	01.04.2005 bis 31.01.2009
Auftraggeber:	Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (BMELV)
Projektträger:	Fachagentur für Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR), Hofplatz 1, 18276 Gülzow
Namen der Bearbeiter:	Dr. A. Nehring Dipl.-Ing. agr. S. Köhler Dipl.-Ing. agr. A. Thiele Dipl.-Ing. (FH) D. Freund

Dornburg, Juni 2009

(P. Ritschel)
Präsident

(Dr. habil. A. Vetter)
Projektleiter

Inhaltsverzeichnis

1	**Einleitung**	**196**
2	**Material und Methoden**	**196**
2.1	Standortcharakteristik	196
2.2	Witterungsverlauf und Klimatische Wasserbilanz	197
2.3	Versuchsdurchführung	199
2.4	Berechnungsgrundlagen	200
2.4.1	Nährstoffbilanz (N, P, K)	200
2.4.2	Humusbilanz	200
2.4.3	Theoretische Biogas- und Methangasausbeute	201
2.4.4	Statistik	201
3	**Ergebnisse und Diskussion**	**201**
3.1	Frischmasse- und Trockenmasseerträge	201
3.2	Winterweizenerträge in Kombination mit dem Strohertrag	203
3.3	Nährstoffbilanz	204
3.4	Humusbilanz	208
3.5	Theoretische Biogas- und Methangasausbeute	209
3.6	Ökonomische Bewertung	210
3.7	Anbauempfehlungen für die Region	212
4	**Zusammenfassung**	**213**
5	**Weiterführende Versuche**	**214**
5.1	Standorte und Versuche	214
5.2	Versuchsdurchführung	216
5.3	Ergebnisse	216
6	**Literatur**	**221**

1 Einleitung

Mit der zunehmenden Nachfrage nach erneuerbaren Energien und der steigenden Anzahl an Biogasanlagen ist es notwendig, die Flächenproduktivität im Energiepflanzenanbau zu steigern und abzusichern. Bisher war Maissilage das dominierende Gärsubstrat in der Biogasanlage, dies ist auf die hohe Biomasseproduktivität und auf das technologisch gut entwickelte Maisanbauverfahren zurückzuführen. Neben den oben genannten Aspekten ist es aber auch notwendig, die ökologischen Folgewirkungen zu betrachten. Aus diesem Hintergrund ergeben sich für die Fruchtfolgegestaltung im Energiepflanzenanbau mehrere Fragen:

1. Was für Ergänzungen gibt es zum Fruchtfolgeglied Mais?
2. Wie groß sind die Ertragsunterschiede der einzelnen Kulturen untereinander?
3. Welche Fruchtfolgegestaltung ist für eine hohe Biomasseproduktion sinnvoll?
4. Welche Bedeutung haben Zwischenfrüchte und wie ist der Anbau zu bewerten?
5. Gibt es Unterschiede im Methanertrag der Kulturen?
6. Wie beeinflussen Energiepflanzenfruchtfolgen den Nährstoff- und Humushaushalt des Bodens?

Zur Klärung dieser Fragen wurde im Frühjahr 2005 am Standort Dornburg ein Fruchtfolgeversuch zum Thema „Entwicklung und Optimierung von standortangepassten Anbausystemen für Energiepflanzen im Fruchtfolgeregime“ innerhalb des Verbundprojektes EVA angelegt. Ziel ist es, die Eignung verschiedener Kulturen im Fruchtfolgesystem unter den Bedingungen Thüringens für die energetische Nutzung zu prüfen. Im vorliegenden Bericht wird auf die Ergebnisse von 2005 bis 2008 eingegangen.

2 Material und Methoden

2.1 Standortcharakteristik

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 (Tabelle 1). Bei der vorherrschenden Bodenart handelt es sich um stark tonigen Schluff (Ut_4).

Tabelle 1: Standortcharakteristik

Ort:	Dornburg
Bundesland:	Thüringen
Bodenart:	stark toniger Schluff
Bodenzahl:	46-80
Niederschlag (IM):	596 mm
Temperatur (IM):	8,8 °C
Höhe über NN:	250-270 m

2.2 Witterungsverlauf und Klimatische Wasserbilanz

Witterungsverlauf

Zu Vegetationsbeginn (März, April) des Versuchsjahres **2005** wurden im Vergleich zum langjährigen Mittel deutlich geringere Niederschläge gemessen. Der fehlende Niederschlag spiegelte sich in einem ungleichmäßigen Aufgang der einzelnen Kulturen wider. Der im Mai gefallene Niederschlag und die steigenden Temperaturen ermöglichten dem Pflanzenbestand die aufgetretenen Wachstumsdefizite auszugleichen. Dem sehr trockenen Juni (42,2 mm; lM 73,0 mm) folgte der Juli mit 74,0 mm (lM 66, mm) Niederschlag. Der August war im Vergleich zum langjährigen Mittel (15,9 °C; lM 17,7 °C) kühler und die Wasserbilanz war als defizitär einzustufen. Die Monate September und Oktober lagen in der Temperaturentwicklung leicht über dem langjährigen Mittel, jedoch sind auch hier die Niederschläge wesentlich geringer ausgefallen. Das Versuchsjahr **2006** startete mit einem langen kalten Winter mit Minusgraden bis Ende Februar. Die Monate März und April sind deutlich kühler ausgefallen als 2005, verbunden mit hohen Niederschlägen. In den letzten Maitagen kam es zu einem Temperaturrückgang, welcher das Pflanzenwachstum der Wärme liebenden Kulturen erheblich beeinträchtigte. Die Monate Juni und Juli heben sich mit deutlich geringeren Niederschlägen vom Versuchsjahr 2005 ab. Im Juli lagen die Temperaturen um 3,8 °C höher als 2005, gekoppelt mit sehr geringen Niederschlägen. Durch die hohe Verdunstung wurde dem Boden viel Wasser entzogen, so dass die Bodenfeuchten im Sommer stark zurückgegangen sind. Mit 130 mm zeichnete sich der August durch überdurchschnittlich hohe Niederschläge ab. Die Monate September bis Dezember warteten im Vergleich zu 2005 mit wesentlich milderen Temperaturen auf, was eine Feststellung der Vegetationsruhe erheblich erschwerte. Das Versuchsjahr **2007** begann mit einem sehr milden Winter mit nur geringen Minusgraden und hohen Niederschlägen. Die Pflanzenbestände, aber auch die Unkräuter, konnten sich somit ungehindert weiterentwickeln. Der April war im Vergleich zu den übrigen Monaten sehr trocken, was auch deutlich an den Beständen zu erkennen war. Ab Mai bis zum September nahmen die Niederschläge zu, welche sich teilweise auch in Starkniederschlagsereignissen äußerten. Ab Oktober war ein Rückgang der Niederschläge zu erkennen, wobei der November 2007 niederschlagsreicher ausfiel als in den Vorjahren. Das Versuchsjahr **2008** begann mit einem milden Winter und Niederschlägen im Bereich von 20 mm. Der Monat April zeichnete sich durch Niederschläge in Höhe von 94 mm deutlich ab, wohingegen die Pflanzen im Mai unter der Trockenheit und den steigenden Temperaturen zu leiden hatten. In den Monaten Juni bis Oktober konnte eine gleichmäßige Niederschlagsverteilung beobachtet werden (im Durchschnitt 60 mm). Die Temperaturen befanden sich im Juni-August auf einem ähnlichen Niveau und sanken ab September langsam ab. Eine grafische Darstellung des Witterungsverlaufes der einzelnen Jahre befindet sich im Anhang (Anhang 1).

Fazit:

2006 Trockenes Jahr, sehr ungleichmäßige Verteilung der Niederschläge, häufig Starkniederschlagsereignisse.

2007 Mildes Frühjahr, sehr trockener April, von Mai bis September gleichmäßige hohe Niederschläge.

2008 Ähnliche Entwicklung der Temperaturen wie 2005, wobei das Jahr 2005 durch geringere Niederschläge geprägt war.

Klimatische Wasserbilanz (KWB)

Die klimatische Wasserbilanz errechnet sich aus der Differenz zwischen Niederschlagssumme und der Summe der potenziellen Verdunstung. Für die Berechnung der potenziellen Verdunstung wurde die Penman-Methode herangezogen. Diese Methode stellt die ausgereifteste dar und ist international anerkannt. Der Verdunstungsprozess wird hierbei im System Boden-Pflanze-Atmosphäre betrachtet. Des Weiteren werden alle Widerstände, die im Wassertransport zwischen Boden und Pflanze und zwischen Pflanzenbestand und Atmosphäre bestehen, berücksichtigt (Hösel, 2008). Für die Berechnung der KWB wurde auf Daten des Deutschen Wetterdienstes zurückgegriffen.

In allen Versuchsjahren war die KWB bis März positiv (Abbildung 1). Dann fielen die Werte langsam ab und erreichten im April -100 mm. Im weiteren Verlauf entwickelte sich die KWB in den einzelnen Jahren negativ und erreichte Werte bis -550 mm, wobei zwischen den einzelnen Jahren eine differenzierte Betrachtung unabdingbar ist. Bei der Betrachtung einzelner Zeitabschnitte wird ersichtlich, dass sich im Zeitraum Ende März bis Anfang Mai die Werte für das Jahr 2005 deutlich von den anderen Jahren unterschieden. Wobei nur geringe Unterschiede zwischen den Jahren 2006 und 2008 auftraten. Dieser Trend blieb bis Ende Mai bestehen. Im Juni wird ersichtlich, dass sich die KWB von 2008 und 2006 immer noch auf einem ähnlichen Niveau befanden, wohingegen sich die KWB für 2007 und 2005 deutlich abhob. Für die Jahre 2005, 2006 und 2008 sanken die Werte auf unter -300 mm. Die KWB für 2007 pegelte sich zwischen einem Wert von -292 mm und -274 mm bis Oktober ein und stiegt dann wieder auf Werte von -230 mm. In den Versuchsjahren 2005, 2006 und 2008 lag die KWB ab September bei einem Wert von > -350 mm, wobei die Versuchsjahre 2005 und 2008 bis zum Jahresende Werte zwischen -350 und -450 mm erreichten. Sehr negativ fiel die KWB für das Jahr 2006 aus. Hier lagen die Werte von Ende September bis Dezember zwischen -500 und -550 mm.

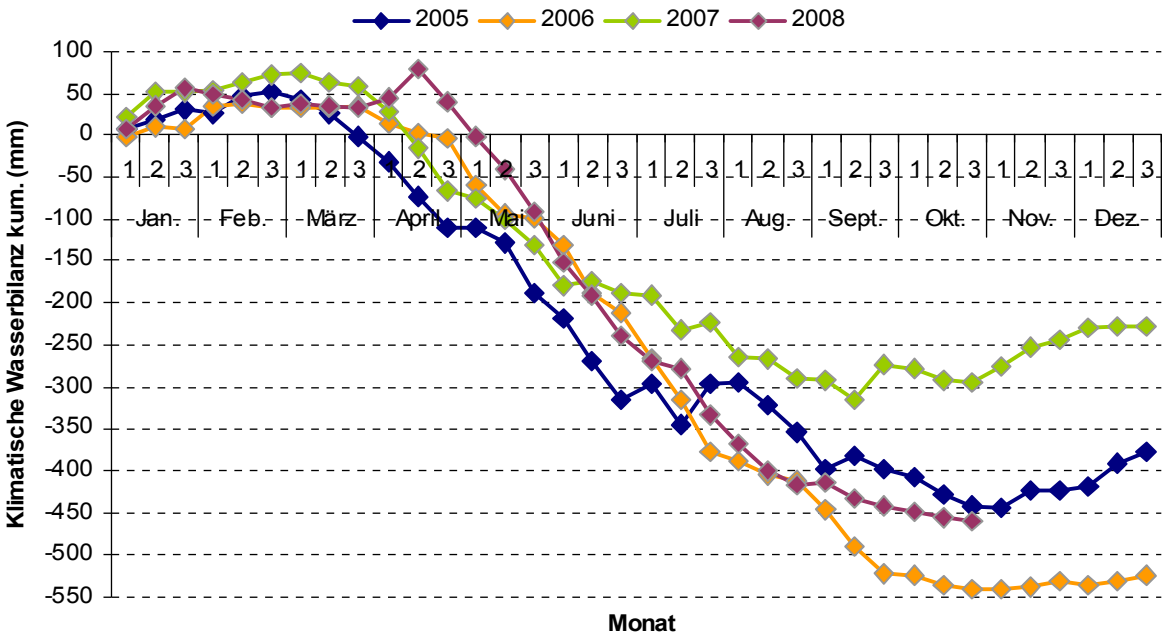


Abbildung 1: KWB der Jahre 2005 bis 2008 am Standort Dornburg

2.3 Versuchsdurchführung

Im Versuchsjahr 2005 (AI) wurde ein Fruchtfolgeversuch mit acht Fruchtfolgen (Tabelle 2) angelegt. Zur Erweiterung des Stichprobenumfangs und zur Präzisierung der Ergebnisse erfolgte im Frühjahr 2006 nochmals die Anlage (AII) des Fruchtfolgeversuchs (sieben Fruchtfolgen). Als Versuchsanlage wurde eine einfaktorielle Blockanlage (A-Block) gewählt, wobei aus arbeitstechnischen Gründen auf eine Randomisierung der Anlage verzichtet wurde. Die Fruchtfolge 1 wurde im Versuch dreimal etabliert, um somit eventuell standortbedingte Unterschiede in der Ertragsentwicklung auszugleichen.

Tabelle 2: Fruchtfolgen am Standort Dornburg

AI / AII	1	2	3	4	5	6	7	8
2005/2006	Sommergerste (GPS) / Ölrettich (SZF)	Sudangras / WZF Futterroggen	Mais / WZF Futterroggen	SG + US Luzerne o. Kleegras	Hafersorten-mischung (GPS)	Hafer (GPS)	Energiemais	Topinamburkraut
2006/2007	Mais (HF)	Mais (ZF)	Sudangras (ZF)	Luzerne o. Kleegras	Wintertritcale (GPS)	Artenmischung WT/WW/WG (GPS)	Energiemais	Topinamburkraut
2007/2008	Wintertriticale (GPS) / SZF Zuckerhirse	Wintertriticale (Korn)	Wintertriticale (GPS) / einj. Weidelgras	Luzerne o. Kleegras	Winterraps (Korn)	Winterraps (Korn)	Energiemais	Topinamburkraut/-knolle
2008/2009	Winterweizen	Winterweizen	Winterweizen	Winterweizen	Winterweizen	Winterweizen	Winterweizen	Winterweizen

Die Aussaat der einzelnen Fruchtarten erfolgte soweit möglich zu ortsüblichen Terminen. Die Sortenwahl wurde unter Berücksichtigung der Standorteigenschaften und dem kulturabhängigen Sortenspektrum vorgenommen (Anlage 2 Sorten und Saatstärken der einzelnen Kulturen). Die Stickstoffdüngung erfolgte unter Berücksichtigung des aktuellen N_{min}-Gehaltes kulturartenspezifisch nach der SBA-Methode[1]. Als Stickstoffdünger wurde hauptsächlich Kalkammonsalpeter (KAS 27% N) eingesetzt. Teilweise erfolgte der Einsatz von Ammonsulfatsalpeter (ASS) zu Raps bzw. zu Wintertriticale. Die Phosphor- und Kaliumdüngung wurde entsprechend der Gehaltsklassen zu Versuchsbeginn vorgenommen. Aufgrund der hohen K-Entzüge der Ganzpflanze wurde im dritten Versuchsjahr (2007) eine am Entzug orientierte und die aktuelle Bodengehaltsklasse berücksichtigende Grunddüngung mit Phosphor und Kalium durchgeführt (Anlage 3 Übersicht zu den agrotechnischen Maßnahmen).

In Abhängigkeit von der Kultur und dem Überschreiten von Schadschwellen erfolgte der Einsatz von Pflanzenschutzmitteln unter Berücksichtigung der guten fachlichen Praxis. Ein hoher Aufwand bestand bei Winterraps, wohingegen der Aufwand bei Getreide als mittel einzustufen war. Kein Pflanzenschutzmitteleinsatz erfolgte bei Topinambur, Ölrettich und einjährigem Weidelgras.

Bei der Wahl des Erntetermins wurden zum einen das BBCH-Stadium und zum anderen der Trockensubstanzgehalt berücksichtigt. Für die Ernte der Parzellen konnte auf unterschiedliche Technik zurückgegriffen werden. So kam der Mährdrescher bei den Druschfrüchten zum Einsatz. Die Pflanzen zur Nutzung als Ganzpflanze, wie Mais und Hirsen, wurden mit dem Häcksler geerntet und Grünschnittroggen, Luzernegras, einjähriges Weidelgras mit dem Futterernter.

Während des gesamten Versuchszeitraumes wurden im Pflanzenbestand umfangreiche Bonituren durchgeführt. So wurde zur Charakterisierung des Biomassezuwachses die

Bestandeshöhe gemessen und Biomasseschnitte mit anschließender Ertragsermittlung vorgenommen. Regelmäßige Unkrautbonituren und Abschätzungen des Bedeckungsgrades sollen dazu beitragen, die Entwicklung der Beikrautflora in den unterschiedlichen Fruchtfolgen zu beobachten.

An den Ernteproben wurden die Makro- und Mikronährstoffe analysiert, sowie die erweiterte Weender Analyse durchgeführt. Mit Hilfe der gewonnenen Ergebnisse ist es möglich, zum einen den Nährstoffentzug der einzelnen Kulturen zu ermitteln und zum anderen die theoretische Biogas- und Methangasausbeute zu berechnen.

2.4 Berechnungsgrundlagen

2.4.1 Nährstoffbilanz (N, P, K)

Eine Nährstoffbilanz ist ein Instrument für die nachhaltige Landbewirtschaftung und gilt als Indikator für die Erhaltung der Bodenfruchtbarkeit in einem Agrarökosystem. Sie errechnet sich aus der Nährstoffzufuhr abzüglich der Nährstoffabfuhr. Die Nährstoffzufuhr erfolgt durch mineralische und organische Düngung sowie durch die Fixierung des Luftstickstoffs durch Leguminosen. Die Nährstoffabfuhr erfolgt durch den Nährstoffentzug des Pflanzenbestandes, Nährstoffauswaschung und volatile Verluste.

Nicht bilanziert werden atmosphärische Deposition, NO_3-Auswaschung und N_2-Bindung durch frei lebende Bakterien. Nährstoffe, die in Pflanzenresten auf der Fläche verbleiben, werden ebenfalls nicht bilanziert. Hierzu gehören z. B. Mulch, Gründüngung, Strohdüngung bei Druschfrüchten und Wurzeln (Heß und Zorn, 2008).

Für die Nährstoffbilanz ergibt sich somit folgenden Formel:

Zufuhr	Mineralische Düngung
	N_2-Fixierung*
Abfuhr	Nährstoffentzug
Saldo	**Zufuhr – Abfuhr**

* nur bei N-Bilanz

2.4.2 Humusbilanz

Mit der Humusbilanz soll die Veränderung der Humusvorräte abgeschätzt werden, welche durch die jeweiligen Kulturpflanzen, deren Fruchtfolge und die Zufuhr von organischen Materialien verursacht werden. Durch die angebauten Pflanzen wird in unterschiedlicher Art und Weise der Zuwachs bzw. Verlust an Humus im Boden beeinflusst. Aus der Menge und Qualität der zugeführten Ernterückstände sowie organischer Dünger lässt sich deren unterschiedliche Fähigkeit zur Humusreproduktion ermitteln. Somit ergibt sich der Humussaldo aus der Zufuhr organischer Dünger (Ernterückstände, Stallmist, Gülle, Kompost) und der anbauspezifischen Veränderung des Humusvorrates (Humusbedarf). Die Berechnung der Humusbilanz erfolgte nach Cross Compliance, wobei bei dieser Methode zur Quantifizie-

[1] SBA-Methode- Stickstoffbedarfsanalyse, Düngung in Thüringen 2007 nach „Guter fachlicher Praxis“

rung der Humusersatzleistung auf die unteren Werte der Humusäquivalente (kg Humus-C ha^{1-}) aus der VDLUFA-Methode zurückgegriffen wird. Zu beachten ist, dass der Humusbilanzsaldo im Bereich zwischen -75 kg und +125 kg Humus-C/ha/Jahr liegen sollte bzw. den Wert von -75 kg Humus C/kg/Jahr im dreijährigen Durchschnitt nicht unterschreiten darf (Zorn et al, 2007).

2.4.3 Theoretische Biogas- und Methangasausbeute

Zur Ernte wurden bei allen Kulturen repräsentative Proben zur Bestimmung der Trockensubstanz und zur Inhaltsstoffanalyse entnommen. Über die Inhaltsstoffe (Rohasche, Rohfett, Rohprotein, Rohfaser, N-freie Extraktstoffe) und die Trockenmasseerträge wurde mittels Schätzformel die theoretische Biogas- und Methangasausbeute (je kg oTM) berechnet (FNR, 2007). Hierfür wurden für jede Kultur die Verdaulichkeitsquotienten der relevanten Inhaltsstoffe in Abhängigkeit vom Entwicklungsstadium herangezogen (DLG, 1997). Für Kulturen, bei denen keine Verdaulichkeitsquotienten aus der Literatur hervorgehen (z.B. Sudangras), wurden die Verdaulichkeiten ähnlicher Kulturarten herangezogen (Futterhirse). Fehlten zu den entsprechenden Entwicklungsstadien die Werte, wurden frühere Reifestadien der Kulturen einbezogen. Als Verdaulichkeitsquotient für Wintertriticale wurden die gemittelten Werte von Weizen und Roggen verwendet.

2.4.4 Statistik

Die statistische Analyse der Versuche erfolgte mit den Software Programmen SPSS (Munzert, 1992; Bühl und Zöfel, 2002). Die zu überprüfenden Gruppen wurden auf Normalverteilung mit dem Kolmogoroff-Smirnov-Test ($p < 0,05$) getestet. Um signifikante Differenzen zwischen den einzelnen Datengruppen der Fruchtfolge 1 festzustellen, kam eine einfaktorielle ANOVA mit Post Hoc LSD zur Anwendung. Die Signifikanz der Fruchtfolgen innerhalb des Versuches wurde mit einer einfaktoriellen ANOVA mit Post Hoc LSD und Dunett überprüft. Als signifikant verschieden wurden Datensätze angesehen, wenn $p \leq 0,05$ war.

3 Ergebnisse und Diskussion

3.1 Frischmasse- und Trockenmasseerträge

Die dargestellten Ergebnisse beziehen sich auf den Versuchszeitraum 2005 bis 2008, wobei der Winterweizenertrag im Kapitel 3.2 gesondert betrachtet wird, um eventuell auftretende Fruchtfolgeeffekte besser bewerten zu können. In die Ertragsdarstellung fließt die oberirdische Biomasse ein, welche für die Biogaserzeugung relevant ist, ebenso Rapskorn und die Sommerzwischenfrucht Ölrettich, da ursprünglich eine Nutzung als Biogassubstrat geplant war. Das Getreidestroh und Rapsstroh werden gesondert betrachtet, da bei der Nährstoffbilanzierung das Stroh nicht mit bilanziert wird, sondern auf der Fläche verbleibt. Auf den Frischmasseertrag wird an dieser Stelle nicht eingegangen, die Zahlen können aus dem Anhang entnommen werden (Anhang 4). Zwischen den Datensätzen der Fruchtfolge 1 lagen keine signifikanten Ertragsunterschiede vor (Anhang 5).

Erträge der einzelnen Fruchtarten

In der Anlage I (2005) erreichte der Energiemais (FF 7) 2007 den höchsten Ertrag mit 230 dt TM/ha. Durchschnittlich wurde in der FF 7 ein Maisertrag von 174 dt TM/ha erzielt. Im Vergleich dazu erreichte der Mais in Zweitfruchtstellung nur einen Ertrag von 113 dt TM/ha. In Kombination mit der WZF Futterroggen ergab sich ein Ertrag von 177 dt TM/ha, was dem Maisertrag der letzten drei Jahre entspricht. Mit Sudangras in Hauptfruchtstellung (176 dt TM/ha) konnte ebenfalls ein TM-Ertrag erreicht werden, der sich auf dem Niveau des dreijährigen Maisertrages bewegte. In Zweitfruchtstellung erreichte Sudangras einen Ertrag von 84 dt TM/ha, jedoch wurde in Kombination mit Futterroggen nur ein Ertrag von 142 dt TM/ha erzielt. Der mehrjährige Anbau von Topinambur erzielte einen durchschnittlichen Trockenmasseertrag von 1578 dt/ha an oberirdischer Biomasse. Im Vergleich zu Mais ergibt sich eine Differenz von 17 dt/ha. Die Knollen wurden aufgrund der hohen Verschmutzung und der geringen Gasausbeute nicht für die Biogasproduktion herangezogen. Am Standort wurde ein Ertrag von 133 dt/ha Knollen erreicht.

Bei den angebauten Getreidearten wird ersichtlich, dass mit dem Sommergetreide (Sommergerste, Hafer, Hafersortenmischung) Erträge von durchschnittlich 92 dt TM/ha erzielt wurden, wohingegen mit dem Wintergetreide ein Ertrag von durchschnittlich 143 dt TM/ha möglich war.

Das angebaute Luzernegras erreichte mit 103 dt TM/ha für den Standort keinen repräsentativen Ertrag. Als Sommerzwischenfrüchte wurden Zuckerhirse, Ölrettich und einjähriges Weidelgras in die Fruchtfolgen integriert. Die Zuckerhirse befand sich auf dem Ertragsniveau der Winterzwischenfrucht Futterroggen (57 dt TM/ha vs. 64 dt TM/ha). Das einjährige Weidelgras erzielte einen Ertrag von 34 dt TM/ha (2. Schnitte) und lag somit deutlich unter der Zuckerhirse und dem Futterroggen. Der Ölrettich wurde entgegen der ursprünglichen Planung nicht als Biogassubstrat verwendet, sondern als Gründüngung auf dem Feld belassen. Als Ursachen sind der niedrige Ertrag (16 dt TM/ha) und der geringe Trockenmassegehalt zu nennen. Der Winterraps erreichte Erträge von 28 dt /ha. In der Anlage II ist ein ähnlicher Trend zu erkennen.

Gesamttrockenmasseerträge der Fruchtfolgen

Der höchste Ertrag wurde mit dem dreijährigen Maisanbau ermöglicht (522 dt TM/ha), wobei zu beachten ist, dass im Jahr 2007 der höchste Ertrag (230 dt TM/ha) erzielt wurde (Abbildung 2). In den Jahren 2005 und 2006 wurden Erträge von 149 und 143 dt TM/ha erzielt. In der Fruchtfolge 3 betrug der Energiepflanzenanteil 83 % und es wurde eine ganzjährige Bedeckung der Fläche realisiert. Der Gesamtertrag lag mit 488 dt TM/ha 34 dt unter dem Gesamtertrag der Fruchtfolge 7. Wird bei der Fruchtfolge 8 (dreijähriger Topinamburanbau) nur die oberirdische Biomasse in die Betrachtung einbezogen, so erreichte diese einen Ertrag von 473 dt TM/ha und liegt nur knapp unter der Fruchtfolge 3 (Differenz von 15 dt TM/ha). Bei den Fruchtfolgen 1 und 2 lag der Energiepflanzenanteil bei 67 % bzw. 60 %. Mit der Fruchtfolge 1 wurde ein Gesamtertrag von 450 dt TM/ha erzielt und mit der Fruchtfolge 2 von 431 dt TM/ha. Deutlich geringere Erträge erreichten die Fruchtfolgen 4, 5 und 6. Bei der Fruchtfolge 4 ist darauf zu verweisen, dass der Anteil an Luzernegras auf 10 % abgesunken war. Insgesamt wurde ein Ertrag von 284dt TM/ha erreicht. Die Fruchtfolgen 5 und 6 erzielten mit 265 und 262 dt TM/ha die geringsten Erträge. Bei den beiden Fruchtfolgen

handelte es sich um Getreide-Raps-Fruchtfolgen, wohingegen in den Fruchtfolgen 1, 2 und 3 C_3- und C_4-Pflanzen mit unterschiedlichen Anteilen kombiniert wurden. In der Anlage II ist ein ähnlicher Trend in der Ertragsentwicklung zu erkennen.

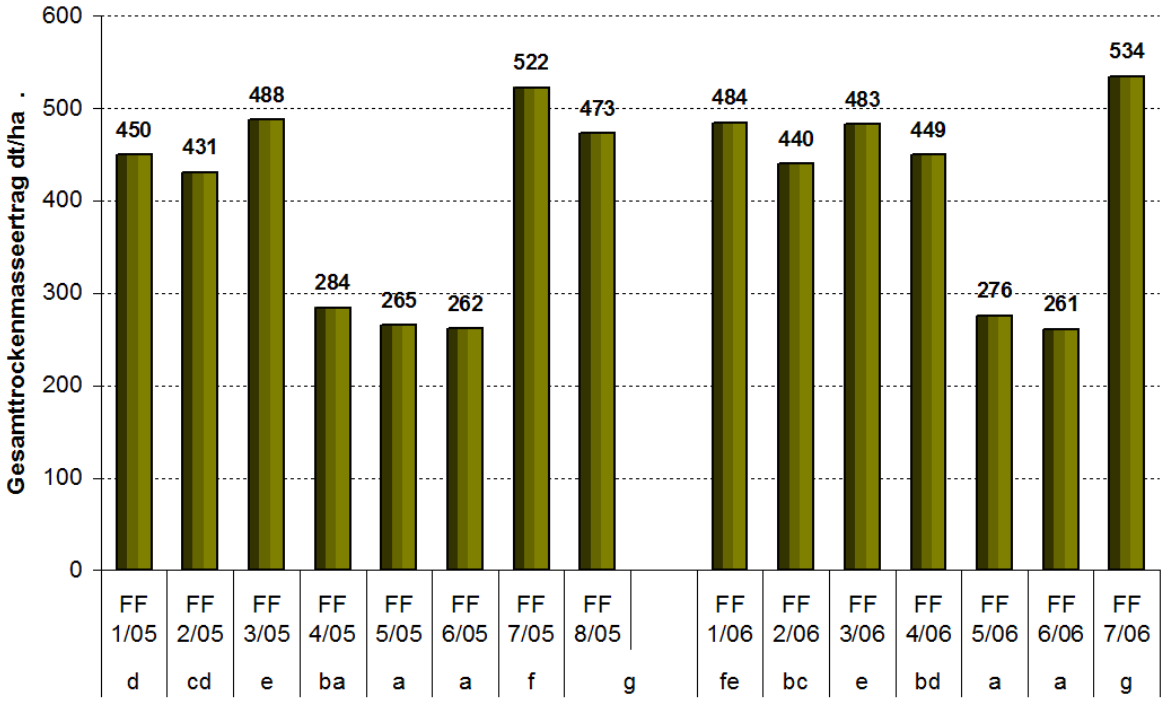


Abbildung 2: Aufsummierte Erträge der einzelnen Fruchtfolgen Anlage I (05) und Anlage II (06), Dargestellt sind die arithmetischen Mittelwerte mit n=4, die Zeichen a-g bezeichnen signifikante Unterschiede, Anhang 5.

3.2 Winterweizenerträge in Kombination mit dem Strohertrag

In Abbildung 3 ist der Kornertrag von Winterweizen gegliedert nach den Fruchtfolgen dargestellt (umgerechnet auf 14 % Feuchte). Es wird ein deutlicher Einfluss der Vorfrucht auf den Weizenertrag ersichtlich. In den Fruchtfolgen 5, 6 und 7 wurden Erträge zwischen 112 dt/ha und 118 dt/ha erzielt, dicht gefolgt von der Fruchtfolge 3 mit 102 dt/ha und der Fruchtfolge 8 mit 100 dt/ha. In der Fruchtfolge 8 wurde trotz des hohen Durchwuchses an Topinambur ein für den Standort repräsentativer Ertrag erzielt. Deutlich niedriger sind die Erträge bei den Fruchtfolgen 1, 2 und 4 ausgefallen. Die Bestände sind schneller abgereift und in der Fruchtfolge 2 ist davon auszugehen, dass von der Wintertriticale (Korn) eine Krankheitsübertragung auf den Weizen stattgefunden hat (Bilder Anhang 6).

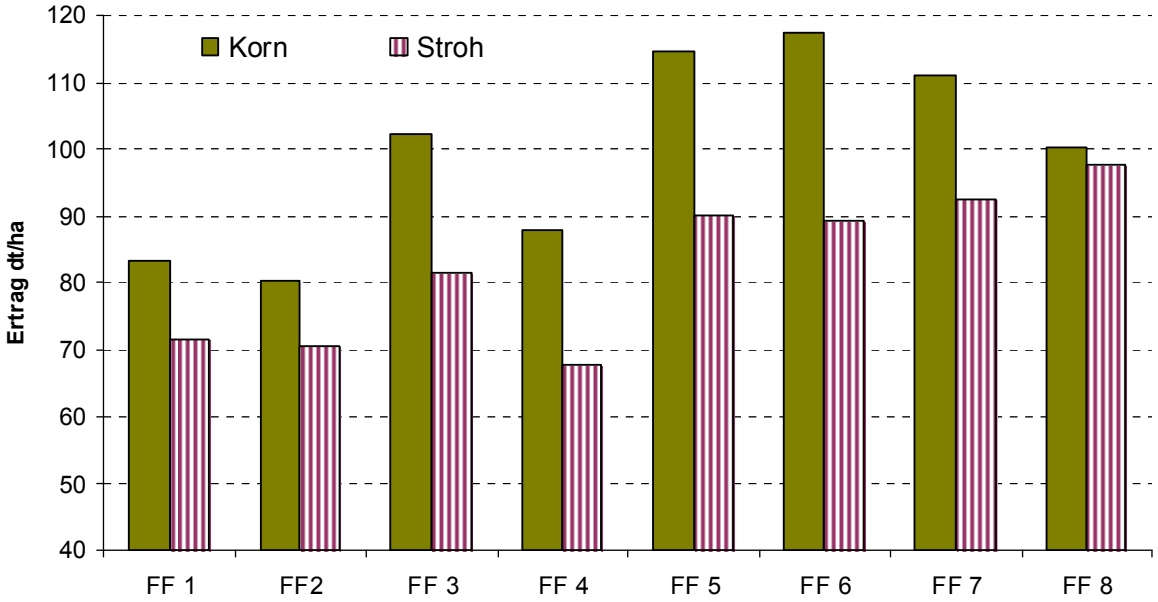


Abbildung 3: Ertrag Winterweizen in Abhängigkeit von der Fruchtfolge, Dargestellt ist das arithmetische Mittel n=4.

3.3 Nährstoffbilanz

Die Ergebnisse der Nährstoffbilanz sind in den Abbildungen 4 - 6 dargestellt. Oberhalb der Nulllinie sind die Werte dargestellt, welche mit der Düngung zugeführt wurden. Unterhalb der Nulllinie ist der jeweilige Nährstoffentzug einer Fruchtfolge durch das Erntegut aufgetragen. Die Differenz beider Werte bildet den Saldo. Die N_2-Fixierung wurde bei der Sommergerste mit Untersaat Luzernegras nicht mit berücksichtigt, da der Anteil an Luzerne an der Mischung teilweise nur 10 % betrug.

Stickstoffbilanz

Der Stickstoffentzug ist bei den einzelnen Fruchtarten unterschiedlich ausgefallen (Abbildung 4). Bei der Betrachtung der einzelnen Kulturen wird deutlich, dass der höchste N-Entzug bei Mais in der Fruchtfolge 7 mit 233 kg N/ha erreicht wurde. Danach folgte Topinambur mit einem durchschnittlichen Entzug von 170 kg N/ha. Den geringsten Entzug hatten Ölrettich und einjähriges Weidelgras mit 41 kg N/ha. Bei Mais und Sudangras in Hauptfruchtstellung lagen die N-Entzüge zwischen 180 und 212 kg N/ha. In Zweitfruchtstellung entzogen Mais und Sudangras ca. 30 % weniger Stickstoff. Bei den Getreidearten lag der N-Entzug bei Wintertriticale in den Fruchtfolgen bei durchschnittlich 161 kg N/ha. Der N-Entzug der Ganzpflanze unterschied sich nicht vom N-Entzug der Körner. Die restlichen Getreidearten folgten in geringem Abstand. Der Winterraps entzog durch die Abfuhr der Körner mit 102,5 kg N/ha eine ähnliche Menge an Stickstoff wie die anderen Getreidearten aus der Fruchtfolge 5 und 6. Bei der Zuckerhirse lag der Entzug bei 81,5 kg N/ha.

Die höchste N-Zufuhr erfolgte bei der Fruchtfolge 3 (sudangras-mais-betont) mit 758 kg N/ha. Die Getreide-Raps Fruchtfolgen 5 und 6, der dreijährige Maisanbau (Fruchtfolge 7) und der dreijährige Topinamburanbau (Fruchtfolge 8) befanden sich bei der N-Düngung auf einem ähnlichen Niveau zwischen 400 und 565 kg N/ha. Deutlich darüber lag die Stickstoffdüngung bei den Fruchtfolgen 1 und 2 mit 633 bzw. 656 kg N/ha.

Bei der Düngebedarfsermittlung wurde der pflanzenverfügbare Stickstoff im Boden mit berücksichtigt. Der N_{min}-Gehalt lag zu Beginn des Versuches (2005) bei 41 kg N/ha. Die N-Bilanz ist für die Fruchtfolgen überwiegend negativ, vor allem in der Fruchtfolge 4 - Sommergerste mit Untersaat Luzernegras - Winterweizen (-411 kg N/ha), gefolgt von dem dreijährigen Maisanbau mit -328 kg N/ha und dem dreijährigen Topinamburanbau (-439 kg N/ha).

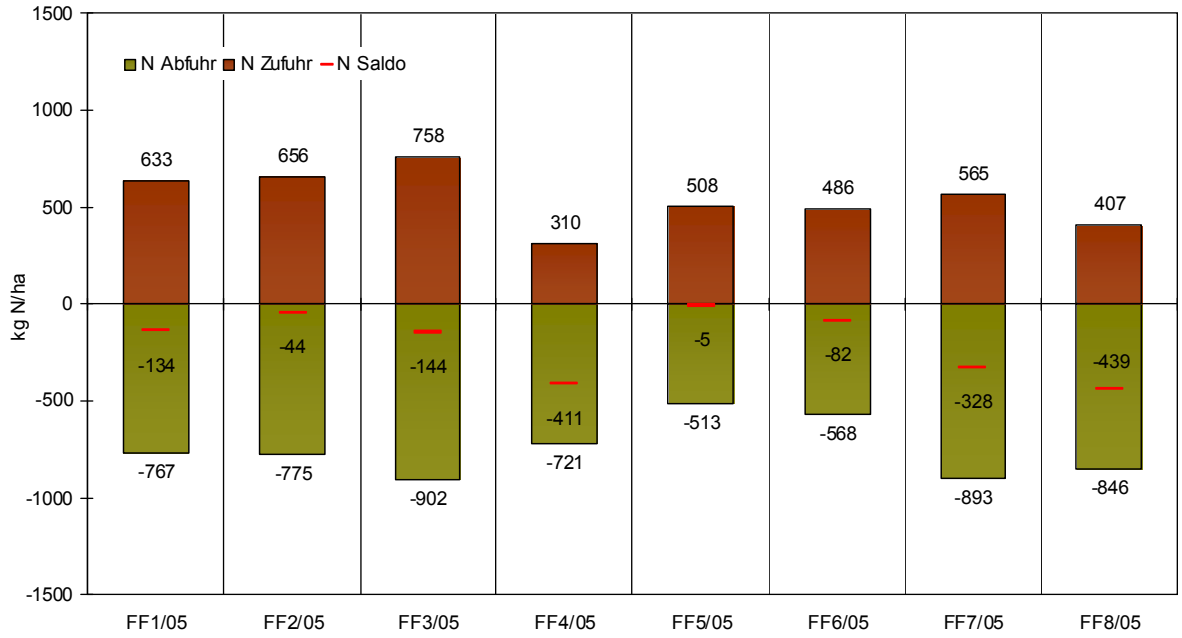


Abbildung 4: Stickstoffbilanz der einzelnen Fruchtfolgen summiert über die Jahre 2005 bis 2008, Anlage I.

N-Verwertung der Fruchtfolgen

Die Stickstoffverwertung wird als Quotient zwischen kumuliertem Trockenmasseertrag und kumulierter N-Düngung dargestellt (Tabelle 2). Es wurden Werte zwischen 0,52 dt TM/kg N und 1,16 dt TM/kg N ermittelt. Anhand der Werte wird ersichtlich, dass die N-Verwertung als Bewertungsparameter nur eingeschränkt interpretierbar ist, da z. B. bei der Fruchtfolge 4 eine hohe Stickstoffverwertung berechnet wurde, obwohl der Ertrag bei hoher N-Düngung relativ niedrig ausgefallen ist.

Tabelle 3: Stickstoffverwertung der Fruchtfolgen

Fruchtfolge	1	2	3	4	5	6	7	8
TM-Ertrag (dt/ha)	450	431	488	290	265	262	522	473
Düngung (kg N/ha)	633	656	758	310	508	486	565	407
Stickstoff-Verwertung (dt TM/kg N)	0,71	0,66	0,64	0,94	0,52	0,54	0,92	1,16

Phosphorbilanz

Die P-Zufuhr lag bei den einzelnen Fruchtarten zu Versuchsbeginn (2005) bei 40 kg P/ha. Im Versuchsjahr 2007 wurde entsprechend der Bodenuntersuchung nochmals eine P-Düngung vorgenommen, welche im Bereich von 18 - 31 kg P/ha lag. Die geringste P-Zufuhr erfolgte bei der Sommergerste mit Untersaat Luzernegras (FF4) und beim dreijährigen Topinamburanbau. Die Fruchtfolgen 1 (getreide-mais-betont) bzw. die Fruchtfolgen 5 und 6 (getreide-raps-betont) befanden sich auf einem ähnlichen Niveau. Hier wurden 60 kg P/ha gedüngt. Die höchste P-Zufuhr erfolgte bei der FF 7 - dreijähriger Maisanbau.

Die P-Bilanz fällt durchweg negativ aus. Den höchsten Saldo erreichten der dreijährige Topinamburanbau (FF 8) und die sudangras-mais-betonte Fruchtfolge 3. Pro Jahr macht dies durchschnittlich einen Wert von -29 kg P/ha bzw. -28 kg P/ha aus. Bei dem dreijährigen Maisanbau lagt der Saldo bei -95 kg P/ha und ist vergleichbar mit den getreide-mais-betonten Fruchtfolgen 1 (-90 kg P/ha) und 2 (-85 kg P/ha) (Abbildung 5).

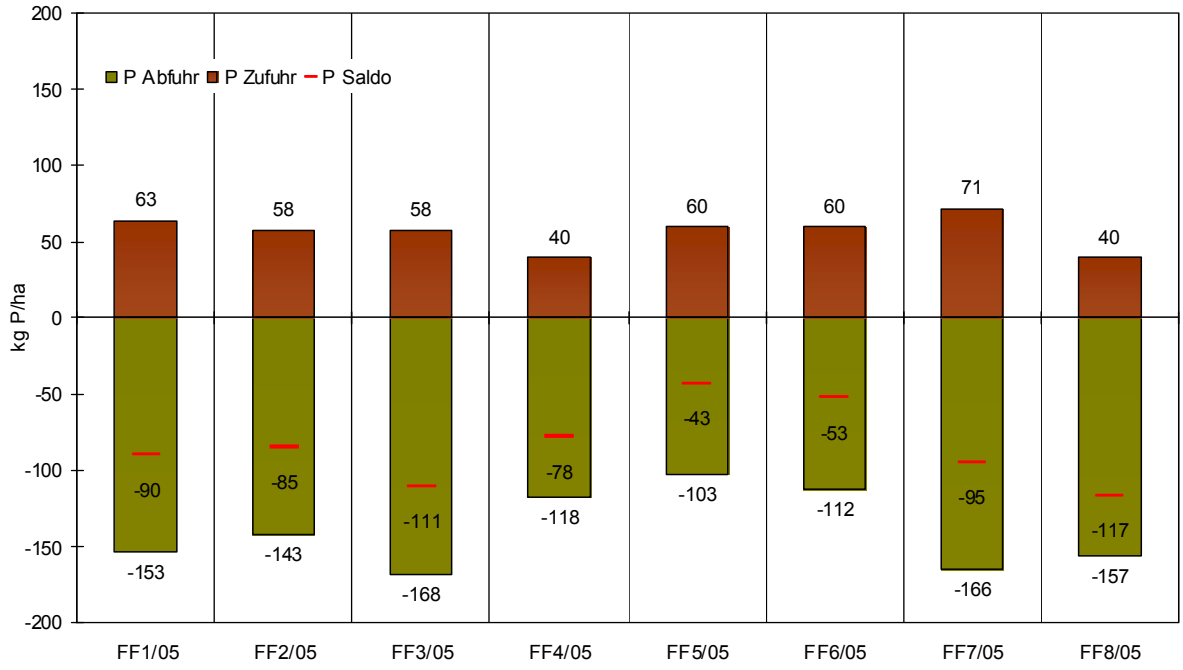


Abbildung 5: Phosphorbilanz der einzelnen Fruchtfolgen summiert über die Jahre 2005 bis 2008, Anlage I.

Kaliumbilanz

Die höchste Kaliumdüngung wurde bei Topinambur mit 368 kg K/ha vorgenommen. Darauf folgte der dreijährige Maisanbau mit 314 kg K/ha. Die getreide-mais-betonten Fruchtfolgen 1 und 2 bzw. die sudangras-mais-betonte Fruchtfolge 3 befanden sich auf einem ähnlichen Niveau. Es wurde zwischen 203 und 223 kg K/ha gedüngt. Die niedrigste Kaliumdüngung erfolgte in der Fruchtfolge 4 mit 65 kg K/ha.

Anhand der Bilanz wird ersichtlich, dass der mehrjährige Topinamburanbau den höchsten negativen Saldo (-1106 kg K/ha) aufwies, gefolgt von der sudangras-mais-betonten Fruchtfolge 3 mit -708 kg K/ha und der getreide-mais-betonten Fruchtfolge 1 mit -556 kg K/ha (Abbildung 6).

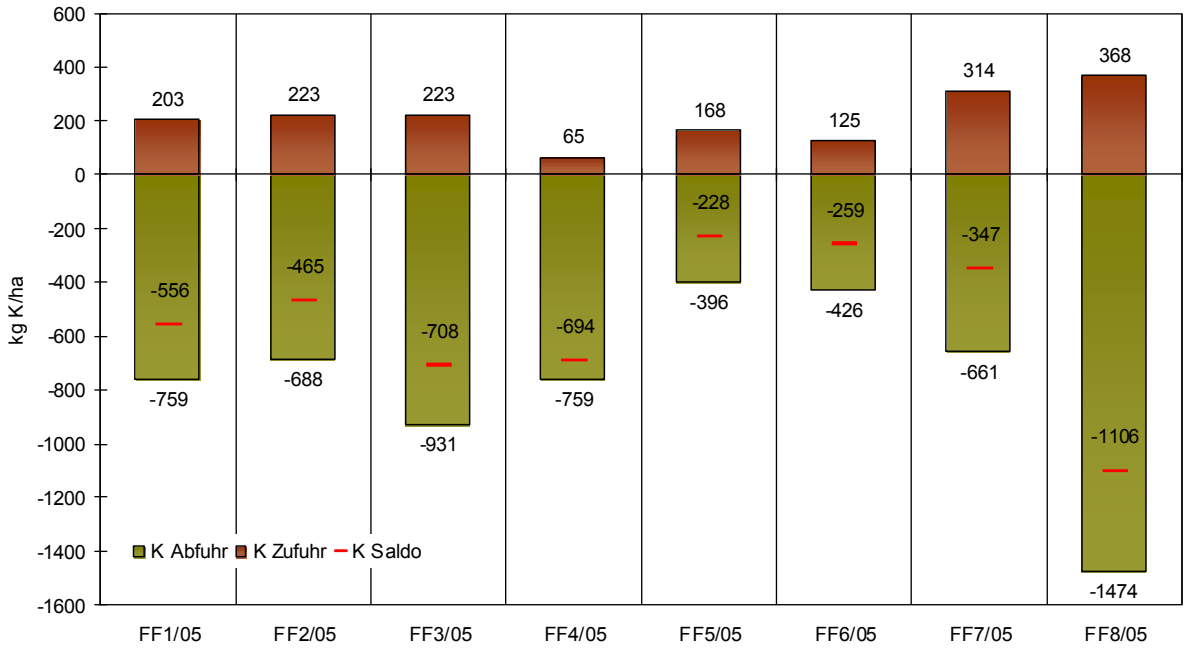


Abbildung 6: Kaliumbilanz der einzelnen Fruchtfolgen summiert über die Jahre 2005 bis 2008, Anlage I.

Fazit:

Eine Nährstoffbilanz ist ein Kontrollinstrument zur Überprüfung der Düngung. Der jeweilige Standort und die Nutzung der Kultur müssen dabei berücksichtigt werden. Viele Faktoren, wie gasförmige Ein- und Austräge sowie Nährstoffverluste durch Bodenerosion können dabei oft, wie in diesem Versuch, nicht berücksichtigt werden. Bei der Düngung muss beachtet werden, dass nicht nur der Düngebedarf des Erntegutes gedeckt werden soll, sondern auch der nicht verwertbaren Pflanzenteile, die nach der Ernte auf dem Feld verbleiben (SCHUMANN ET AL. 1997).

Bei einer Stickstoffbilanz darf der zulässige N-Saldo für das 3-jährige Mittel einen Wert von 90 kg N/ha (2006 bis 2008) nicht überschreiten (HEß, ZORN 2008). Es wird vermutet, dass ohne Überschreiten dieses Wertes Ausbringungszeitpunkt und die Ausbringungsmenge so gewählt wurden, dass verfügbare oder verfügbar werdende Nährstoffe den Pflanzen weitest möglichst zeitgerecht in einer dem Nährstoffbedarf der Pflanzen entsprechenden Menge zur

Verfügung stehen. Der Nährstoffbedarf einer Kulturpflanze ist die Nährstoffmenge, die zur Erzielung eines bestimmten Ertrages oder bestimmter Qualität notwendig ist. Bei diesen Versuchsergebnissen lag kein N-Saldo über dem kritischen Wert von 90 kg N/ha*a.

Am Versuchsstandort Dornburg wurden in den vier Versuchsjahren standortspezifische Erträge erreicht. Eine N-Düngung nach Entzug konnte mit dem SBA-Sollwertprinzip gewährleistet werden. Topinambur war die einzige Fruchtart, bei der der N-Sollwert zu niedrig angesetzt wurde. Der N-Entzug von Topinambur wurde unterschätzt.

Der P-Saldo darf im sechsjährigen Mittel nicht 8,7 kg P/ha*a überschreiten. In dem betrachteten Versuch war dies nicht der Fall. Zu Beginn des Versuches 2005 befanden sich alle Prüfglieder in der Gehaltsklasse D und somit lag ein hoher Gehalt an pflanzenverfügbarem Phosphat im Boden vor. Eine P-Düngung wirkt sich in Gehaltsklasse D nicht auf den Ertrag aus (KERSCHBERGER, FRANKE 2001). Anzustreben ist die Gehaltsklasse C, bei der eine P-Düngung im Bereich des P-Entzugs empfohlen wird. Durch eine verminderte P-Düngung in Gehaltsklasse D soll der P-Gehalt langsam sinken. Der Düngungsabschlag liegt bei 4 - 8 kg P/ha. Bei den meisten Prüfgliedern blieb die Gehaltsklasse trotz negativer Salden weitgehend unverändert. Insgesamt waren abnehmende P-Gehalte im Boden zu beobachten. Bei Kalium befanden sich die meisten Prüfglieder 2005 in der Gehaltsklasse D. Das Gehaltsklassenprinzip für Kalium ähnelt dem für Phosphor. Auch hier ist die Gehaltsklasse C anzustreben. Bei der vorherrschenden Bodenart ist ein Düngungsabschlag von 40 - 80 kg/ha bei Gehaltsklasse D vorgesehen. Bei Gehaltsklasse C wird eine Düngung nach Entzug empfohlen.

In allen Fruchtfolgen waren die K-Salden negativ. Folglich nahmen die K-Gehalte im Boden und damit auch die Gehaltsklassen ab, so dass im Versuchsjahr 2007 eine Düngung nach Entzug erfolgte. Bei Topinambur ging der K-Gehalt soweit zurück, dass dort die Bodengehaltsklasse B vorlag. Bodengehaltsklasse B bedeutet, dass ein sehr niedriger K-Gehalt im Boden vorliegt und eine höhere Düngung als in Gehaltsklasse C stattfinden muss, um den K-Gehalt wieder anzuheben (KERSCHBERGER, FRANKE 2001). Ingesamt konnte festgestellt werden, dass der K-Entzug des Topinamburs unterschätzt wurde. Bei den in Gehaltsklasse C befindlichen Prüfgliedern sollte zukünftig eine Düngung nach Entzug durchgeführt werden.

3.4 Humusbilanz

Die Humusbilanz wurde in Zusammenarbeit mit dem ZALF Müncheberg erarbeitet. Dabei wurden zwei Szenarien unterstellt, zum einen die Humusbilanz ohne Rückführung von Gärresten und zum anderen wurde theoretisch angenommen, dass Gärreste in die Fruchtfolge zurückgeführt werden. Bei der Berechnung wurde unterstellt, dass Ölrettich als Gründüngung auf der Fläche verbleibt. Das Getreidestroh (Wintertriticale, Winterweizen) wurde mit einem Reproduktionsfaktor von 100 kg Humus-C pro t Substrat bei 86 % TS in die Berechnung einbezogen. Die Winterzwischenfrucht Futterroggen wird nach CC positiv bewertet, mit 120 kg Humus-C pro ha/Jahr. Eine Trennung zwischen den Nutzungsrichtungen Ganzpflanzengetreide und Korn ist aus methodischen Gründen nicht möglich, deshalb wurde für beide Nutzungsrichtungen ein Wert von -280 kg Humus-C pro ha/Jahr unterstellt.

Zur Bewertung der Humussalden wurde auf den VDLUFA-Standpunkt (Tabelle 5) zurückgegriffen. Der ermittelte Saldo spiegelt den Zeitraum von 2005 bis 2008 wider. Über folgende

Parameter wurde auf die anfallenden Gärrestmengen geschlossen: Trockenmasseertrag, Silagetrockenmasseertrag und Biogasausbeute. Des Weiteren flossen in die Berechnung 15 % Silierverluste und 15 % Ausbringungsverluste ein.

Für den Fall ohne Rückführung von Gärresten wiesen außer Fruchtfolge 2 (D-hoch) alle Fruchtfolgen einen negativen Saldo auf (Anhang 7/8). Der hohe Saldo in Fruchtfolge 2 ist auf den hohen Stroheintrag von Wintertriticale (132 dt/ha) und Winterweizen (54 dt/ha) zurückzuführen. Beim dreijährigen Topinamburanbau wurde ein sehr niedriger Saldo ermittelt, somit ist mit einer ungünstigen Beeinflussung der Bodenfunktion und Ertragsleistung zu rechnen. Die übrigen Fruchtfolgen wiesen einen niedrigen Saldo (B) auf.

Für den theoretischen Fall der Rückführung von Gärresten ergab sich für alle Fruchtfolgen ein positiver Saldo (Abbildung 7). Die Fruchtfolgen befanden sich alle in der Gruppe D, wobei die Fruchtfolge 2 den höchsten Saldo erreichte, dicht gefolgt von den Fruchtfolgen 3, 4 und 5.



Abbildung 7: Humusbilanz, Anlage I, Bodenbearbeitung Pflug, 2005 bis 2008 mit Rückführung des Gärrestes.

3.5 Theoretische Biogas- und Methangasausbeute

Zunächst wurden die spezifischen Methanerträge in m³/ha der einzelnen Fruchtarten betrachtet. Hierbei wird deutlich, dass zwischen den Fruchtarten erhebliche Unterschiede bestehen. Mais erreichte in Hauptfruchtstellung im Durchschnitt den höchsten Methangasertrag pro Hektar (4.499 m³/ha), gefolgt von Sudangras (HF) mit 3.866 m³/ha, der Artenmischung (WW, WT, WG mit 3.677 m³/ha) und Wintertriticale mit 3.579 m³/ha (Anhang 9). In der Zweitfruchtstellung erreichte der Mais im Vergleich zum Sudangras ebenfalls den höheren Methanertrag pro Hektar (3.180 m³/ha vs. 1.857 m³/ha). Mit den Zwischenfrüchten

Futterroggen und Zuckerhirse wurden Methangaserträge von 1.299 m³/ha und 1.875 m³/ha erzielt. Mit den Sommergetreidearten sind im Vergleich zum Wintergetreide geringere Methangaserträge realisiert worden (2.188 m³/ha vs. 3.628 m³/ha).

Die Berechnung des Methanertrages der einzelnen Fruchtarten bildet die Grundlage für die in Abbildung 8 dargestellten, kumulierten Methanerträge der einzelnen Fruchtfolgen. Bei den Fruchtfolgen ist an dieser Stelle wieder das Verhältnis von Fruchtarten zur Biogasnutzung und Kornnutzung zu beachten. Mit den reinen Energiefruchtfolgen 1, 3 und 7 konnten die höchsten Methanerträge, im Bereich von 11.700 m³/ha bis 14.900 m³/ha, realisiert werden. Wesentlich wird diese Fruchtfolgeleistung durch den Maisanbau bestimmt. Auch mit den Fruchtfolgen 2 und 8 (nur oberirdische Biomasse) konnten hohe Methanerträge erwirtschaftet werden. Wobei die Fruchtfolge 2 ein Beispiel dafür ist, dass ein hoher Methanertrag auch bei der Integrierung von Energiepflanzen in Fruchtfolgen zur Marktfruchtproduktion möglich ist. Die Fruchtfolgen 4, 5 und 6 verdeutlichen, dass die Integrierung leistungsschwächerer Energiepflanzen, wie Sommergerste und Hafer, im Vergleich zu Mais und Sudangras in Fruchtfolgen zum Marktfruchtanbau zu einem geringeren Gasertrag führen (Bereich von 5.900 m³/ha bis 7.500 m³/ha).

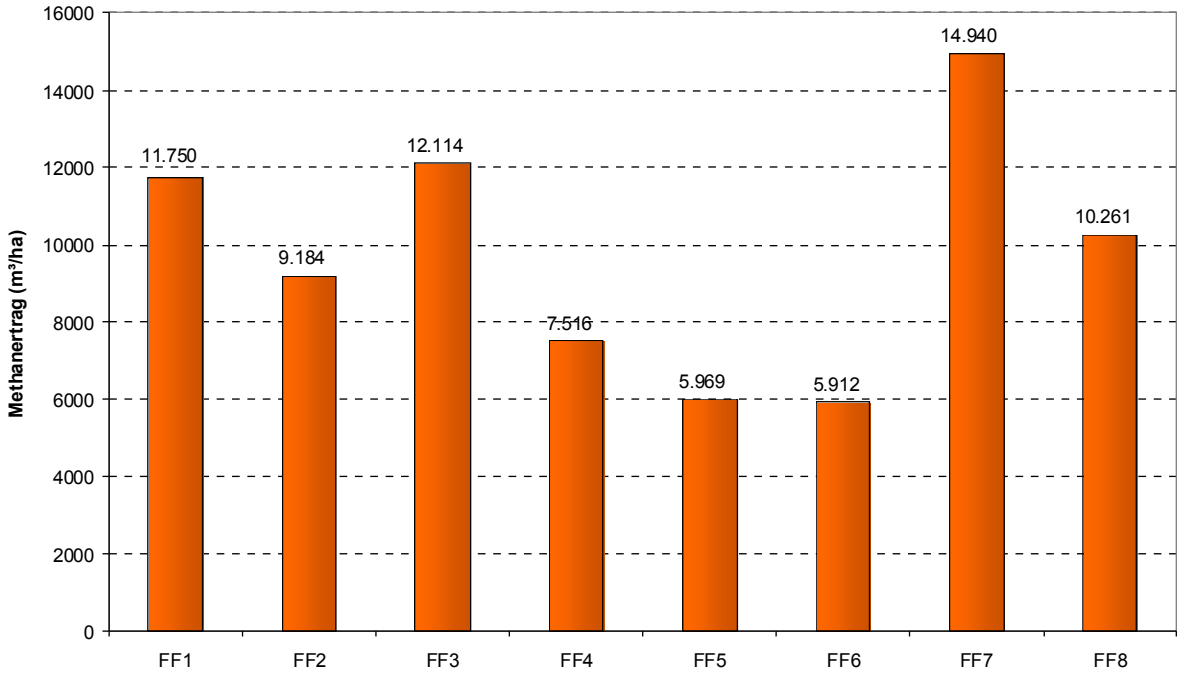


Abbildung 8: Kumulierte Methanerträge der einzelnen Fruchtfolgen, Anlage I, Bodenbearbeitung Pflug, 2005 bis 2008.

3.6 Ökonomische Bewertung

Die Grundlage für die ökonomische Bewertung bilden die Versuchsergebnisse von 2005 - 2008 der Anlagen I und II. Im Folgenden werden Berechnungen von der Uni Gießen vorgestellt. Für die vergleichende Betrachtung der Fruchtfolgen wurden für jede Fruchtfolge die durchschnittlichen jährlichen Leistungen, Kosten und Deckungsbeiträge aufsummiert. Anschließend wurden die kumulierten Beträge durch die Zahl der Jahre dividiert.

Alle ***Erträge*** wurden so verwendet, wie sie in den Versuchen ermittelt wurden. Lagerverluste fließen nicht mit ein. Für Anwelksilage wurde die Höhe des Wasserentzugs durch das Anwelken mit 8 %-Punkten festgelegt und ein Bröckelverlust von 10 % einbezogen. Zur Berechnung der ***Arbeitserledigungskosten*** wurden die Daten des KTBL herangezogen, wobei abweichend von den KTBL-Vorgaben folgende Werte mit berücksichtigt wurden: Zinssatz von 5 %, Stundenlohn von 15 €/h, Dieselpreis von 1,2 €/l und ein Heizölpreis von 0,65 €/l. In den Arbeitserledigungskosten ist die Ausbringung von ***Gärresten*** mit berücksichtigt. Es wird davon ausgegangen, dass mit 25 m³ Gärrest 1,2 Mineraldüngergaben eingespart werden können. Des Weiteren wird ein Methanpreis von 30 ct je m³ unterstellt. Multipliziert mit dem Methanbildungspotenzial ergibt sich der Erlös.

In die Kosten fließen Aufwendungen für Pflanzenschutzmittel und Saatgut mit aktuellen Preisen ein. Bei der Düngung wird davon ausgegangen, dass eine ertragsabhängige Düngung nach Entzug erfolgte.

Die Deckungsbeiträge sind bei den einzelnen Kulturen in Abhängigkeit von der Nutzungsrichtung und Fruchtfolgestellung sehr unterschiedlich ausgefallen. Positive Deckungsbeiträge erreichten bei der Ganzpflanzennutzung die Fruchtarten Mais - Hauptfrucht (234 €/ha, AI), Mais - Zweitfrucht (66 €/ha, AI), Wintertriticale (237 €/ha, AI) und Artenmischung (334 €/ha, AI). Deutlich höher lagen die Deckungsbeiträge bei der Kornnutzung von Winterweizen (646 €/ha, AI) und Wintertriticale (585 €/ha, AI). Mit Sommergerste und Hafer wurden im Vergleich zum Wintergetreide negative Deckungsbeiträge (-88 €/ha und -56 €/ha) erzielt. Dies gilt ebenfalls für die Zwischenfrüchte Zuckerhirse (-134 €/ha) und einjähriges Weidelgras (-407 €/ha). Die Deckungsbeiträge der einzelnen Fruchtarten sind in Anhang 10 dargestellt.

In Abbildung 9 ist eine vergleichende Betrachtung der Fruchtfolgen dargestellt. In der Anlage I wird ersichtlich, dass die getreide-raps-betonten Fruchtfolgen 5 und 6 bzw. der dreijährige Maisanbau (FF 7) die höchsten Deckungsbeiträge erreichten und somit rentabler sind als die reinen Energiefruchtfolgen 1, 3, 4 und 8. Dies ist einerseits auf den hohen Preis der Marktfrüchte zurückzuführen und andererseits auf den hohen Arbeitsaufwand vor allem in der Fruchtfolge 3, welche sechs Fruchtarten enthält. Der Deckungsbeitrag der sudangras-mais-betonten Fruchtfolge 2 kommt dem Deckungsbeitrag der Fruchtfolgen 5 und 6 am nächsten. Als favorisierte Energiefruchtfolge weist Fruchtfolge 3 den höchsten Deckungsbeitrag auf, dicht gefolgt von der Fruchtfolge 1. In die Bewertung der Fruchtfolge 8 -mehrjähriger Topinamburanbau - sind neben dem Kraut auch die Knollen mit eingeflossen. Es wurde somit ein Deckungsbeitrag auf dem Niveau der Fruchtfolge 3 erreicht.

Für Anlage II kann noch keine abschließende Aussage getroffen werden, da die Marktfrucht Winterweizen erst 2009 geerntet wird und somit noch nicht in die Bewertung einfließen konnte. Im Vergleich zur Anlage I wird bis jetzt ersichtlich, dass mit der Fruchtfolge 3 ein negativer Deckungsbeitrag erzielt wurde. Die Fruchtfolge 2 liegt über den Fruchtfolgen 5 und 6, was sich mit dem hohen Maisertrag 2007 erklären lässt.

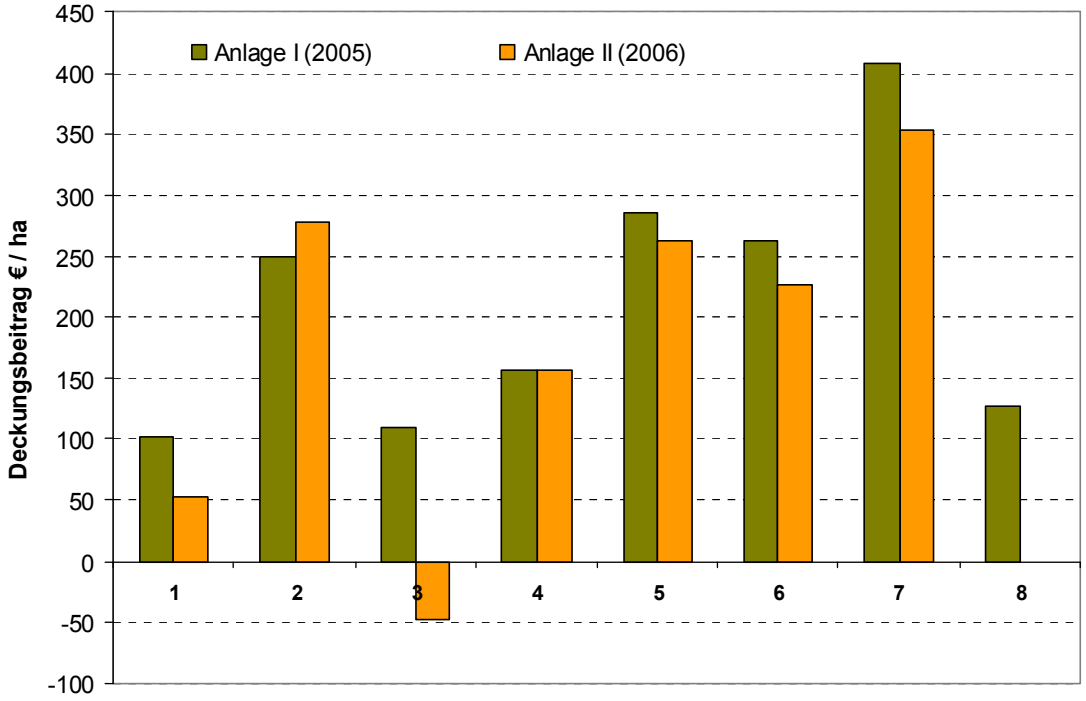


Abbildung 9: Deckungsbeiträge der einzelnen Fruchtfolgen, Anlage I und II, Uni Gießen.

3.7 Anbauempfehlungen für die Region

Unter der Berücksichtigung ökonomischer und ökologischer Gesichtspunkte können am Standort hohe Erträge erzielt werden. Sinnvoll ist der Anbau fünfgliedriger Fruchtfolgen, wobei sich als ertragsstarke und stabile Energiepflanzen Mais (HF/ZF), Sudangras (HF), Wintertriticale (GP), Artenmischung (GP) und Topinamburkraut bewährt haben. Vorteilhaft bei der Fruchtfolgegestaltung ist die Kombination von leistungsstarken Energiepflanzen und Marktfrüchten. Hohe Methanerträge wurden mit den Fruchtfolgen 7, 3 und 1 erreicht, dicht gefolgt von den Fruchtfolgen 2 und 8.

Auch die Fruchtfolgestellung hat einen wesentlichen Einfluss auf den zu erreichenden Ertrag. Der Mais in Zweitfruchtstellung erreichte in Kombination mit der WZF Futterroggen Erträge, die dem Maisertrag in Hauptfruchtstellung recht nahe kommen. Bei Sudangras in Zweitfruchtstellung konnte in Kombination mit der WZF Futterroggen der Ertrag gesteigert werden.

Die Eingliederung von Luzerne-Gras bietet für den Nährstoff- und Humushaushalt Vorteile. Günstig ist eine zweijährige Nutzung, wobei mit starken Ertragsschwankungen in Abhängigkeit von den jährlichen Aufwuchsbedingungen zu rechnen ist.

Als Zwischenfrüchte wurden Futterroggen, Zuckerhirse, Ölrettich und einjähriges Weidelgras in den Fruchtfolgen angebaut. Für den Zwischenfruchtanbau sind Futterroggen bzw. Zuckerhirse zu empfehlen. Bei der Zuckerhirse waren jedoch hohe witterungsbedingte Ertragsschwankungen zwischen den einzelnen Jahren zu beobachten.

Die Berechnungen der Nährstoff- und Humusbilanz belegen, dass durch den Energiepflanzenanbau die Parameter der Bodenfruchtbarkeit (Humus-C, N, P, K) beeinflusst werden.

Zum notwendigen Ausgleich sollten folgende Punkte Berücksichtigung finden:

- Durchführung der Mineraldüngung anhand der Vorgaben zur Guten fachlichen Praxis (Stickstoff-SBA- Methode; P, K, Mg nach Entzug)
- Rückführung von Gärresten
- Einbeziehung von Fruchtarten zur Gründüngung (z. B. Ölrettich, Senf)
- Anbau von Marktfrüchten in den Fruchtfolgen und Verbleib der Nebenernteprodukte auf dem Feld.

4 Zusammenfassung

Am Standort Dornburg wurden über den Zeitraum 2005 bis 2008 acht Fruchtfolgesysteme zur Biogasproduktion auf ihre Ertrags- und Biogasleistung untersucht. Hierbei sollte der gewählte Standort die E-Weizen-Standorte der trockenen Lößackerebenen vertreten. In die Fruchtfolgen wurden sowohl traditionelle Fruchtarten, wie Mais und Ganzpflanzengetreide, als auch neue Pflanzen (Sorghumhybriden) aufgenommen. Sie wurden je nach Fruchtfolgestellung in Haupt- und Zweitfruchtstellung angebaut und mit Zwischenfrüchten wie Futterroggen, Ölrettich und einjährigem Weidelgras kombiniert. Abgeschlossen wurden die Fruchtfolgen mit Winterweizen als Marktfrucht.

Die Ergebnisse verdeutlichen, dass unter diesen Standortbedingungen die leistungsfähigsten Fruchtfolgevarianten kumulierte Trockenmasseerträge von 431 bis 522 dt TM/ha erreichten. Mit diesen Anbausystemen sind Methangaserträge von 9.100 bis 14.900 m³/ha realisierbar. Die Fruchtfolgeglieder Mais, Wintertriticale, Sudangras und Topinamburkraut bestimmten dabei wesentlich den Gesamtertrag. Sinnvoll ist es, Mais und Sudangras sowohl in Haupt- als auch in Zweitfruchtstellung in die Fruchtfolge zu integrieren.

Bei der Eingliederung von Ganzpflanzengetreide in die Energiepflanzenfruchtfolgen sind die Wintergetreidearten (Wintertriticale, Winterroggen, Artenmischung) den Sommergetreidearten (Sommergerste, Hafer) vorzuziehen.

Für den Zwischenfruchtanbau sind sowohl Futterroggen als auch Zuckerhirse in Betracht zu ziehen.

Im Versuchsjahr 2008 wurden alle Fruchtfolgen mit Winterweizen abgeschlossen. Es wurden standorttypische Erträge erreicht, jedoch konnte auch ein Einfluss der Vorfrucht auf den Ertrag beobachtet werden. Die Bestände sind in einigen Fruchtfolgen schneller abgereift und es ist davon auszugehen, dass von Wintertriticale (Korn) eine Krankheitsübertragung auf den Weizen stattgefunden hat. Eine positive Vorfruchtwirkung des Luzernegrases konnte nicht herausgestellt werden.

Die Berechnung der Humus- und Nährstoffbilanz lässt erkennen, dass der Boden durch den Energiepflanzenanbau beeinflusst wird. Zur Erhaltung der Bodenfruchtbarkeit und Sicherung eines ausgeglichenen Saldos ist es angebracht, die Gärreste zurückzuführen, Nebenernteprodukte teilweise auf der Fläche zu belassen bzw. Pflanzen zur Gründüngung mit in die Fruchtfolge einzubeziehen.

5 Weiterführende Versuche

Weiterführende Versuche zur Thematik Fruchtfolgegestaltung zur Biogasproduktion, Ganzpflanzengetreide bzw. Prüfung der Ertragsleistung von verschiedenen Hirsesorten sollen zur Ergebnisfindung und Abrundung des Fruchtfolgeversuches im Teilprojekt 1 beitragen.

5.1 Standorte und Versuche

Charakterisierung der Versuchsstandorte

Im Jahr 2005 wurden an unterschiedlichen Standorten in Thüringen Versuche zum Energiepflanzenanbau angelegt (Tabelle 4). Die Standorte Heßberg und Burkersdorf grenzen sich durch hohe Niederschläge (> 600 mm) und einer identischen Jahresdurchschnittstemperatur (7,0 °C) von den anderen Standorten ab. Im Vergleich dazu fallen die Niederschläge in Friemar und Straußfurt deutlich geringer aus, jedoch liegt die Jahresdurchschnittstemperatur über 7,5 °C.

Tabelle 4: Versuchsstandorte

Standort	Bodenform	Bodenart	Ackerzahl	Höhenlage (m)	Temperatur (°C)	Niederschlag (mm)
Heßberg	Berton Staugley	Lehm-Ton	43	380	7,1	760
Burkerdorf	Berglehm Braunerde	sandiger Lehm	36	440	7,0	642
Friemar	Löss-Braun Schwarzerde	Lehm	96	284	7,7	519
Straußfurt	Ton Schwarzerde	Ton	64	185	8,5	473

Auflistung der Versuche und Kurzbeschreibung

Fruchtfolgeversuch zur Biogasproduktion (Heßberg, Straußfurt)

Zur Ermittlung der Energieerträge bei unterschiedlichen Standortverhältnissen wurde ein Fruchtfolgeversuch mit acht Fruchtfolgen in Heßberg und Straußfurt etabliert. Straußfurt wurde als extrem niederschlagsarmer (473 mm) und recht warmer (8,5 °C) Standort in den Versuch einbezogen. Demgegenüber ist Heßberg ein sehr niederschlagsreicher (760 mm) und kühler (7,1 °C) Standort. Aufgrund der niedrigen Temperaturen kann Heßberg als Maisgrenzstandort betrachtet werden. Neben Hafer, Futterroggen als Winterzwischenfrucht und Mais erfolgt der Anbau und die mehrjährige Nutzung von Luzernegras (Straußfurt), Kleegras (Heßberg) und Ackergras (Straußfurt, Heßberg). Nach dreijähriger Nutzung ist ein Umbruch und anschließend der Anbau von Sommergerste (Korn) / Winterraps (Korn) und Sommergerste (Korn) / Winterweizen (Korn) geplant bzw. nach vierjähriger Nutzung ein Anbau von Winterraps und Winterweizen. Als Versuchsanlage wurde eine einfaktorielle Blockanlage (A-Block) gewählt. Aufgrund der mehrjährigen Nutzung der Untersaaten wurde jedoch auf eine Randomisierung der Versuchsanlage verzichtet (Tabelle 5).

Tabelle 5: Fruchtfolgen Heßberg und Straußfurt ([1] Ganzpflanzengetreide)

1	2	3	4	5	6	7	8	Jahr
SG[1] + Luzernegras	SG[1] + Luzernegras	SG[1] + Kleegras	SG[1] + Kleegras	SG[1] + Ackergras	SG[1] + Ackergras	Hafer[1] WZF FR	Hafer[1] WZF FR	2005
LG	LG	KG	KG	AG	AG	ZF-Mais	ZF-Mais	2006
LG	LG	KG	KG	AG	AG	Mais	Mais	2007
1 Schnitt LG / WRa	2 Schnitte LG / WW	1 Schnitt KG / WRa	2 Schnitte KG / WW	SG / WRa	SG / WW	SG / WRa	SG / WW	2008
WRa	WW	WRa	WW	WRa	WW	WRa	WW	2009
WW	WW	WW	WW	WW	WW	WW	WW	2010

Ertragsleistung von verschiedenen Getreidearten zur Biogasproduktion (Burkersdorf, Friemar)

Der in Burkersdorf und Friemar angelegte Versuch sollte die Eignung verschiedener Getreidearten zur Erzeugung von Ganzpflanzengetreide zur Biogasproduktion herausstellen. Es wurden verschiedene Sorten der Getreidearten Hafer, Triticale und Roggen nach den Kriterien geringe Krankheitsanfälligkeit und Standfestigkeit ausgewählt (Tabelle 6). Ein weiterer Prüffaktor war die Aussaatstärke, um die Bestandesetablierung bei ortsüblicher und niedriger Aussaatstärke im Hinblick auf eine mögliche Kostensenkung zu betrachten. Der Versuch wurde als dreifaktorielle Spaltanlage A/B/C-Block mit vollständig randomisierten Blöcken angelegt. Hierfür wurde die Versuchsfläche in Großteilstücke und Kleinteilstücke aufgespalten. Auf dem Großteilstück wird der Prüffaktor mit dem größeren Flächenanspruch (Prüffaktor A: Getreidearten) geprüft, während gleichzeitig die Stufen des zweiten Faktors (Prüffaktor B: Sorten) und dritten Faktors (Prüffaktor C: Aussaatstärke) als Kleinparzelle in der Großparzelle zu liegen kommen.

Tabelle 6: Getreidearten und Sorten ([1] SM - Sortenmischung)

	Hafer	**Triticale**	**Roggen**
Sorte 1	Atego (G)	Benetto	Borfuro (Furoggen)
Sorte 2	Dominik (G)	Inpetto	Recrut (P)
Sorte 3	Freddy (W)	Talentro	Caroass (S)
SM[1] aus 1,2,3	Atego (G) Dominik (G) Freddy (W)	Benetto Inpetto Talentro	Borfuro (Furoggen) Recrut (P) Caroass (S)
SM[1]	Flämingskurz (G) Dominik (G) Flämingsprofi (W)	Tritikon (lang) Trimester (mittel) Magnat (kurz)	Boresto (P) Nikita (P) Askari (H)

Biomasseleistung von Hirsen (Heßberg, Friemar)

An den Standorten Heßberg und Friemar wurden vier Hirsesorten (Lussi, King 61, Susu, Sucrosorgo 506, Akklimat ab 2007) auf ihre Ertragsleistung geprüft. In Friemar erfolgte der Anbau der Hirse in Haupt- und Zweitfruchtstellung. Als Winterzwischenfrucht kam Futterroggen (Vitallo) zum Anbau. Angelegt wurde der Versuch als vollständig randomisierte Blockanlage (A-Block).

5.2 Versuchsdurchführung

In den Versuchen wurden umfangreiche Bonituren zur Erfassung des Biomassezuwachses und somit zur Ertragsentwicklung durchgeführt. Da für den Energiepflanzenanbau keine eindeutigen Richtlinien zur Bonitur vorlagen, wurde auf die BSA-Richtlinie für die Durchführung landwirtschaftlicher Wertprüfung zurückgegriffen.

5.3 Ergebnisse

Fruchtfolgeversuch zur Biogasproduktion (Heßberg, Straußfurt)

Bei Hafer und Sommergerste sind nur geringe Ertragsunterschiede zwischen den Standorten zu erkennen. So wurden im Durchschnitt 71 dt TM/ha Sommergerste und 88 dt TM/ha Hafer geerntet. Der Ertrag der WZF Futterroggen ist in Heßberg (51 dt TM/ha) geringer ausgefallen als in Straußfurt (62 dt TM/ha). Als mögliche Ursache kann hier die späte Düngung im Frühjahr, aufgrund der lang vorhandenen Schneedecke, genannt werden. Mit der ZF Mais wurden in Heßberg (158 dt TM/ha) jedoch deutlich höhere Erträge erreicht als in Straußfurt (89 dt TM/ha). Die Niederschläge im September 2005 (47 mm) und die Temperaturen um 20°C förderten das Wachstum von Kleegras und Ackergras in Heßberg, so dass bereits im Ansaatjahr ein erster Schnitt möglich war. Im 1. Nutzungsjahr konnten dann vier Schnitte durchgeführt werden, wobei der vierte Schnitt ertragsmäßig geringer ausfiel, sich jedoch vor Winter als notwendig erwies. Aufgrund der hohen Trockenheit konnten bei Luzerne- und Ackergras in Straußfurt nur zwei Schnitte vorgenommen werden. Insgesamt betrachtet, fielen die Erträge in Straußfurt deutlich geringer aus.

Im Versuchsjahr 2007 konnten in Heßberg bei den Gräsern fünf Schnitte realisiert werden und in Straußfurt drei, wobei die Erträge in Heßberg wieder deutlich höher ausfielen. Mit dem Mais in Hauptfruchtstellung wurde in Heßberg ein Ertrag von 196 dt TM/ha erzielt und in Straußfurt 151 dt TM/ha. Im Versuchsjahr 2008 konnte nur noch der Versuch in Heßberg weitergeführt werden. Die Erträge des Kleegrases gingen im 3. Nutzungsjahr deutlich zurück. Nach dem Kleegras wurden Winterraps bzw. Winterweizen ausgesät. Die Sommergerste erreichte nach Ackergras einen Ertrag von 23 dt Korn/ha und nach Mais 33 dt Korn/ha. Nach der Sommergerste wurden ebenfalls Winterraps bzw. Winterweizen bestellt.

Eine vergleichende Betrachtung der Fruchtfolgen ist bis zum Versuchsjahr 2007 möglich. An beiden Standorten wurden die Fruchtfolgen 5 bis 8 angebaut (Abbildung 10 und 11). Mit den Fruchtfolgen 7 und 8[2] konnten die höchsten Erträge erzielt werden, gefolgt von den Fruchtfolgen 5 und 6[3], wobei eine deutliche Ertragsdifferenz zwischen den Standorten vorliegt. Die hohen Erträge der Fruchtfolgen 7 und 8 lassen sich durch die guten Maiserträge erklären. Um die Biomasseleistung von Gräsern zu testen, wurden in Heßberg Kleegras (FF 3 und 4[4]) und Ackergras (FF 5 und 6) angebaut. Mit dem Ackergras konnten im Vergleich zum Kleegras am Standort höhere Erträge erzielt werden. In Straußfurt erfolgte der Anbau von Luzernegras (FF 1 und 2[5]) und Ackergras (FF 5 und 6). In den Nutzungsjahren waren zwei bzw. drei Schnitte bei den Gräsern möglich, wobei keine Ertragsunterschiede im Gesamttrockenmasseertrag herausgestellt werden konnten (Abbildung 11).

[2] FF 7/8-Hafer (GP)/WZF Futterroggen/Mais (ZF)/Mais/Sommergerste/Winterraps bzw. Winterweizen
[3] FF 5/6-Sommergerste+US Ackergras/Ackergras/Ackergras/Sommergerste/Winterraps bzw. Winterweizen
[4] FF 3/4-Sommergerste+US Kleegras/Kleegras/Kleegras/Winterraps bzw. Winterweizen
[5] FF 1/2-Sommergerste+US Luzernegras/Luzernegras/Luzernegras/Winterraps bzw. Winterweizen

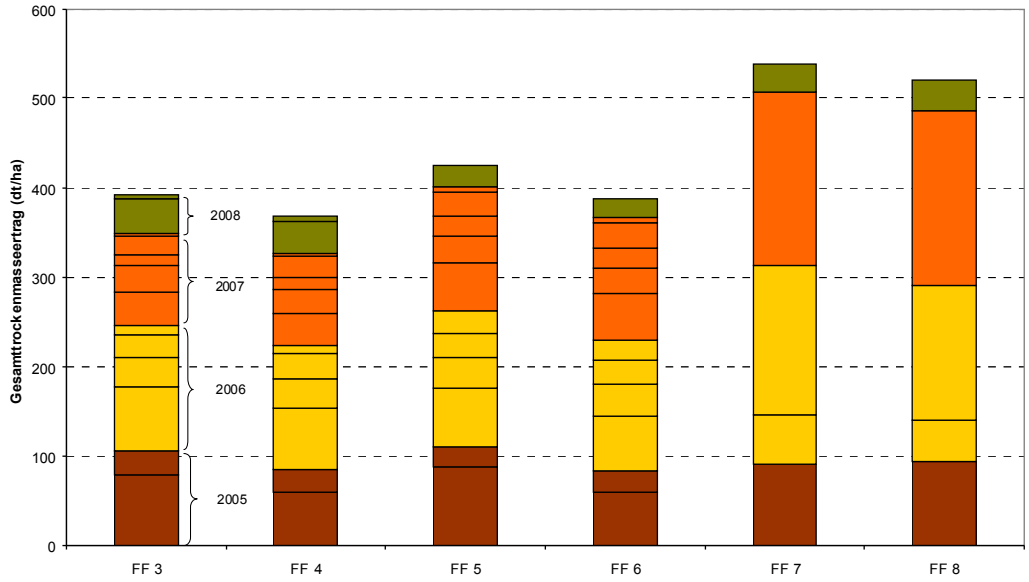


Abbildung 10: Gesamttrockenmasseerträge der einzelnen Fruchtfolgen am Standort Heßberg (2005 - 2008).

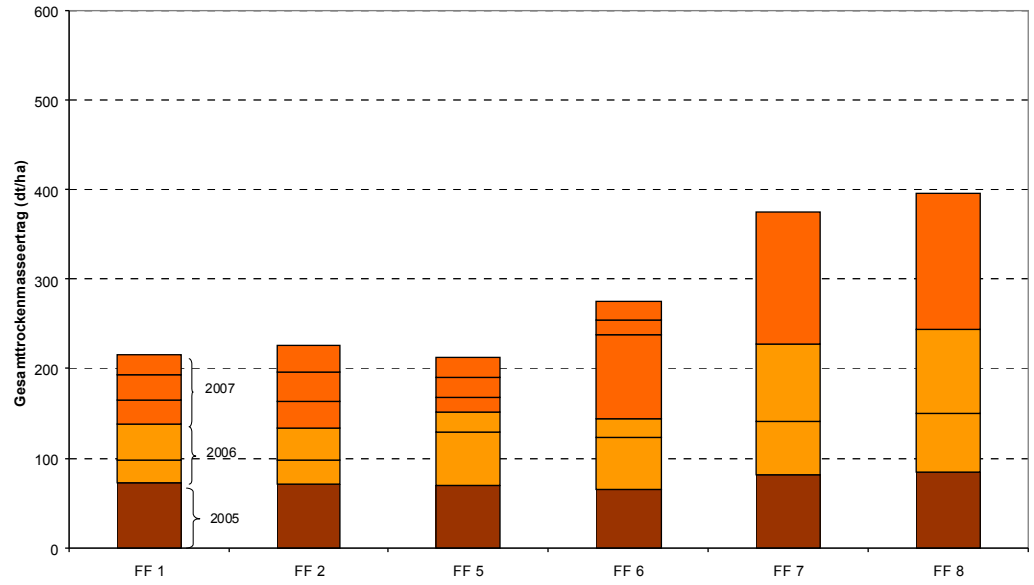


Abbildung 11: Gesamttrockenmasseerträge der einzelnen Fruchtfolgen am Standort Straußfurt (2005 - 2007).

Ertragsleistung von Getreidearten zur Biogasproduktion (Burkersdorf, Friemar)

Anhand der dreijährigen Ergebnisse wird ersichtlich, dass in Burkersdorf mit Wintertriticale, gefolgt von Winterroggen im Mittel der Sorten der höchste Ertrag erzielt werden konnte. Deutlich geringer fiel der Ertrag von Hafer aus. In Friemar wurden ebenfalls die höchsten Erträge mit Wintertriticale erzielt und im Vergleich zu Burkersdorf wurden deutlich höhere Erträge mit Hafer erreicht. Ein Einfluss der Saatstärke konnte an den Standorten nicht beobachtet werden (Tabelle 7).

Tabelle 7: Erträge Ganzpflanzengetreide im Mittel der Sorten an den Standorten Friemar und Burkersdorf bei niedriger und ortsüblicher Saatstärke

	Friemar		Burkersdorf	
	niedrig	ortsüblich	niedrig	ortsüblich
Hafer	98,15	106,61	63,80	56,15
Wintertritcale	126,97	137,16	110,66	106,49
Winterroggen	103,79	109,62	110,54	104,83

Die vergleichende Betrachtung der einzelnen Sorten und der Sortenmischungen verdeutlicht, dass zwischen den Sorten größere Ertragsdifferenzen vorliegen als bei den Sortenmischungen (Abbildung 12). Insgesamt betrachtet konnten mit den Sortenmischungen zwar keine höheren Erträge erzielt werden, jedoch ist ein stabileres Ertragsniveau zu erwarten. Der Ganzpflanzengetreideanbau, auch in Form von Sorten- und Artenmischungen, kann als wertvolle Ergänzung in der Biogasproduktion betrachtet werden. Neben einer problemlosen Etablierung in die Fruchtfolge wird unter anderem zur Erweiterung der Artenvielfalt in der Kulturlandschaft beigetragen. Eine Sortenempfehlung gestaltet sich jedoch schwierig. Durch die Weiterführung der Versuche, nicht nur in Thüringen, soll die Aussagefähigkeit der gewonnenen Erkenntnisse weiter abgesichert werden (Verbundvorhaben: Optimierung des Anbauverfahrens für Ganzpflanzengetreide inklusive Arten- und Sortenmischungen). Neben der Ableitung geeigneter Sorten- und Artenmischungen muss das Produktionsverfahren im Hinblick auf den Pflanzenschutz noch näher betrachtet werden, um präzisere Empfehlungen geben zu können. Durch das bekannte Anbauverfahren und die ausgereifte bzw. vielfältig vorhandene Erntetechnik ist eine gute Integrierung in den betrieblichen Ablauf gewährleistet.

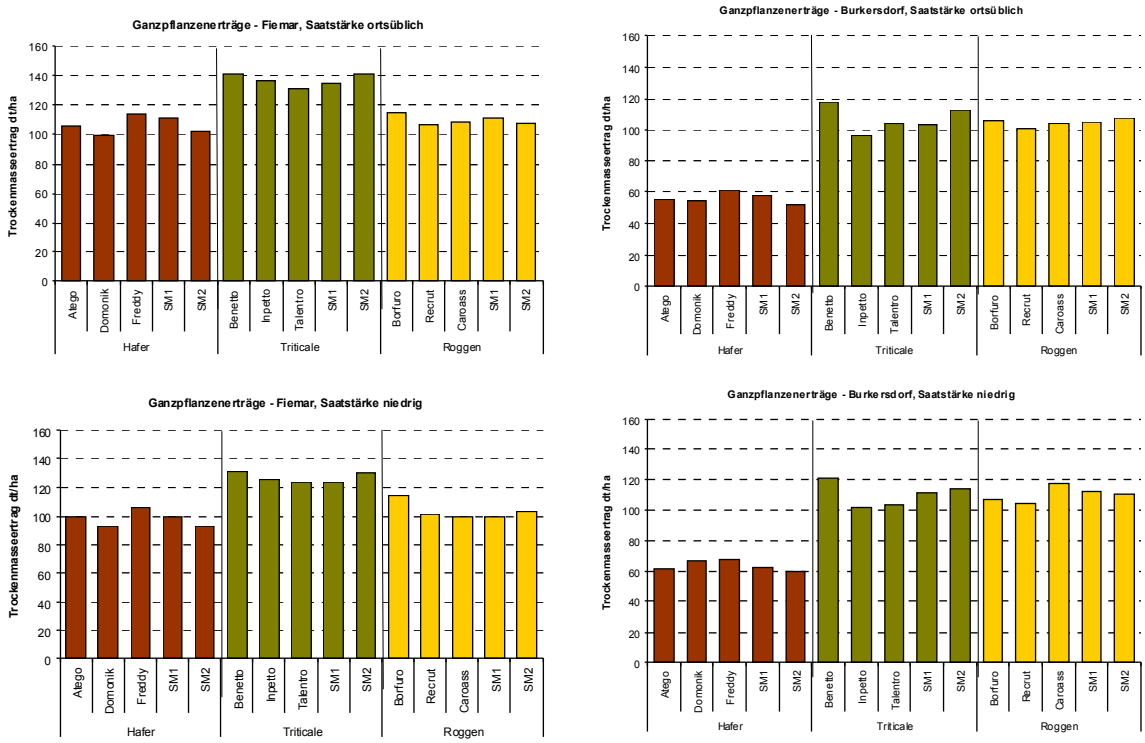


Abbildung 12: Erträge Ganzpflanzengetreide, Standorte Friemar und Burkersdorf, Gegenüberstellung der Sorten-und Sortenmischungen (2006 - 2008).

Biomasseleistung von Hirsen (Heßberg, Friemar)

Der Sortenvergleich ergab für das Jahr 2006, dass in Heßberg der Ertrag der einzelnen Sorten im Mittel (198 dt TM/ha) deutlich höher ausgefallen ist, als in Friemar (96 dt TM/ha). Jedoch ist an beiden Standorten eine Tendenz dahingehend zu erkennen, dass mit den Sorten Lussi und Sucrosorgo höhere Trockenmasseerträge realisierbar sind als mit King 61 und Susu. Der Erntetermin wurde 2006 an beiden Standorten zu früh gewählt, was zum einen auf die Verfügbarkeit der Technik und zum anderen auf die schwierige Feststellung des Entwicklungsstadiums zurückzuführen ist. Für die Weiterführung der Versuche ist eine vorherige Bestimmung des Trockenmassegehaltes unabdingbar. Zu dem sehr frühen Erntetermin wurde nur von der Sorte Lussi der angegebene Trockenmassegehalt erreicht. Die Sorte Sucrosorgo hatte zum Teil noch keine Ripse gebildet und wies zum Zeitpunkt der Ernte nur einen Trockenmassegehalt von 19 % auf (Abbildung 13). Im Versuchsjahr 2007 konnten in Friemar höhere TS-Gehalte zur Ernte erreicht werden. Insgesamt betrachtet wurden bei den geprüften Sorten höhere Erträge erreicht als 2006. In Heßberg ist eine ähnliche Tendenz wie 2006 zu erkennen. Mit der Sorte Susu wurde wieder der geringste Ertrag erzielt.

An beiden Standorten wird ein deutlicher Einfluss der Jahreswitterung ersichtlich. Eine eindeutige Sortenempfehlung lässt sich anhand der zweijährigen Ergebnisse nicht ableiten.

In Friemar erfolgte der Anbau der einzelnen Sorten auch in Zweitfruchtstellung. Die höchsten Erträge konnten so mit King 61 und Sucrosorgo erreicht werden. Die Sorten Lussi und Susu befinden sich auf einem ähnlichen Niveau. Deutlich niedriger fiel der Ertrag der Sorte Akklimat aus. In der Hauptfruchtstellung erreichten die Sorten am Standort jedoch höhere Erträge als in Zweitfruchtstellung kombiniert mit einer Winterzwischenfrucht (Abbildung 14)

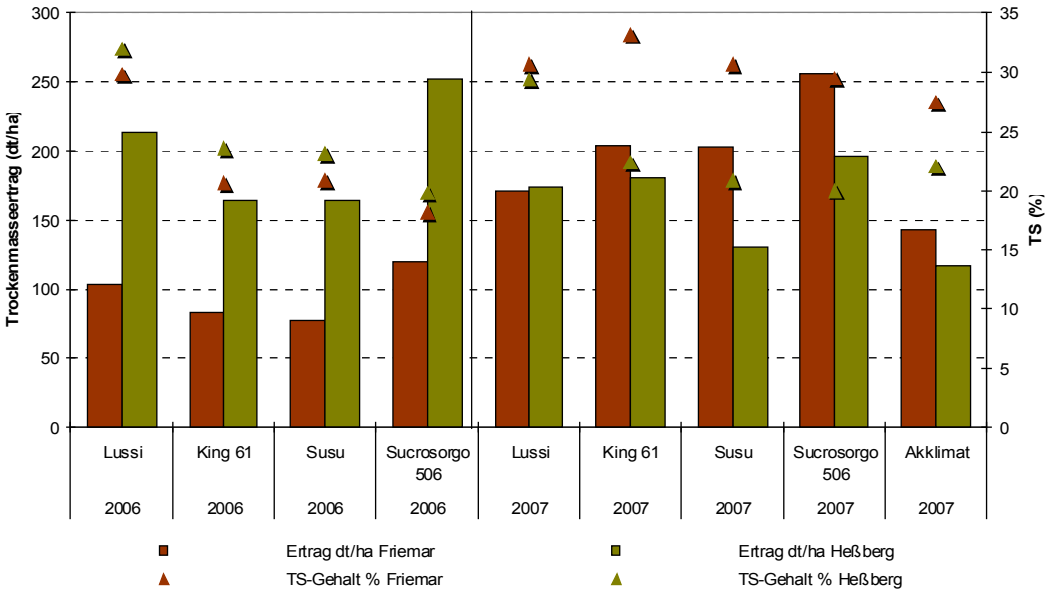


Abbildung 13: Trockenmasseerträge der Hirsesorten an den Standorten Heßberg und Friemar (2006 und 2007).

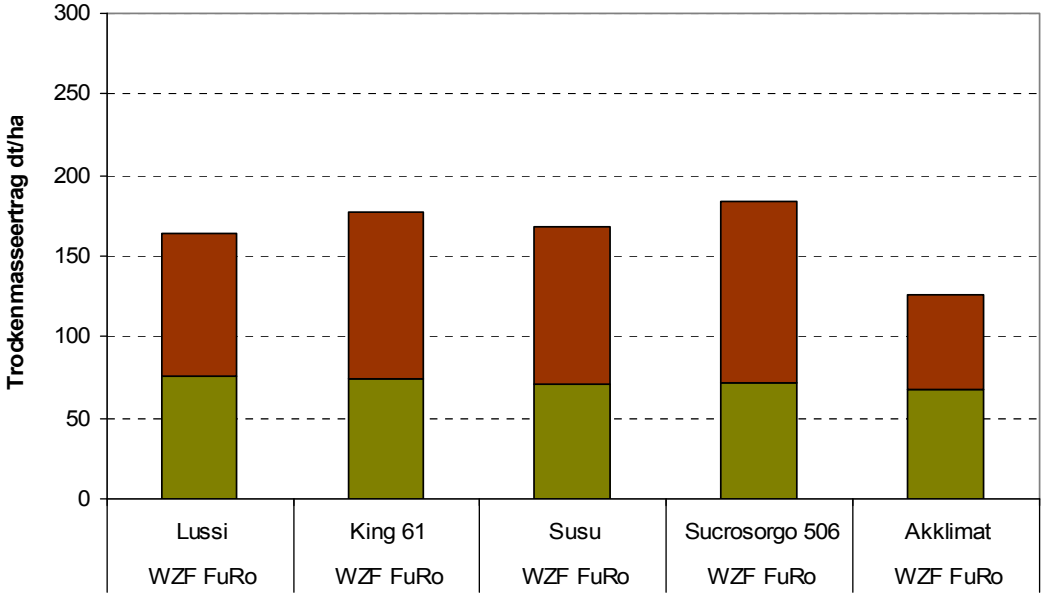


Abbildung 14: Ertragsentwicklung der Hirsesorten in Zweitfruchtstellung am Standort Friemar (2007).

Fazit:

Der Fruchtfolgeversuch zur Biomasseproduktion verdeutlicht, dass eine Kombination von Energiepflanzen (Mais, WZF Futterroggen) und Marktfrüchten (Sommergerste) hohe Flächenerträge ermöglicht. Auch der Anbau von, an den Standort angepassten, Gräsermischungen ist Erfolg versprechend. So ist in Hessberg ein Ackergrasanbau sinnvoll und in Straußfurt können sowohl Luzerne- als auch Ackergras zu hohen Erträgen beitragen.

Die Prüfung von Ganzpflanzengetreide zur Biogasproduktion hat ergeben, dass die Wintergetreidearten Wintertriticale und Winterroggen ertragsreicher sind als Hafer (Burkersdorf). Wobei in Friemar auch ein Anbau von Hafer sinnvoll erscheint.

Bei der Biomasseleistung von Hirsen wird ersichtlich, dass in Abhängigkeit vom Standort Erträge auf dem Niveau von Ganzpflanzengetreide, wie Wintertriticale und Winterroggen erzielt werden können. In Friemar ist des Weiteren die Kombination WZF Futterroggen/Hirsen zur Absicherung der Gesamterträge aussichtsreich.

6 Literatur

Bühl, A., Zöfel, P. (2002): SPSS 11-Einführung in die moderne Datenanalyse unter Windows. 8. Auflage. Pearson Studium

Heß, H., Zorn, W. (2008): Betriebsbezogene handschriftliche Nährstoffbilanz gemäß Düngeverordnung (DüV) 2007

Hösel, K. (2008): Verdunstung als Term der Wasserbilanz. Proseminar: Hydrologie/Glaziologie. Ludwig-Maximilian-Universität München

DLG (1997): Futterwerttabelle für Wiederkäuer

FNR (2005): Handreichung „Biogasgewinnung und -nutzung“

Munzert, M. (1992): Einführung in das pflanzenbauliche Versuchswesen. Verlag Paul Parey. Berlin und Hamburg

Schumann et al. (1997): Fallstudien und Konzepte zur Einführung bilanzorientierter Düngung in der deutschen Landwirtschaft. Landbauforschung Völkenrode. Sonderheft 180

Zorn, W., Heß, H., Albert, E., Kolbe, H., Kerschberger, M., Franke, G. (2007): Düngung in Thüringen 2007 nach „Guter fachlicher Praxis“. Schriftenreihe Landwirtschaft und Landschaftspflege in Thüringen. Heft 7/2007

Technologie- und Förderzentrum
im Kompetenzzentrum für Nachwachsende Rohstoffe

Entwicklung und Optimierung von standortangepassten Anbausystemen für Energiepflanzen im Fruchtfolgeregime

- Teilvorhaben Bayern -

(Kern- und Regionalfruchtfolgen)

Abschlussbericht

20.02.2009

Dr. Kathrin Deiglmayr
Dr. Maendy Fritz
Franz Heimler
Dr. Bernhard Widmann

Leiter und Projektleiter:
Dr. Bernhard Widmann

Laufzeit des Projekts:
15.03.2005 bis 31.01.2009

1 Einleitung und Zielsetzung

Mit dem Integrierten Energie- und Klimaprogramm (Meseberg, 2007) hat die Bundesregierung ambitionierte Ziele zum Ausbau der Erneuerbaren Energien vorgelegt (http://www.bmu.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/hintergrund_meseberg.pdf). So soll bis 2020 der Anteil der Erneuerbaren Energien bei der Stromerzeugung auf 25 bis 30 % und bei der Wärmebereitstellung auf 14 % erhöht werden. Um diese Ziele zu erreichen, soll auch die Biogaserzeugung weiter ausgebaut werden. Dieser Produktionszweig ist trotz veränderter wirtschaftlicher Rahmenbedingungen 2008 weiterhin stark gewachsen. So hat der Flächenumfang zur Erzeugung von Biomasse für die Biogasnutzung nach Schätzungen der Fachagentur Nachwachsende Roh-stoffe e.V. von 2007 auf 2008 um etwa 100.000 ha auf 500.000 ha zugenommen (http://www.fnr.de/).

Bisher wird die Produktion von Energiepflanzen für die Biogasnutzung von der Kultur Mais dominiert, da diese über hohe Flächenerträge einen hohen Biogasertrag je Hektar liefert. In der näheren Umgebung von Biogasanlagen kommt es oft zu einer ausgeprägten lokalen Ausweitung der Maisanbauflächen. Besonders die Gefahr von Erosion und Verringerung des Humusgehalts im Boden, aber auch die Artenarmut in der Landwirtschaft sowie die intensive Bestandesführung können längerfristig zu Problemen führen. Seit Oktober 2008 ist zudem in Befallsgebieten des Westlichen Maiswurzelbohrers (*Diabrotica virgifera virgifera*) der Maisanteil auf 66 % in der Fruchtfolge beschränkt. Aus diesen Gründen ist es notwendig, nachhaltige Fruchtfolgen zu entwickeln, die neben Mais alternative Energiepflanzen enthalten.

Seit 2005 läuft das vom Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (BMELV) geförderte und von der Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR) betreute Verbundvorhaben „EVA I“ (Entwicklung und Vergleich von optimierten Anbausystemen für die landwirtschaftliche Produktion von Energiepflanzen unter verschiedenen Standortbedingungen Deutschlands) an sieben Standorten in Deutschland. In diesem Vorhaben werden Kulturarten in verschiedenen Anbausystemen auf Ertragsfähigkeit, Eignung für die Biogasproduktion, Wirtschaftlichkeit und Nachhaltigkeit geprüft. Das Ziel dieses Verbundprojektes ist es, konkrete Anbauempfehlungen und Fruchtfolgevorschläge für die in der Energieproduktion empfehlenswerten Kulturen zu entwickeln.

Dazu ist es nötig, unter Berücksichtigung pflanzenbaulicher, ökonomischer und ökologischer Kriterien die Kulturen und Anbausysteme zu bestimmen, die am jeweiligen Standort hohe Nettoenergieerträge je Flächeneinheit erbringen können. An insgesamt sieben Standorten, die typische Agrarregionen Deutschlands repräsentieren, werden für das Teilprojekt 1 fünf identische Kernfruchtfolgen angebaut. Zudem wurden entsprechend den jeweiligen Standortbedingungen und verbreiteten Betriebsformen Regionalfruchtfolgen entwickelt. Sowohl die Kern- als auch die Regionalfruchtfolgen werden über ihre gesamte Dauer bewertet, so dass die Landwirte praxisnahe Empfehlungen erhalten, wie sie den Anbau von Energiepflanzen in ihre Produktionssysteme einbauen können.

Daneben wurden in Bayern Versuche zu Minimierungsstrategien und zum Mischfruchtanbau angelegt (siehe Abschlussberichte zur Faktorminimierung und zum Mischfruchtanbau).

2 Material und Methoden

2.1 Standortcharakteristik

Im Teilprojekt 1 des Verbundprojektes „EVA I“ repräsentiert Bayern die Standorte der Vorgebirgs- und Mittelgebirgsregionen mit schlechten bis mittleren Böden, einer niedrigen Temperatursumme und einer guten bis sehr guten Wasserversorgung. Typische Kulturen sind Wintergerste und Ackerfutter.

Der Versuch zu den Kern- und Regionalfruchtfolgen wurde in der Gemeinde Ascha, ca. 20 km nördlich von Straubing gelegen, angelegt. Die Versuchsfläche liegt in ca. 430 m Höhe über NN in leichter Neigung an einem Hang. Bei einer mittleren Jahrestemperatur von 7,5 °C und einer jährlichen Niederschlagshöhe von 807 mm (Handaufzeichnung Herr Fuchs, pers. Mitteilung) beträgt die Vegetationszeit in der Regel 190 bis 210 Tage. Das Ausgangsmaterial der Bodenbildung sind Granite und Gneise mit nur geringen Löss- bzw. Lösslehmbeimengungen. Die Leitböden in der Region sind als Braunerden anzusprechen und weisen einen Gehalt von 1,2 % an organischem Kohlenstoff auf. Im Hinblick auf die Nährstoffversorgung ist insbesondere die relativ niedrige Phosphat-Versorgung des Standorts bei der Düngeplanung zu berücksichtigen.

2.2 Witterungsverlauf und Klimatische Wasserbilanz

Die Jahre 2005 bis 2008 waren im Vergleich zum langjährigen Mittel überdurchschnittlich warm und niederschlagsreich (Tabelle 1). Gleichzeitig waren die Jahre durch viele Wetterextreme geprägt. Das Frühjahr 2005 war sehr niederschlagsreich und warm. Die günstige Witterung setzte sich im Frühsommer fort, Juni und Juli wiesen im Durchschnitt 1,6 °C bzw. 0,6 °C höhere Temperaturen auf wie das langjährige Mittel. Der August dagegen war eher kühl, gefolgt von einem milden und trockenen Herbst. Der Winter 2005/2006 war sehr kalt und lang. Bis April lagen die Versuchsflächen unter einer Schneedecke, so dass sich bei manchen Winterungen die Bestände erst stark verzögert entwickelten. Der niederschlagsreiche Mai und warme Juni boten ideale Bedingungen für das Pflanzenwachstum. Der Juli 2006 war ausgesprochen trocken und löste bei vielen Kulturen eine beschleunigte Abreife aus. Nach einem kühlen und relativ feuchten August folgten milde Herbstmonate mit sehr geringen Niederschlägen. Ein ungewöhnlich warmer Winter 2006/2007, in dem die Monatsdurchschnittstemperaturen nicht den Gefrierpunkt erreichten, führte zu einer sehr langen und üppigen Bestandesentwicklung der Kulturen. Durch die Trockenheit im April litten die Winterungen unter Trockenstress, die weiterhin ungewöhnlich hohen Temperaturen beschleunigten die Abreife sehr stark. Im Mai hingegen war die Summe der Niederschläge mehr als doppelt so hoch wie im langjährigen Mittel. Anhaltende Feuchtphasen im Juni und Juli erschwerten die Aussaat einiger Zweitkulturen, so dass diese erst Mitte Juli durchgeführt werden konnte. Während der September 2007 überdurchschnittlich hohe Niederschläge zu verzeichnen hatte, war der Oktober sehr trocken.

Tabelle 1: Niederschlagssummen und Lufttemperaturen über die Jahre 2005 bis 2008, in Klammern die Differenz zum langjährigen Mittel. Daten der Wetterstation Steinach der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft, ca. 10 km Luftlinie von Ascha entfernt

Zeitraum	Niederschlags-summe [mm]	Durchschnitts-temperatur [°C]	Besonderheiten
Apr 05 - Sep 05	545 (+114)	14,5 (+0,7)	Frühjahr sehr niederschlagsreich und mild, Juni und Juli sehr heiß, relativ kühler August, September deutlich wärmer als im Mittel
Okt 05 - Sep 06	931 (+124)	7,9 (+0,4)	Trockener Herbst, sehr kalter und langer Winter, niederschlagsreiches Frühjahr, Juli überdurchschnittlich heiß und trocken, August relativ kühl und feucht, September warm und niederschlagsarm
Okt 06 - Sep 07	993 (+186)	10,0 (+1,5)	Milder Winter, sehr trockener April, ab Mai überdurchschnittlich warmer Sommer mit viel Niederschlag, September relativ kühl und feucht
Okt 07 - Sep 08	865 (+58)	8,7 (+1,2)	Wenig Niederschlag in Herbst und Winter, relativ milde Temperaturen, Frühjahr sehr niederschlagsreich, ab Mai sehr warm, Sommer durchschnittlich

Der darauffolgende Winter war sehr mild mit im Vergleich zum langjährigen Mittel etwas geringeren Niederschlägen. Die Bestände konnten sich dennoch üppig entwickeln. März und April 2008 waren bei durchschnittlichen Temperaturen übermäßig niederschlagsreich, so dass teilweise Versuchsparzellen über längere Zeit unter Wasser standen und die Kulturen dort stark geschädigt wurden. Ab Mai wurde es sommerlich warm, so dass die Winterungen gut abreiften und die Zweitkulturen ab Mitte Juni gesät werden konnten. Die Sommermonate Juli und August waren durchschnittlich warm mit ausreichend Niederschlag. Der erste Frost trat schon am 18. September auf und führte bei empfindlichen Kulturen wie Sorghum zu sichtbaren Schäden.

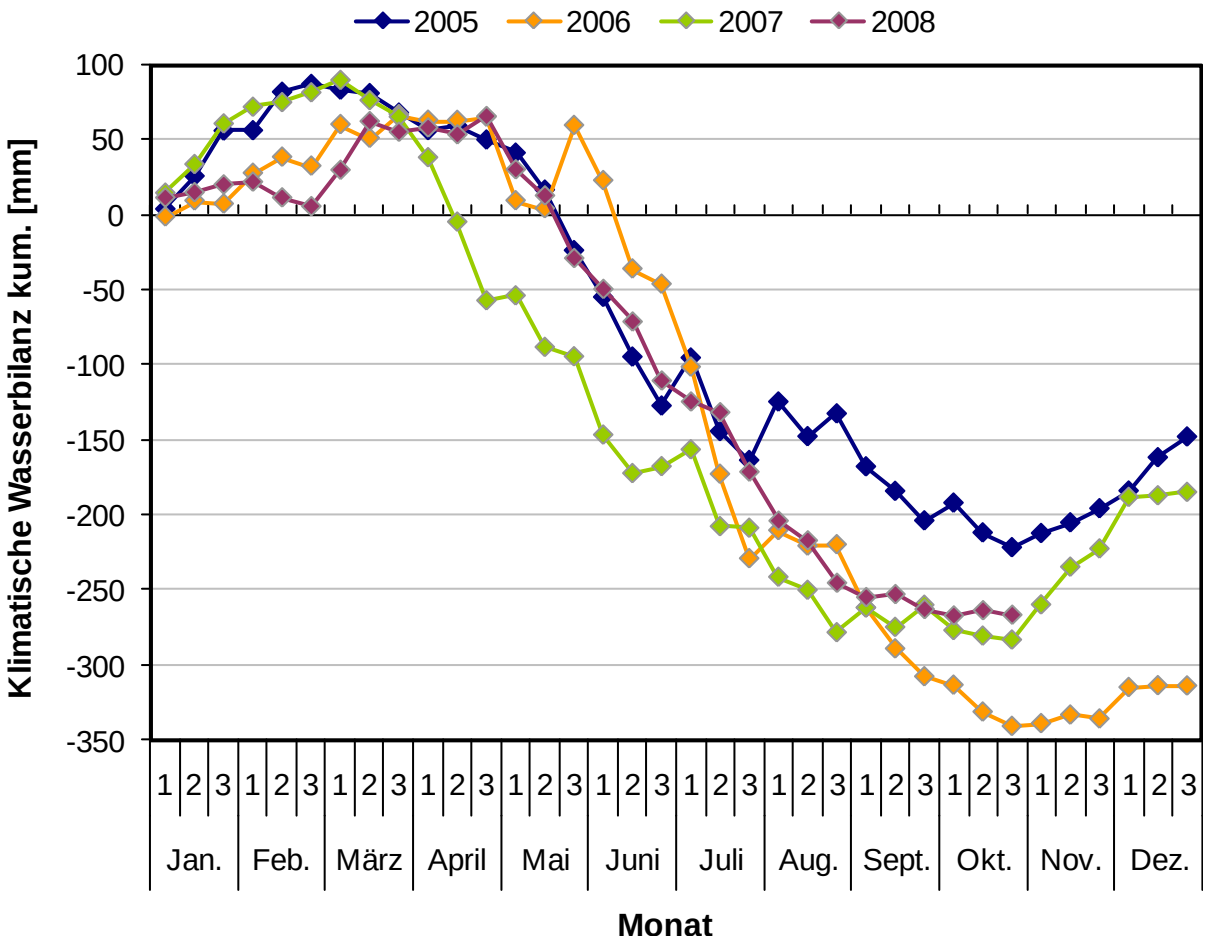


Abbildung 1: *Klimatische Wasserbilanzen der Jahre 2005 bis 2008; dargestellt ist die Differenz zwischen Niederschlag und potentieller Evaporation (nach Penman) jeweils über ein Kalenderjahr akkumuliert*

Die Klimatische Wasserbilanz spiegelt den unterschiedlichen Witterungsverlauf der vier Versuchsjahre wieder (Abbildung 1). Besonders deutlich zeigt sich hier die Frühjahrstrockenheit 2007, die schon sehr früh zu einer Zehrung der gespeicherten Wasservorräte im Boden führte. Das Jahr 2006 endete trotz der hohen Niederschläge im Frühjahr bei einer sehr negativen Wasserbilanz, da hier die potentielle Verdunstung im trockenen und heißen Juli ebenso wie im niederschlagsarmen Herbst die Niederschlagsmengen deutlich überstieg. Insgesamt zeichnen die hier dargestellten Werte allerdings ein etwas zu negatives Bild. Denn einerseits übersteigt die geschätzte potentielle Verdunstung die tatsächliche Verdunstung und andererseits lagen die Niederschläge am Versuchsstandort in Ascha etwas höher als an der Wetterstation Schorndorf (Landkreis Cham), von welcher die Daten zur Berechnung der klimatischen Wasserbilanz herangezogen wurden.

2.3 Versuchsdurchführung

Die fünf einheitlich vorgegebenen Kernfruchtfolgen (Tabelle 2) wurden mit den an die Region angepassten drei Regionalfruchtfolgen (Tabelle 3) ergänzt. Diese acht Fruchtfolgen zusammen werden im Folgenden als Grundversuch bezeichnet. Durch den Anbau von zwei Kulturen je Jahr (z.B. Winterroggen und Mais, Wintertriticale und Sorghum) wurden teilweise sehr enge Kulturabfolgen realisiert. Erwähnt werden sollte hier jedoch, dass im Vergleich zu den anderen Standorten des Verbundprojekts der Futterroggen in Fruchtfolge 2 und 3 nicht zum Ährenschieben, sondern erst zur frühen Teigreife geerntet wurde.

Alle Fruchtfolgen schließen zum Vergleich der Fruchtfolgewirkung mit Winterweizen ab. In Bayern sind in den Regionalfruchtfolgen nach dem Winterweizen Winterzwischenfrüchte eingeplant, die bei einem weiteren Anbau der Fruchtfolgen die lange Anbaupause bis zur ersten Kultur überbrücken sollen.

Die Versuchsanlage ist ein Blockdesign mit randomisierten vollständigen Blöcken. Jede Ernteparzelle hat 1,50 m breite Stirnränder und ist beidseitig von einer Trennparzelle flankiert, um verfälschende Randeffekte zu vermeiden. Die beerntete Parzellenfläche beträgt 12 m^2. Der Versuch wurde 2005 und 2006 parallel angelegt, so dass der witterungsbedingte Jahreseffekt in der Auswertung berücksichtigt werden kann.

Tabelle 2: Die fünf Kernfruchtfolgen des Verbundprojekts im Überblick, fett gedruckte Kulturen werden zur Energienutzung verwendet, die übrigen als Marktfrucht oder Futtermittel

	Kernfruchtfolgen				
Jahr	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**
2005	**S.Gerste** **Ölrettich**	**Sorghumhybride**	**Mais**	**S.Gerste mit** **Kleegras-** **Untersaat**	**Hafer-Sorten-** **mischung**
2006	**Mais**	**Futterroggen** **Mais**	**Futterroggen** **Sorghumhybride**	**Kleegras**	**W.Triticale**
2007	**W.Triticale** **Sorghum**	W.Triticale	**W.Triticale** **Welsches** **Weidelgras**	**Kleegras**	W.Raps
2008	W.Weizen	W.Weizen	W.Weizen	W.Weizen	W.Weizen

Tabelle 3: Übersicht über die Regionalfruchtfolgen in Bayern, fett gedruckte Kulturen werden zur Energienutzung verwendet, die übrigen als Marktfrucht oder Futtermittel

	Regionalfruchtfolgen		
Jahr	**6**	**7**	**8**
2005	Silomais	Corn-Cob-Mais (CCM)	Körnermais
2006	**Futterroggen** Silomais	**W.Weizen**	**Welsches Weidelgras** Kartoffeln
2007	**Wickroggen** **Sorghumhybride**	**W.Raps-GPS** **Sorghumhybride**	**W.Weizen** **Erbsen**
2008	W.Weizen	W.Weizen	W.Weizen

Die Datenerfassung erfolgt im Verbundprojekt nach einheitlichen Kriterien. In allen Versuchen wurden zu festgelegten Wuchsstadien Daten zur Bodenbedeckung der Kulturen sowie des Unkrautbesatzes, zur Bestandeshöhe und zum Krankheits- und Schädlingsbefall erhoben. Für die Modellierung der Stickstoffflüsse wurden nach den Vorgaben des Projektpartners (Leibniz-Zentrum für Agrarlandschaftsforschung e.V.) Zeiternten auf Teilflächen von 1 m^2 durchgeführt. Zur Ernte wurde der Frischmasse-Ertrag der Ernteparzelle gewogen. Die Erntedaten wurden bei einigen Kulturen wie z.B. der Wintertriticale in Fruchtfolge 2 und dem abschließenden Fruchtfolgeglied Winterweizen nach Korn und Stroh getrennt erfasst und analysiert. Von allen Kulturen wurden Pflanzenproben zur Trockensubstanzbestimmung und zur Analyse der Inhaltsstoffe entnommen.

Daneben wurden jeweils zu Vegetationsbeginn Bodenproben gezogen und auf mineralische Stickstoffgehalte (Nitrat, Ammonium) sowie auf Phosphat-, Kalium-, Magnesiumgehalte und pH-Wert untersucht. Diese Werte bilden die Basis der Düngeplanung. Zusätzlich wurden N_{min}-Analysen nach jeder Ernte, zu Vegetationsende und parallel zu den oben beschriebenen Zeiternten durchgeführt.

Die ökonomische Bewertung der verschiedenen Fruchtfolgen wurde für alle Standorte des Verbundprojekts am Institut für Betriebslehre der Agrar- und Ernährungswirtschaft der Justus-Liebig-Universität in Gießen durchgeführt. Neben den Ertragsdaten wurden hierzu alle Arbeitsschritte und Einsatzfaktoren detailliert aufgelistet und an den Projektpartner weitergegeben.

2.4 Berechnungsgrundlagen

Zur statistischen Auswertung der Trockenmasse-Erträge der einzelnen Fruchtfolgen wurden die Ertragsdaten für die einzelnen Anbaujahre aufsummiert und in einer Varianzanalyse in SAS (Version 9.1) auf signifikante Unterschiede geprüft. Das Signifikanzniveau wurde auf 0,05 festgesetzt.

2.4.1 Nährstoffbilanzierung (N, P, K, Mg)

Bei der Nährstoffbilanzierung wurden die Makronährstoffe Stickstoff (N), Phosphat (P), Kalium (K) und Magnesium (Mg) berücksichtigt. Für jedes Erntejahr wurde jeweils die Nährstoffzufuhr sowie die -abfuhr mit dem Erntegut berechnet. Als Zufuhr wurden mineralische Düngemittel sowie die Stickstoff-Fixierungsleistung der Leguminosen verbucht. Letztere wurde über den „Leguminosenrechner“ (Stein-Bachinger, 2004), der vom Leibniz-Zentrum für Agrarlandschaftsforschung (ZALF) e.V. zur Verfügung gestellt wurde, ermittelt. Die Nährstoffabfuhr errechnete sich aus den mit dem Erntegut abgefahrenen Nährstoffen. Unberücksichtigt blieben atmosphärische Deposition, Nitrataustrag mit dem Sickerwasser, Stickstofffixierung durch frei lebende Bakterien und die N-Zufuhr mit dem Saatgut.

2.4.2 Humusbilanz

Entsprechend den Vorgaben von Cross Compliance wurden am ZALF Humusbilanzen für die einzelnen Fruchtfolgeglieder erstellt. Dabei wurden Kennzahlen für die fruchtartspezifische Humuswirkung nach VDLUFA (jeweils unterer Wert entsprechend den Vorgaben nach

Cross Compliance) angesetzt. Zwischenfrüchte und Nebenernteprodukte (z.B. Stroh) wurden entsprechend den ermittelten Erträgen bei der Humusreproduktionsleistung positiv berücksichtigt. Für eine praxisnahe Bewertung der Fruchtfolgen wurden für alle Biogassubstrate Gärrest-Äquivalente berechnet. Dabei wurde standardmäßig ein Trockenmasse-Verlust bei der Silagebereitung von 15 % angesetzt, der Trockenmasse-Abbau während der Vergärung wurde entsprechend der Verdaulichkeiten der verschiedenen Inhaltsstoffe (DLG, 1997) berechnet. Der Humussaldo beinhaltet die Annahme, dass 100 % der anfallenden Gärreste auf die jeweilige Fläche rückgeführt werden.

2.4.3 Theoretische Biogas- und Methanausbeute

Über die Inhaltsstoffe und die Trockenmasse-Erträge wurde mittels Schätzformeln die Biogas- und Methanausbeute je kg organischer Trockenmasse (oTM) und die Biogas- und Methanerträge in Kubikmeter je Hektar der jeweiligen Kultur bestimmt. Dabei wurden für jede Kultur wuchsstadienspezifische Verdaulichkeitskoeffizienten der relevanten Inhaltsstoffe verwendet. Bei Kulturen, für die in der Literatur keine Verdaulichkeitskoeffizienten vorliegen, wurden die Verdaulichkeiten ähnlicher Kulturarten (z.B. Werte von Sudangras (= *Sorghum sudanense*) für Sorghum (= *Sorghum bicolor*) und Sorghumhybride (= *Sorgum bicolor* x *Sorgum sudanense*)) zur Berechnung herangezogen. Fehlten die entsprechenden wuchsstadienspezifischen Werte, wurden frühere Reifestadien der Kulturen verwendet. Als Verdaulichkeitskoeffizienten für Wintertriticale wurden die gemittelten Werte von Weizen und Roggen verwendet.

3 Ergebnisse und Diskussion

3.1 Frischmasse- und Trockenmasse-Erträge

Ende Juli 2008 schloss der Grundversuch 1. Anlage mit der Ernte des Winterweizens den ersten Fruchtfolgezyklus ab. Der Grundversuch 2. Anlage steht dagegen erst im 3. Nutzungsjahr. In Abbildung 2 werden die bisher im Fruchtfolgeversuch 1. Anlage erzielten Erträge der Kern- und Regionalfruchtfolgen dargestellt. In der Gesamtbetrachtung war Fruchtfolge 3 die ertragreichste der angebauten Fruchtfolgen, an zweiter Stelle lag Fruchtfolge 6. Beide Fruchtfolgen enthalten einen hohen Anteil schnellwachsender C_4-Pflanzen wie Mais und Sorghumhybride sowie rasche Kulturabfolgen von Erst- und Zweitfrüchten. Die Fruchtfolge 4 erzielte mit dem dreimal geschnittenen Kleegras vergleichbar hohe Erträge wie die Fruchtfolgen 1 und 2, bei welchen Mais als drittes Fruchtfolgeglied den Hauptertragsbildner darstellte.

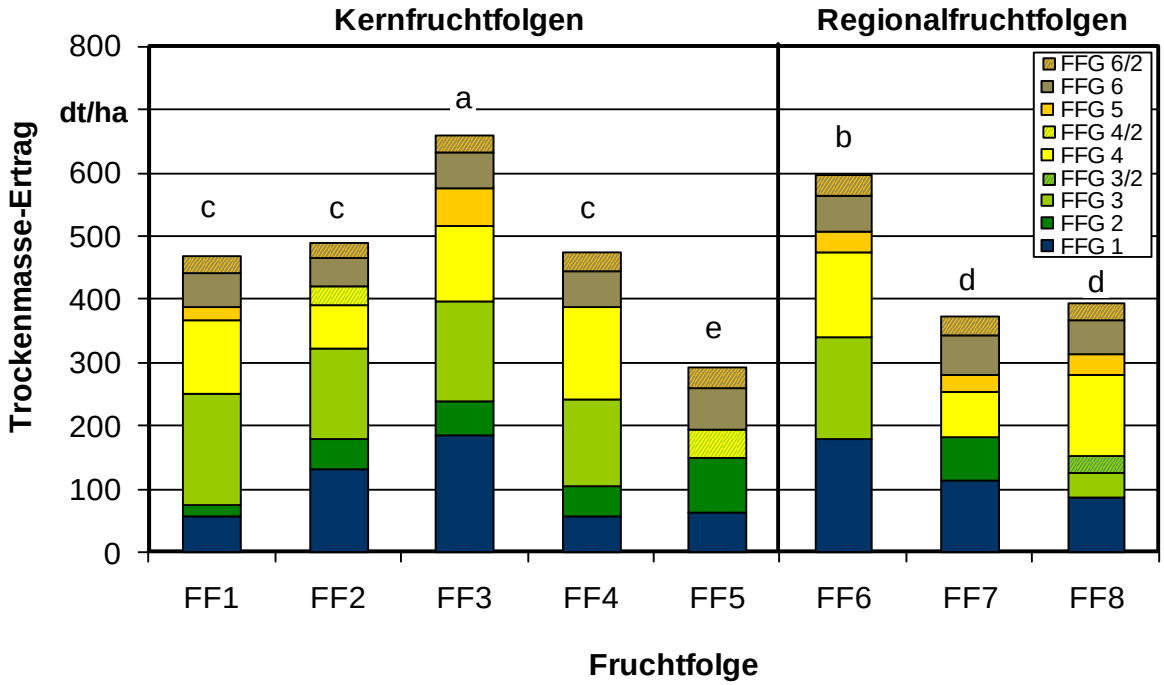


Abbildung 2: *Trockenmasse-Erträge in den Kern- und Regionalfruchtfolgen 1 bis 8 im Grundversuch 1. Anlage am Versuchsstandort Ascha in Bayern, Anbauzeitraum 2005 - 2008; schraffierte Flächen (in der Legende mit 3/2, 4/2 und 6/2 gekennzeichnet) stehen für Nebenernteprodukte; dargestellt sind arithmetische Mittelwerte mit n = 4; signifikante Unterschiede sind durch die Zeichen a bis e gekennzeichnet*

Fruchtfolge 5 war die ertragsschwächste der getesteten Fruchtfolgen. In 2007 konnte hier der Winterraps als drittes Fruchtfolgeglied nicht wie geplant als Druschfrucht geerntet werden, da gravierende Kornverluste durch frühen Ausfall und Vogelfraß aufgetreten waren. Nur die Strohmengen wurden parallel zur Winterraps-GPS-Ernte in Fruchtfolge 7 festgehalten. Weitere Ertragsausfälle traten in Fruchtfolge 6 und 8 auf. Hier konnten die Winterungen nach schwacher Bestandesentwicklung im kalten Winter 2005/2006 nicht beerntet werden.

Im Grundversuch 2. Anlage erzielte die Regionalfruchtfolge 6 nach bisher drei Fruchtfolgejahren die signifikant höchsten Erträge (Abbildung 3). Besonders die hohen Maiserträge in 2007 waren für dieses positive Ertragsergebnis ausschlaggebend. Zwischen den Fruchtfolgen 1, 2 und 3 bestanden noch keine gravierenden Unterschiede. Im Vergleich dazu wies Fruchtfolge 4 signifikant geringere Trockenmasse-Erträge auf. Das Kleegras war 2007 deutlich weniger produktiv als Mais. Hier war evt. Stickstoff ertragslimitierend, da der Kleeanteil in der 2. Versuchsanlage sehr gering war und die fehlende Stickstofffixierung nicht durch eine Mehrdüngung an mineralischem Stickstoff ausgeglichen wurde. Wie schon in der 1. Anlage blieb Fruchtfolge 5 auch in der 2. Versuchsanlage hinter den Erträgen der anderen Fruchtfolgen zurück. Fruchtfolge 7, in der Mais als Corn-Cob-Mix geerntet wurde, und die marktfruchtorientierte Fruchtfolge 8 waren etwas ertragsstärker als in der 1. Anlage. Besonders der Kartoffel-Ertrag war mit 100 dt TM/ha etwa dreimal so hoch. Auch in den Erträgen anderer Kulturen, wie Wintertriticale, Winterroggen und Winterweizen zur GPS-Nutzung, traten große Unterschiede zwischen den Anbaujahren auf, die sich deutlich auf die Ertragsleistung der verschiedenen Fruchtfolgen auswirkte.

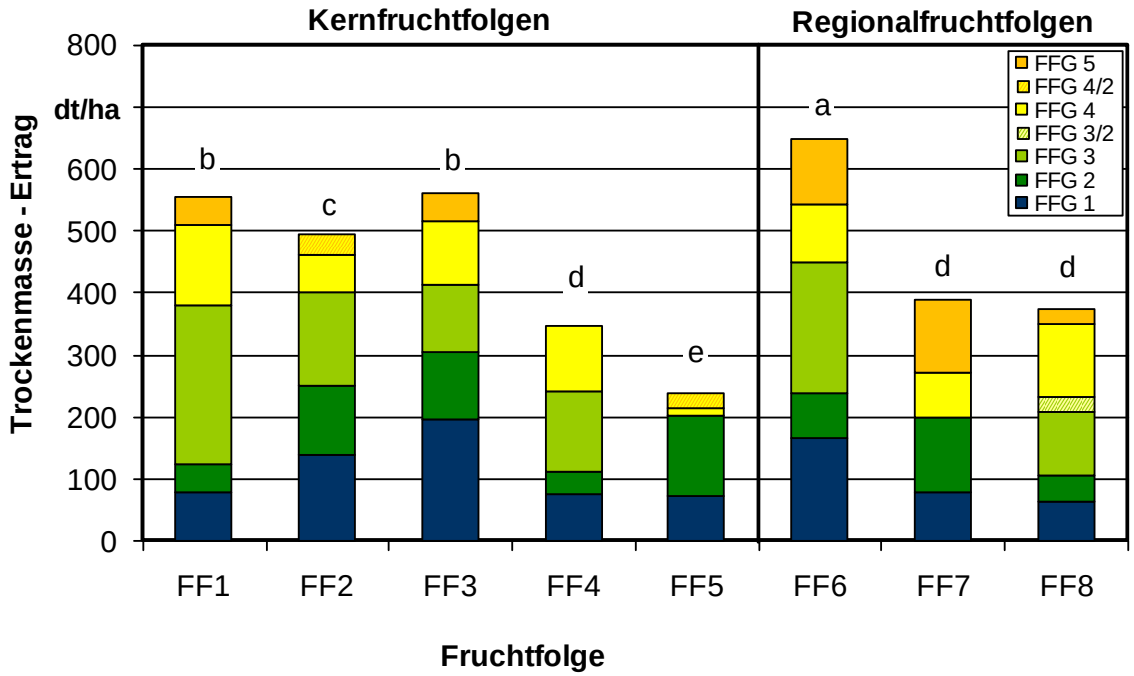


Abbildung 3: Trockenmasse-Erträge in den Kern- und Regionalfruchtfolgen 1 bis 8 im Grundversuch 2. Anlage am Versuchsstandort Ascha in Bayern, Anbauzeitraum 2006 - 2008; schraffierte Flächen (in der Legende mit 3/2 bzw. 4/2 gekennzeichnet) stehen für Nebenernteprodukte; dargestellt sind arithmetische Mittelwerte mit n = 4, signifikante Unterschiede sind durch die Zeichen a bis e gekennzeichnet

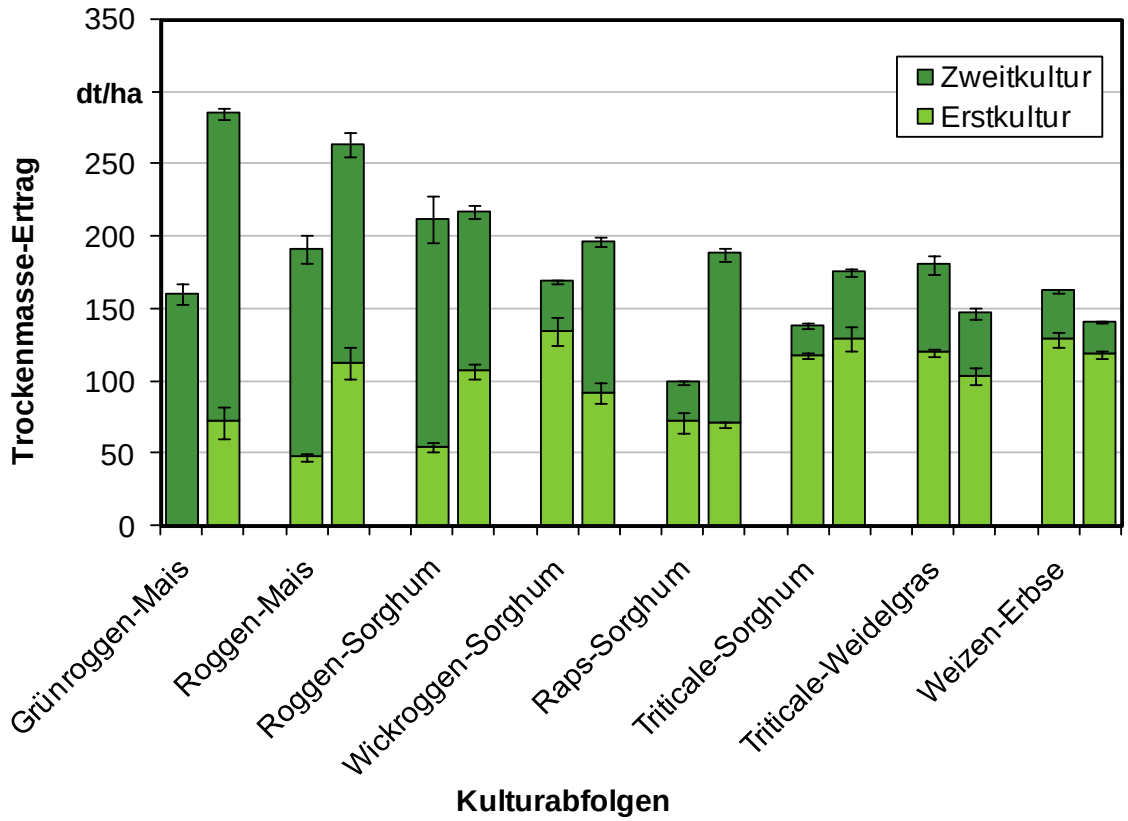


Abbildung 4: Trockenmasse-Erträge von Kulturabfolgen aus der 1. und 2. Versuchsanlage aus den Jahren 2006 - 2008; die erste Säule repräsentiert jeweils Erträge aus der 1. Versuchsanlage, die zweite Säule Erträge aus der 2. Versuchsanlage; dargestellt sind arithmetische Mittelwerte mit n = 4 und deren Standardfehler

In Abbildung 4 sind Kulturabfolgen aus Erst- und Zweitkultur aus den beiden Grundversuchen dargestellt (1. Säule = 1. Versuchsanlage, 2. Säule = 2. Versuchsanlage). Die deutlichen Unterschiede zwischen den Jahren spiegeln die starke Witterungsabhängigkeit dieser engen Kulturabfolgen wider.

Die Variante Grünroggen-Mais (Fruchtfolge 6) und Roggen-Mais (Fruchtfolge 2) unterschieden sich im Erntetermin der Erstfrucht Winterroggen und folglich dem Aussaattermin der Zweitfrucht Mais. So wurde in Fruchtfolge 6 der Winterroggen Anfang Mai zum Grannenspitzen geerntet, während in Fruchtfolge 2 die Ernte zur Teigreife Anfang bis Mitte Juni erfolgte. Diese beiden Kombinationen waren zusammen mit der Kulturabfolge Roggen-Sorghumhybride (Fruchtfolge 3) mit über 200 dt TM/ha sehr ertragreich. Im Jahr 2007 wurde bei dem früheren Erntetermin des Winterroggens und der damit um 5 Wochen früheren Maissaat ein Ertrag von 285 dt TM/ha und damit ein Mehrertrag von ca. 20 dt TM/ha gegenüber dem späteren Aussaattermin erzielt. In manchen Jahren mit überdurchschnittlich kaltem Winter wie 2005/2006 kann der Winterroggen jedoch eventuell nicht zum frühen Termin geerntet werden, da die Bestandsentwicklung dann stark verzögert ist.

Im Vergleich dazu erzielte Mais in Hauptfruchtstellung zwischen 176 dt TM/ha (2006, 1. Versuchsanlage, Fruchtfolge 1) und 259 dt TM/ha (2007, 2. Versuchsanlage, Fruchtfolge 1). Die Zweikulturnutzung kann also unter bestimmten Bedingungen wie guter Arbeitsorganisation, hoher Schlagkraft und der Verwertungsmöglichkeit verschiedener Substrate höhere Flächenerträge als eine Einkulturnutzung erbringen.

Wintertriticale und Winterweizen erreichten zwar sehr hohe Ganzpflanzenerträge, jedoch war hier der Erntezeitpunkt so spät, dass den Zweitkulturen nicht mehr ausreichend Vegetationszeit zur Verfügung stand. Darunter litt neben der Biomassebildung auch die Abreife, was dazu führte, dass das Erntematerial meist aufgrund zu geringer Trockensubstanzgehalte (< 20 %) nicht silierfähig war. Besonders kritisch war die Sorghumhirse (*Sorghum bicolor*), die bei dem späten Saatzeitpunkt kein ausreichendes Reifestadium erreichte. Weidelgras erwies sich als besser geeignet mit Erträgen von 61 dt TM/ha im Jahr 2007. Unter dem hohen Krankheitsdruck im Jahr 2008 blieb die Entwicklung des Weidelgrasbestands jedoch hinter der des Vorjahrs zurück und lieferte mit 43 dt TM/ha ein relativ schwaches Ertragsergebnis.

3.2 Winterweizenerträge in Kombination mit dem Strohertrag

Die Kornerträge des Winterweizens, der als abschließende Frucht der ersten Fruchtfolgerotation die akkumulierte Fruchtfolgewirkung abbilden soll, zeigten deutliche Ertragsunterschiede (Abbildung 5). Das allgemeine Ertragsniveau war dem Standort entsprechend nur mäßig. Die höchsten Erträge wurden mit 64 dt/ha in der Kernfruchtfolge 5 erreicht. Ein ähnlich hohes Ertragsniveau wies daneben nur noch die Regionalfruchtfolge 7 mit 61 dt/ha auf. Hier zeigten sich wahrscheinlich einerseits die gute Vorfruchtwirkung von Winterraps und andererseits die geringen Nährstoffentzüge der vorangegangenen Kulturen. Die Fruchtfolgen 3, 4 und 6 wiesen trotz der sehr unterschiedlichen Vorfrüchte und Kulturabfolgen keine Ertragsunterschiede auf und lagen mit 56 bis 58 dt/ha im Mittel aller Fruchtfolgen. Das zweijährige Kleegras in der Kernfruchtfolge 4 konnte als Vorfrucht zu Winterweizen keine ertragssteigernde Wirkung entfalten. Eine Ursache dafür liegt wahrscheinlich in der schnellen Mineralisation des organischen Stickstoffs nach der Pflugfurche im Herbst, der geringen

Stickstoffaufnahme von Winterweizen über Winter und der deswegen sehr hohen Auswaschung des mineralisierten Stickstoffs.

Den niedrigsten Kornertrag erbrachte die Fruchtfolge 2 mit 46 dt/ha. Nach der Vorfrucht Wintertriticale zur Körnernutzung traten hier frühzeitig Fußkrankheiten auf, die insbesondere in der Kornfüllungsphase den Bestand stark schädigten.

Die Stroherträge lagen im Mittel bei 29 dt/ha mit einer Spannweite von 25 dt/ha (Fruchtfolge 2) bis 33 dt/ha (Fruchtfolge 5). Zur Humusmehrung wurde das Stroh auf dem Feld belassen und eingearbeitet.

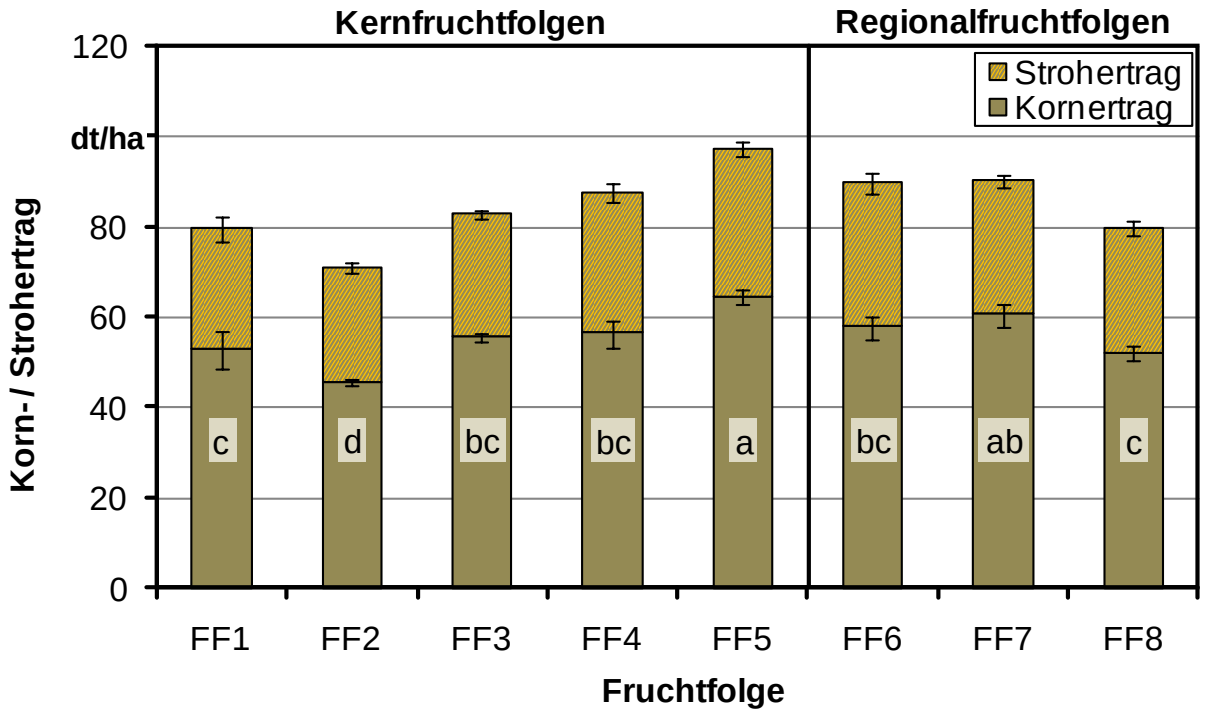


Abbildung 5: Korn- und Stroherträge in den Kern- und Regionalfruchtfolgen 1 bis 8 im Grundversuch 1. Anlage am Versuchsstandort Ascha in Bayern, 2008; dargestellt sind arithmetische Mittelwerte mit n = 4 und deren Standardfehler; signifikante Unterschiede in den Kornerträgen sind durch die Zeichen a bis d gekennzeichnet

3.3 Nährstoffbilanzen

Der im Rahmen der Düngeverordnung geforderte betriebliche Nährstoffvergleich ist für die untersuchten Fruchtfolgen in den Abbildungen 6 und 7 als mittlere jährliche Zu- bzw. Abfuhr von Stickstoff, Phosphat, Kalium und Magnesium dargestellt. Die Nährstoffbilanzen für die einzelnen Erntejahre sind im Anhang (Abbildungen 1 bis 7, Tabellen 5 und 6) aufgeführt. Die Stickstoffbilanzen waren in den ertragsstarken Fruchtfolgen 2, 3 und 6 der ersten Versuchsanlage überwiegend negativ, da hier die Entzüge deutlich über der Zufuhr durch N-Düngegaben lagen. Der Grund dafür liegt in den hohen Erträgen, die bei Mais und Sorghumhybride erzielt wurden, welche die Ertragserwartungen deutlich übertrafen. Diese Fruchtarten können offensichtlich über eine gute Verwertung des mineralisierten Stickstoffs aus dem Bodenvorrat mit relativ niedrigen Düngegaben ein hohes Ertragsniveau realisieren. Stickstoffüberschüsse wurden dagegen vor allem in Fruchtfolge 5, 7 und 8 beobachtet, da

hier die Kulturen aufgrund der schwachen Bestandsentwicklung die Stickstoffgaben nicht verwerten konnten. Das abschließende Fruchtfolgeglied Winterweizen, das einheitlich mit 220 kg N/ha gedüngt wurde, wies abhängig vom Ertragsniveau positive Stickstoffsalden auf, die zwischen +36 und +78 kg N/ha lagen (Anhang, Abbildung 4). Betrachtet man die mittleren jährlichen Stickstoffsalden über die einzelnen Fruchtfolgen, so wurden in allen Varianten mit maximal +70 kg N/ha und Jahr (Fruchtfolge 5) die Vorgaben der Düngeverordnung eingehalten.

Bei Phosphat, Kalium und Magnesium zeigte der Nährstoffvergleich in den einzelnen Jahren ein sehr wechselhaftes Bild. Da der Boden diese Mineralstoffe aber wesentlich besser speichern kann als den mobilen Stickstoff, ist hier das Ziel, im Mittel der Jahre eine ausgeglichene Nährstoffversorgung zu erreichen. Bei Phosphat war der mittlere jährlich P-Saldo über die vier Fruchtfolgeglieder in allen Fruchtfolgevarianten ausgeglichen, nur die Fruchtfolgen 3 und 4 wiesen eine leichte Unterversorgung auf. Dagegen zeigte sich bei Kalium über alle Varianten eine leichte bis erhöhte Unterversorgung von -7 kg K/ha und Jahr (Fruchtfolge 8) bis -146 kg K/ha und Jahr (Fruchtfolge 3). Magnesium wurde durch die Ausbringung eines Mg-sauren Kalkes im dritten Fruchtfolgejahr stark angereichert, so dass in den nächsten Jahren von diesem Depot gezehrt werden kann.

In der zweiten Versuchsanlage zeigte sich ein sehr ähnliches Bild (Abbildung 7 und Anhang, Abbildungen 5, 6, 7). Fruchtfolge 3 und 6 erzielten negative N-Salden in Höhe von jeweils -70 kg N/ha und Jahr, während Fruchtfolge 5 einen leichten N-Überschuss von 44 kg/ha und Jahr aufwies. In ähnlicher Weise zeigte sich auch bei Phosphat und Kalium, dass Fruchtfolge 3 und 6 am stärksten an den Bodenvorräten zehrten. Die Magnesiumversorgung wurde auch hier über den Mg-sauren Kalk für die nächsten Jahre sichergestellt.

Zusammenfassend bleibt festzuhalten, dass trotz der niedrigen Nährstoffversorgung in Fruchtfolge 3 und 6 sehr hohe Erträge erzielt wurden. Da Mais und Sorghum den mineralisierten Stickstoff aus dem Bodenvorrat sehr gut verwerten, sollte die Düngung zu diesen Kulturen im Sinne eines umweltverträglichen Anbaus entsprechend verhalten bemessen werden. Langfristig wird jedoch eine solche Unterversorgung an den Bodenreserven zehren und die Bodenfruchtbarkeit zurückgehen. Um die Ertragsfähigkeit zu erhalten, sollte deswegen über die Fruchtfolge auf ausgeglichene Nährstoffbilanzen geachtet werden. Insbesondere Kalium, welches beim Mais- und Sorghumanbau in sehr hohen Mengen entzogen wird, muss in ausreichend hohen Gaben auf die Flächen zurückgeführt werden.

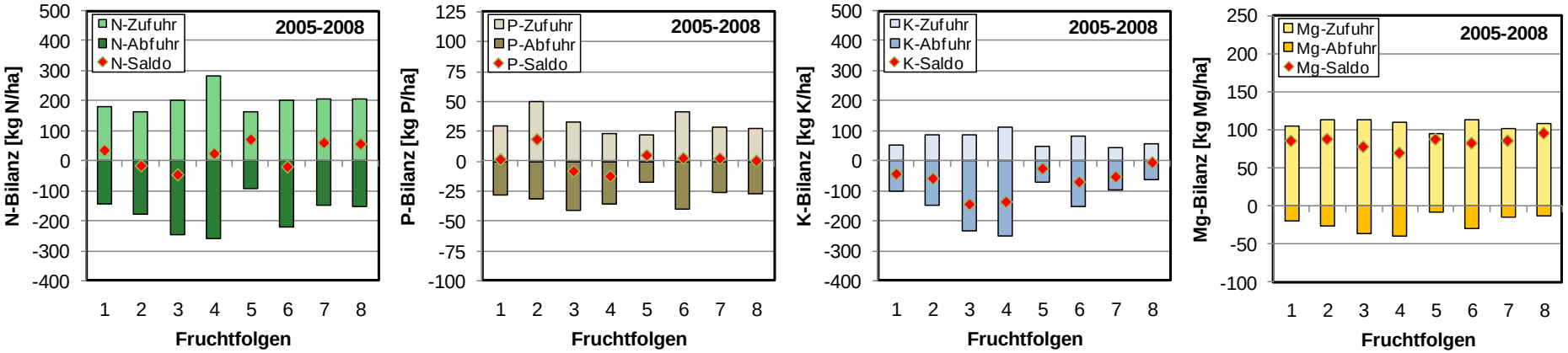


Abbildung 6: Mittlere jährliche Nährstoffbilanzen für Stickstoff, Phosphat, Kalium und Magnesium (von links nach rechts) der Kern- und Regionalfruchtfolgen, 1. Versuchsanlage, 2005 - 2008; dargestellt sind arithmetische Mittelwerte mit n = 4

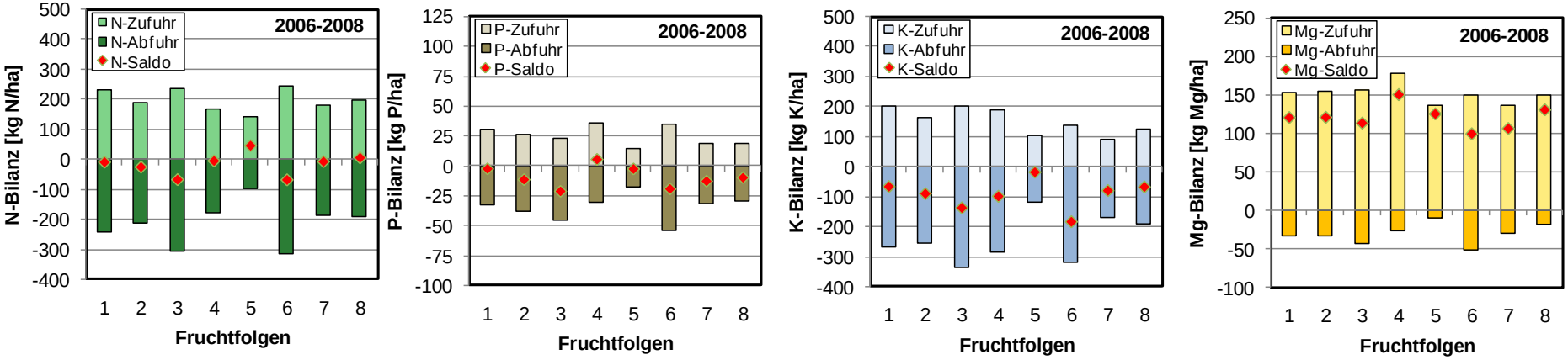


Abbildung 7: Mittlere jährliche Nährstoffbilanzen für Stickstoff, Phosphat, Kalium und Magnesium (von links nach rechts) der Kern- und Regionalfruchtfolgen, 2. Versuchsanlage, 2006 - 2008; dargestellt sind arithmetische Mittelwerte mit n = 4

3.4 Humusbilanzen

Entsprechend den Vorgaben von Cross Compliance muss jeder Landwirt eine Humusbilanz über den gesamten Betrieb erstellen. Dabei soll der Humussaldo zwischen -75 und +125 kg Humus-C/ha und Jahr liegen, um eine ausreichende Humusversorgung der Böden sicherzustellen. Im Grundversuch wurde für jedes der acht untersuchten Fruchtfolgesysteme eine Humusbilanzierung nach den Vorgaben für Cross Compliance durchgeführt. Unter den gegebenen Annahmen (100 %ige Rückführung der Gärreste) zeigte sich, dass alle Fruchtfolgen der 1. Versuchsanlage eine positive Humusbilanz aufwiesen (Abbildung 8 und Anhang, Tabelle 7). In Fruchtfolge 4 wurde durch den mehrjährigen Kleegrasanbau eine sehr hohe Humus-Überversorgung von 2854 kg Humus-C/ha über die gesamte Fruchtfolge (= 713 kg Humus-C/ha und Jahr) erzielt. Auch ohne eine Rückführung der Gärreste ergab sich hier noch ein Plus von jährlich 307 kg Humus-C/ha. In diese Fruchtfolge könnten deswegen sehr gut humuszehrende Fruchtarten wie z.B. Mais integriert werden.

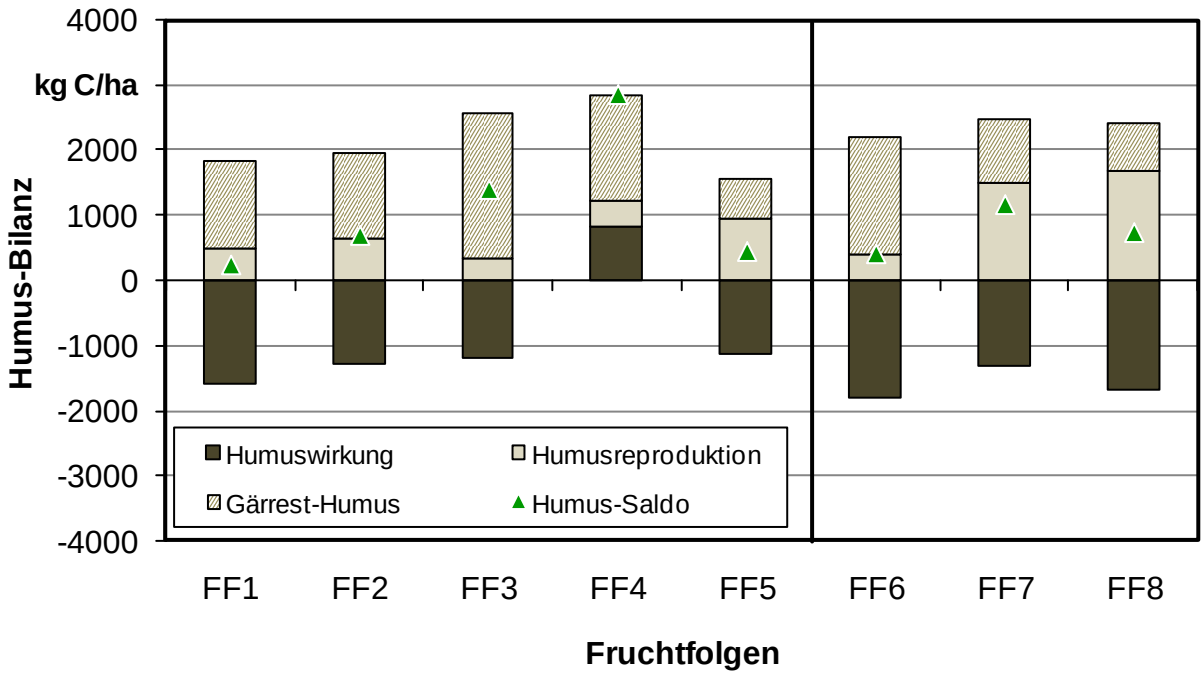


Abbildung 8: Humusbilanzen der Kern- und Regionalfruchtfolgen, 1. Versuchsanlage, 2005 - 2008; dargestellt sind die über die Fruchtfolgeglieder aufsummierte fruchtartspezifische Humuswirkung, die Humusreproduktion durch Gründüngung oder Nebenernteprodukte sowie durch Gärrest (bei 100 %iger Rückführung)

Die ertragsstarke Fruchtfolge 3 wies ebenfalls aufgrund der relativ geringen Humuszehrung und des großen Gärrestanfalls einen sehr positiven Humus-Saldo auf. Jedoch müssen die Annahmen, unter welchen die Humusbilanz berechnet wurde, kritisch betrachtet werden. So bestehen hinsichtlich der Kennzahlen für die fruchtartspezifische Humuswirkung noch erhebliche Lücken in der Datengrundlage, die einerseits durch die veränderte Nutzung von Fruchtarten (Ganzpflanzennutzung statt Körnerernte) bzw. durch die Einführung neuer Kulturarten bedingt sind.

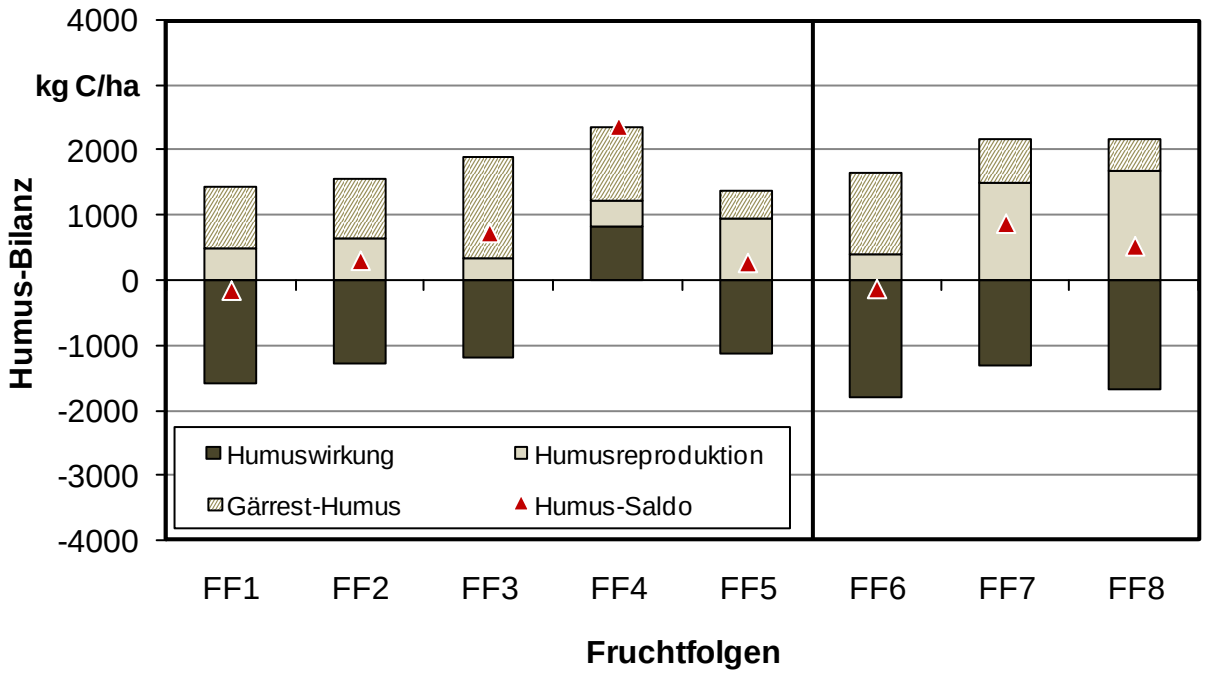


Abbildung 9: *Modifizierte Humusbilanzen der Kern- und Regionalfruchtfolgen, 1. Versuchsanlage, 2005 - 2008; dargestellt sind die über die Fruchtfolgeglieder aufsummierte fruchtartspezifische Humuswirkung, die Humusreproduktion durch Gründüngung oder Nebenernteprodukte sowie durch Gärrest (bei 20 % Ertragsabschlag und 12,5 % höherer Biogasausbeute)*

Während Winterroggen, der zum Ährenschieben geerntet wurde, als Winterzwischenfrucht gewertet (+120 kg Humus-C/ha) wurde, wurden bei Wintergetreide, das in der Milch- bis Teigreife vom Feld gefahren wurde, wie bei einer Körnerernte -280 kg Humus-C/ha angesetzt. Für Sorghum wurde die Humuswirkung ebenfalls auf -280 kg Humus-C/ha geschätzt, wobei hier die tatsächliche Humuszehrung möglicherweise höher liegt. Eine zweite Unschärfe in der Berechnung der Humusbilanz geht auf den geschätzten Gärrestanfall zurück. Einerseits gehen hier relativ hohe Trockenmasse-Erträge in die Berechnung ein, die so auf Praxisschlägen (Vorgewende, partiell schlechtere Flurstücke) wahrscheinlich nicht realisiert werden können. Andererseits wird die Biogasausbeute eventuell zu niedrig angesetzt, da ausgehend von einer Weender Futtermittelanalyse mit Verdaulichkeiten der Inhaltsstoffe nach DLG-Futterwerttabelle gerechnet wird und die tatsächliche Abbaurate der Trockenmasse in der Biogasanlage doch etwas höher liegen könnte. Deswegen wurden in einer zweiten Bilanzierung ein Abschlag der Trockenmasse-Erträge von 20 % und eine um 12,5 % erhöhte Biogasausbeute berücksichtigt (Abbildung 9). In diesem Szenario zeigen die Fruchtfolgen 1 und 6 einen leicht negativen Humussaldo von jährlich -43 bzw. -32 kg Humus-C/ha, die damit jedoch dennoch innerhalb der gesetzlich vorgeschriebenen Grenzen liegen. Hervorgehoben werden muss jedoch, dass solche ausgeglichenen Humusbilanzen nur unter der Annahme einer 100 %igen Rückführung der Gärreste erzielt werden können.

Die Werte für die Humusbilanzierung der 2. Versuchsanlage sind im Anhang (Tabelle 8) dargestellt.

3.5 Theoretische Biogas- und Methanausbeute

Betrachtet man den theoretischen Methanertrag der einzelnen Kulturen, wird die Vorzüglichkeit von Mais mit Höchsterträgen von 7308 m^3 Methan je ha deutlich unter-strichen (Tabelle 5). Auch als Zweitfrucht (Saat Anfang bis Mitte Juni) erzielte er noch durchschnittlich 4185 m^3/ha. Kleegras erreichte bei sehr stabilen Erträgen im Mittel 67 % des Methanertrags von Mais. Ein ähnliches Ertragspotenzial (maximal 3789 m^3 Methan je ha) wies die Sorghumhybride auf, wobei dieses nur bei ausreichender Vegetationszeit und Temperatursumme ausgeschöpft werden konnte. Bei später Saat (Mitte Juni bis Mitte Juli) wurde aufgrund des höheren Rohproteingehalts eine höhere spezifische Methanausbeute für Sorghum gegenüber dem frühen Saatzeitpunkt berechnet, die sich jedoch wegen den niedrigen Trockenmasse-Erträgen nicht im Methanertrag widerspiegelt.

Die spezifische Methanausbeute, die sich bei allen Kulturen über die Jahre sehr stabil zeigte, war bei Welschem Weidelgras am höchsten. Als Sommerzwischenfrucht nach Wintergetreide kann diese Kultur damit noch einen relativ hohen Energieertrag liefern.

Bei den Winterungen erreichte der Wickroggen im Erntejahr 2007 die bisher höchsten theoretischen Methan-Erträge. 2008 konnte dieses gute Ergebnis jedoch aufgrund der schwachen Bestandsentwicklung nicht wiederholt werden. Im Mittel der Methan-Erträge liegen Wickroggen, Wintertriticale und Winterweizen auf gleichem Niveau und weisen auch sehr ähnliche spezifische Methanausbeuten auf. Winterroggen, der deutlich früher geerntet wurde als Winterweizen, lieferte einen um 25 % geringeren Methan-Ertrag. Setzt man jedoch den Minderertrag von ca. 700 m^3 Methan/ha von Grünroggen im Vergleich zu Wintertriticale bzw. -weizen ins Verhältnis zu den Ertragssteigerungen durch eine frühere Saat von über 1000 m^3 Methan/ha bei Sorghum, wird deutlich, dass Winterroggen als frühräumende Erstkultur durchaus Ertragsvorteile im Anbausystem der Zweikulturnutzung bringen kann.

Tabelle 5: Trockenmasse- und Methan-Erträge sowie spezifische Methanausbeute der einzelnen Kulturen im Mittel der Fruchtfolgen über die Jahre 2005 bis 2007

Fruchtart	Trockenmasse-Ertrag [dt/ha]			Methan-Ertrag [m^3/ha]			Spezifische Methan-ausbeute
	Min.	Max.	Mittelwert	Min.	Max.	Mittelwert	[Nl/kg oTM]
Mais / Hauptfrucht	161	259	**191**	4067	7308	**5116**	307
Mais / Zweitfrucht	143	151	**147**	4000	4371	**4185**	303
Kleegras	106	146	**129**	2887	3871	**3453**	276
Kleegras / Untersaat	37	49	**43**	1074	1360	**1217**	324
Sorghum / früh	110	158	**134**	2800	3789	**3194**	276
Sorghum / spät	27	117	**71**	763	3276	**1981**	306
Wel. Weidelgras	43	61	**49**	596	1794	**1230**	322
Hafersortenmischung	59	72	**65**	1369	1749	**1559**	263
Sommergerste	52	79	**64**	1243	1851	**1523**	256
Erbse	23	33	**28**	590	890	**740**	281
Wickroggen	92	135	**114**	2577	3644	**3111**	282
Wintertriticale	46	129	**98**	2236	3473	**2930**	284
Winterweizen	69	129	**110**	1785	3381	**2847**	271
Winterroggen	48	113	**79**	1335	2943	**2095**	272
Winterraps	70	72	**71**	1860	2052	**1956**	294

3.6 Ökonomische Bewertung

In die ökonomische Auswertung fließen neben dem berechneten Methanertrag und dem davon abgeleiteten Erlös die Aufwendungen für Saatgut, Dünger, Pflanzenschutz und Arbeitserledigung ein. In letzterem Posten sind sowohl variable und fixe Maschinenkosten als auch Lohnkosten mit einem Stundenlohn von 15 € enthalten. Aufgrund der methodischen Schwierigkeiten, den tatsächlichen Methanertrag und damit den Erlös zu ermitteln, sind die Ergebnisse als vorläufige Schätzwerte zu verstehen (siehe Abschlussbericht Teilprojekt 3).

Wie in der Abbildung 10 zu sehen ist, weist in der 1. Versuchsanlage die ertragsstarke Fruchtfolgen 6 den höchsten jährlichen Deckungsbeitrag auf. Besonders positiv tragen zu diesem Ergebnis die guten Deckungsbeiträge von Wickroggen (374 €/ha) und Mais (306 und 353 €/ha) bei. Negative Deckungsbeiträge liefern dagegen Winterroggen, der aufgrund des kalten Winters 2005/2006 nicht beerntet werden konnte, und Sorghum als Sommerzwischenfrucht.

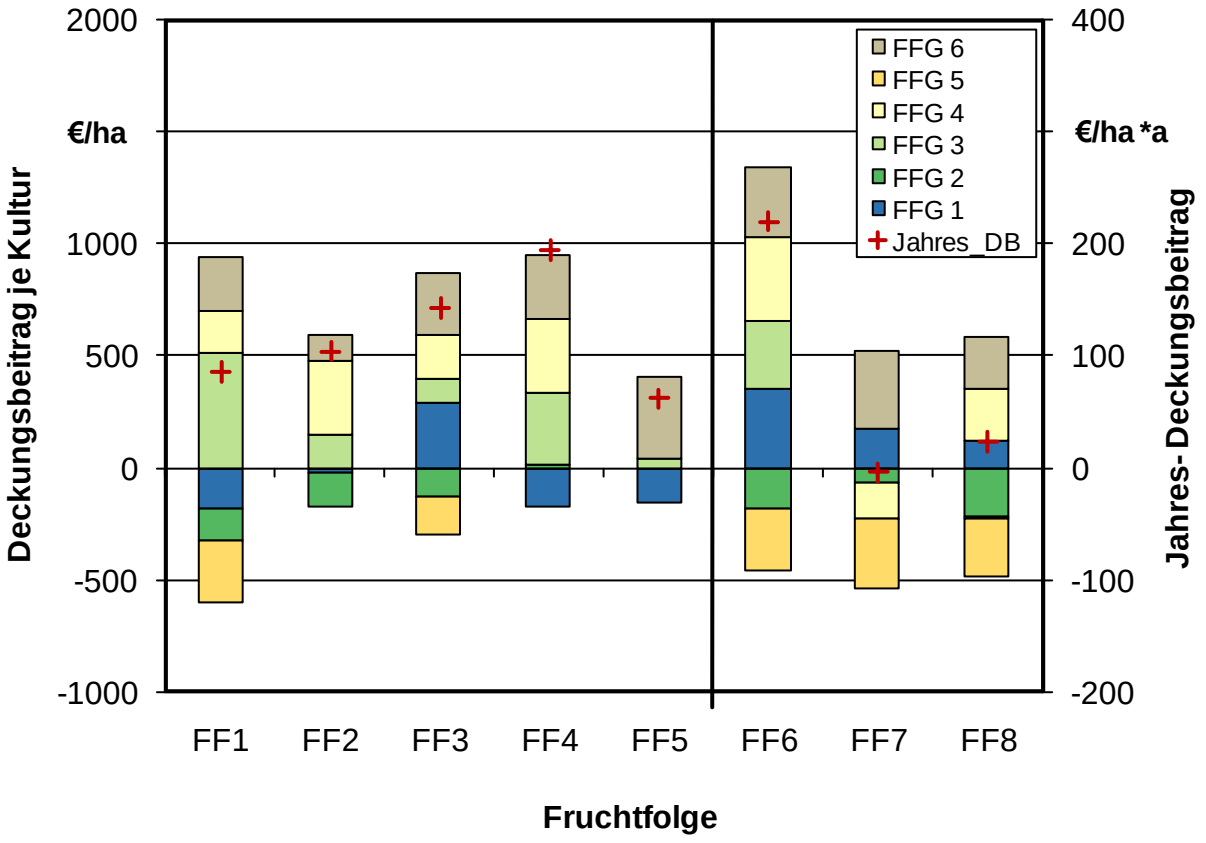


Abbildung 10: Vergleich des durchschnittlichen Jahresdeckungsbeitrag der Kern- und Regionalfruchtfolgen, 1. Versuchsanlage, 2005 - 2008 (linke Achse), sowie Deckungsbeiträge der einzelnen Fruchtfolgeglieder jeweils über die Fruchtfolge aufsummiert (rechte Achse); die Werte sind im Anhang, Tabelle 9 aufgeführt

Neben dem niedrigen Ertragsniveau bei einer späten Saat von Sorghum sind hier auch die geringen Trockensubstanzgehalte zur Ernte von Bedeutung, da sie hohe Transportkosten sowohl bei der Ernte als auch bei der Gärrestausbringung verursachen. Diese schlagen besonders hoch zu Buche, da den Berechnungen eine Hof-Feld-Entfernung von 5 km zugrunde

gelegt wurde. Bei geringeren Hof-Feld-Entfernungen, wie in Bayern oft üblich, würde diese Kultur (ebenso wie andere Zwischenfrüchte mit niedrigen Trockensubstanzgehalten) etwas positiver bewertet werden.

Mit einem durchschnittlichen jährlichen Deckungsbeitrag von 195 €/ha*a weist auch die Fruchtfolge 4 ein gutes ökonomisches Ergebnis auf. Dabei erzielt das Kleegras in den beiden Hauptnutzungsjahren trotz der hohen Erntekosten durch die dreifache Schnittnutzung Deckungsbeiträge in Höhe von durchschnittlich 320 €/ha. Neben der guten Ertragsleistung macht sich hier auch die Stickstofffixierungsleistung, die mit 50 % des N-Entzugs angesetzt wurde, in den niedrigen Düngemittelkosten bemerkbar.

Die Fruchtfolgen 1, 2 und 3 lagen mit durchschnittlichen Deckungsbeiträge von 86, 105 bzw. 130 €/ha und Jahr im Mittelfeld. Positive Ergebnisse steuerten dabei vor allem Mais, Wintertriticale-GPS sowie Winterweizen und -triticale zur Körnernutzung bei. Die Deckungsbeiträge von Winterweizen als abschließendes Fruchtfolgeglied spiegeln mit einer Spannweite von 112 €/ha (Fruchtfolge 2) bis 368 €/ha (Fruchtfolge 5) die Ertragsunterschiede deutlich wider.

In der 2. Versuchsanlage stellt sich die ökonomische Leistung der Fruchtfolgen etwas anders dar. Die außergewöhnlich hohen Deckungsbeiträge von Mais im Jahr 2007 führen dazu, dass die Fruchtfolgen 1, 2 und 6 in der ökonomischen Auswertung deutlich besser als in der 1. Versuchsanlage abschneiden. Daneben erzielen in dem milden Winter 2006/2007 die zur Teigreife geernteten Wintergetreide positive Deckungsbeiträge, wie z.B. Winterroggen in Fruchtfolge 2 mit 218 €/ha. Damit beläuft sich der Deckungsbeitrag von Winterroggen (Ernte Teigreife) und Zweitfrucht Mais auf insgesamt 366 €/ha*a (Fruchtfolge 2). Im Vergleich dazu erzielen die Kulturabfolgen Winterroggen (Ernte Ährenschieben)-Mais (Fruchtfolge 6) und Ölrettich-Mais (Fruchtfolge 1) Gesamt-Deckungsbeiträge von 587 bzw. 655 €/ha in der 2. Versuchsanlage. Diese Ergebnisse, die sich auf niedrigerem Niveau auch in der 1. Versuchsanlage zeigen, deuten darauf hin, dass ein optimaler, möglichst früher Saatzeitpunkt von Mais an Standorten mit relativ niedriger Temperatursumme für eine gute ökonomische Leistung sehr wichtig ist.

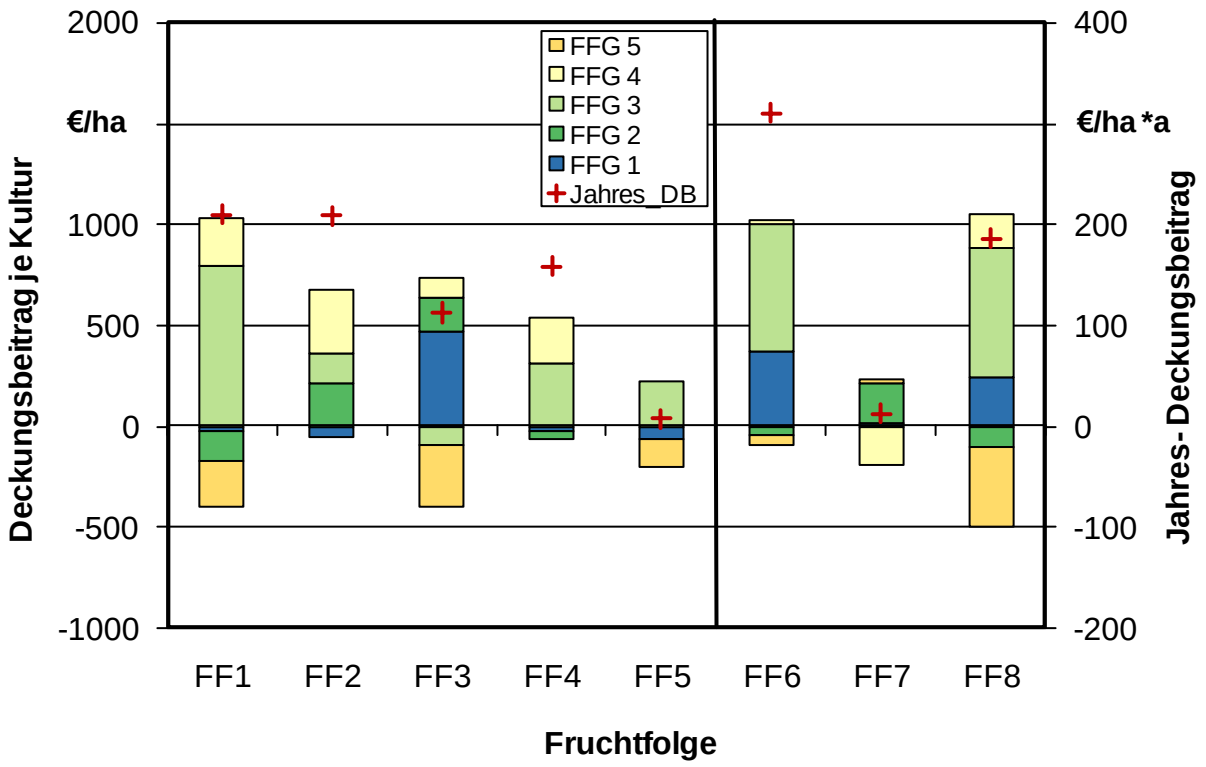


Abbildung 11: Vergleich des durchschnittlichen Jahresdeckungsbeitrag der Kern- und Regionalfruchtfolgen, 2. Versuchsanlage, 2006 - 2008 (linke Achse), sowie Deckungsbeiträge der einzelnen Fruchtfolgeglieder jeweils über die Fruchtfolge aufsummiert (rechte Achse); die Werte sind im Anhang, Tabelle 10 aufgeführt

3.7 Anbauempfehlung für die Region

In den bisherigen Ergebnissen zeigt sich deutlich die Überlegenheit von Mais hinsichtlich der Ertragsleistung und der Wirtschaftlichkeit. Deshalb sollte Mais auch in Zukunft eine tragende Rolle in der Fruchtfolgegestaltung im Energiepflanzenanbau in Bayern spielen. In der ökonomischen Auswertung wird deutlich, dass Mais in Hauptfruchtstellung Anfang Mai gesät einen deutlich höheren Deckungsbeitrag erzielen kann als in Zweitfruchtstellung nach Grünschnittroggen oder zur Teigreife geerntetem Winterroggen. Da dieser ökonomische Minderertrag durch die Erstkulturen nicht kompensiert wird, ist die Zweikulturnutzung trotz der höheren Gesamt-Ertragsleistung aus wirtschaftlicher Sicht in Ackerbauregionen der Vorgebirge nicht zu empfehlen.

Auch wenn Mais die wichtigste Kultur für die Biogasproduktion ist, sollte ein Fruchtfolgeanteil von über 50 % aufgrund der starken Humuszehrung dieser Kultur vermieden werden. Ergänzend bieten sich hier Getreide-GPS mit Anbau einer Sommerzwischenfrucht oder auch die Integration von Futter- bzw. Brotgetreide in die Fruchtfolge an. Neben dem Mais liefert auch mehrjähriges Kleegras hohe und stabile Methanerträge. Insbesondere in höheren Lagen und auf hängigen Flächen, die sehr erosionsgefährdet sind, sollten deswegen Ackerfuttermischungen verstärkt angebaut werden. Der Leguminosenpartner in diesen Mischungen kann wesentlich dazu beitragen, Kosten durch mineralische Stickstoffdünger zu verringern. Winterraps zeigte sich am Versuchsstandort in Ascha weder zur Körnerernte noch zur Ganz-

pflanzennutzung geeignet. Die Sorghumhybride verfügt zwar über ein hohes Biomassebildungspotential, jedoch erreichen die aktuell verfügbaren Sorten meist keinen ausreichenden Trockensubstanzgehalt, so dass hier hohe Transportkosten negativ zu Buche schlagen. Wer dennoch zur Risikominimierung diese trockenheitstolerante Kulturart in seine Fruchtfolge integrieren möchte, sollte auf frühreifende Sorten zurückgreifen.

4 Zusammenfassung

In dem vorgestellten Verbundvorhaben wurden seit Projektbeginn 2005 im Grundversuch fünf an allen Standorten einheitliche sowie drei standortangepasste Regionalfruchtfolgen mit Energiepflanzen angebaut. Zur Nutzung als Biogassubstrat wurden zum Teil etablierte Kulturpflanzen wie Mais ausgewählt, es wurden aber auch veränderte Nutzungsformen wie die Ganzpflanzenernte von Getreidebeständen oder enge Kulturabfolgen wie in der Zweikulturnutzung geprüft. Außerdem wurden auch neue Pflanzenarten wie Sorghumhirsen in die Fruchtfolgen gestellt, da diese sich als besser angepasst an die geänderten Anbau- und Klimabedingungen erweisen könnten.

Der Grundversuch wurde in zwei um ein Jahr zeitversetzten Versuchsanlagen im Vorwald des Bayerischen Waldes in Ascha durchgeführt. Beim Vergleich der Fruchtfolgen fallen große Unterschiede in der Ertragsleistung auf. Fruchtfolgen mit einem hohen Anteil an C_4-Pflanzen wie Mais und Sorghumhybriden erreichen die höchsten Trockenmasse-Erträge. Daneben liefert aber auch dreimal geschnittenes Kleegras eine gute Ertragsleistung. Bei den Getreiden mit Ganzpflanzennutzung zeigt Wickroggen neben Wintertriticale und Winterweizen sehr gute Trockenmasse- und entsprechend hohe Methanerträge. Der Winterroggen bleibt hinter diesen Erträgen aufgrund der ca. 3 bis 4 Wochen früheren Ernte zurück. Als frühräumende Erstkultur vor Mais erreicht er jedoch zeitig ausreichende Trockensubstanzgehalte und zeigt sich hier anderen Kulturen überlegen. Die Sommergetreide Hafer und Sommergerste liefern nur sehr bescheidene Ganzpflanzenerträge.

Durch die Zweikulturnutzung Winterroggen-Mais werden etwas höhere Trockenmasse-Erträge erzielt als in der Hauptfruchtnutzung von Mais. Es zeigt sich jedoch, dass eine Saatverzögerung bei der Bestellung der Zweitkulturen Mais oder Sorghumhirse hohe Ertragseinbußen durch die nicht mehr vollständig ablaufende Bestandesentwicklung bedingt. Die niedrigen Trockensubstanzgehalte bei der Ernte führen zudem zu relativ hohen Transportkosten bei der Ernte sowie bei der Ausbringung der Gärreste. Bei Aussaatterminen ab Mitte Juni bieten sich stattdessen Futtergräser wie Welsches Weidelgras als Sommerzwischenfrucht an.

Im Sinne eines nachhaltigen Energiepflanzenanbaus ist eine ausgeglichene Humusbilanz unabdingbar. Während die kleegrasbetonte Fruchtfolge eine sehr hohe Humusreproduktion aufweist, erreichen Fruchtfolgen mit einem hohen Maisanteil nur bei 100 %iger Rückführung der Gärreste ein Humussaldo, welches den Cross-Compliance-Vorgaben entspricht. Da bei diesen die Koeffizienten für die Humuszehrung der Fruchtarten sehr niedrig angesetzt werden (VDLUFA „untere Werte“ statt „obere Werte“), kann es dennoch zu einem langfristigen Abbau der organischen Substanz im Boden kommen.

In der ökonomischen Auswertung beweist Mais seine Vorzüglichkeit als Energiepflanze für die Biogasnutzung. Daneben liefern aber auch Kleegras und die Ganzpflanzengetreide Wickroggen, Wintertriticale und Winterweizen gute Deckungsbeiträge. Sorghum konnte nur bei frühem Aussaattermin und günstigem Witterungsverlauf ein positives Ergebnis erwirtschaften. Für die relativ niedrigen Temperatursummen an diesem Standort bietet sich deswegen diese Kultur nicht zur Biogasnutzung an.

Insgesamt ist aufgrund des hohen Jahreseinflusses eine weitere Fortführung des Verbundvorhabens notwendig, um die bisher gewonnenen Erkenntnisse weiter abzusichern.

5 Literatur

DLG (1997): DLG-Futterwerttabellen - Wiederkäuer. DLG-Verlag, Frankfurt/Main, 7.Auflage, S. 212.

http://www.bmu.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/hintergrund_meseberg.pdf (abgerufen am 05.12.2008)

http://www.fnr.de/ (abgerufen am 05.12.2008)

Stein-Bachinger, K., Bachinger, J, Schmitt, L. (2004): Nährstoffmanagement im ökologischen Landbau. Ein Handbuch für Beratung und Praxis. KTBL-Schrift 423, Darmstadt, 136 S.

Landwirtschaftliches Technologiezentrum Augustenberg
Außenstelle Rheinstetten-Forchheim
Kutschenweg 20
76287 Rheinstetten
Klaus Mastel, Dr. Sandra Kruse

Tel. : 0721 / 95 18 – 231
Fax : 0721 / 95 18 – 202

eMail: poststelle-fo@ltz.bwl.de
http://www.ltz-augustenberg.de

LANDWIRTSCHAFTLICHES
TECHNOLOGIEZENTRUM
AUGUSTENBERG

Baden-Württemberg

Endbericht

Entwicklung und Optimierung von standortangepassten Anbausystemen für Energiepflanzen im Fruchtfolgeregime in vom Klima begünstigte Lagen

Zuwendungsempfänger:	LTZ Augustenberg, Außenstelle Rheinstetten-Forchheim
Förderkennzeichen:	2220002305
Vorhabenbezeichnung:	FNR Fruchtfolgeversuch
Laufzeit des Vorhabens:	16.03.2005 - 31.12.2008
Berichtszeitraum:	2005 - 2008
Berichterstattung:	Dr. Sandra Kruse, Klaus Mastel

Inhaltsverzeichnis

1	**Einleitung**	**247**
2	**Material und Methoden**	**248**
2.1	Standortcharakteristik	248
2.2	Witterungsverlauf und Klimatische Wasserbilanz	248
2.3	Versuchsdurchführung	249
2.4	Berechnungsgrundlagen	251
2.4.1	Nährstoffbilanz (N, P, K)	251
2.4.2	Humusbilanz	252
2.4.3	Theoretische Biogas- und Methangasausbeute	252
3	**Ergebnisse und Diskussion**	**252**
3.1	Frischmasse- und Trockenmasseerträge	252
3.2	Winterweizenerträge in Kombination mit dem Strohertrag	258
3.3	Nährstoffbilanz	259
3.4	Humusbilanz	261
3.5	Methanertrag im Biogas	264
3.6	Ökonomische Gesamtbewertung	266
3.7	Anbauempfehlungen für die Region	268
4	**Zusammenfassung**	**269**
5	**Literatur**	**270**

1 Einleitung

Vor dem Hintergrund der Endlichkeit fossiler Energieträger müssen Alternativen aufgezeigt werden, dem weltweit steigenden Energiebedarf zu entsprechen und die Energieversorgung in Deutschland sicherzustellen. Eine Alternative hinsichtlich dezentraler Energieversorgung aus nachwachsenden Rohstoffen stellt u.a. die Vergärung von Pflanzen in Biogasanlagen zur Strom- und Wärmegewinnung dar.

Die zunehmende Anzahl von Biogasanlagen bedingt einen stetig steigenden Flächenbedarf für den Anbau von Energiepflanzen für die Biogasproduktion. Im Jahr 2008 wurden auf ca. 2 Mio. ha nachwachsende Rohstoffe angebaut; schätzungsweise ¼ der Fläche entfielen dabei auf den Anbau von Pflanzen zur Biogaserzeugung (FNR, 2008). Nach Angaben von Biogasbetreibern wird vor allen Dingen Mais als Kosubstrat zur Vergärung in Biogasanlagen eingesetzt (Weiland, 2006), dies wiederum bedingt eine steigende Anbaufläche von Silomais (DMK, 2008).

Der großflächige Anbau von Mais ist jedoch auch Kritikpunkten ausgesetzt, die sich nicht zu letzt auf ökologische Aspekte beziehen. Schon werden Befürchtungen hinsichtlich sich anbahnender Mais-Wüsten und den damit verbundenen ökologischen Risiken wie Bodenerosion, Humuszehrung, eingeschränkte Flora und Fauna etc. formuliert. Ebenfalls stellt sich in der Gesellschaft bei steigenden Nahrungsmittelpreisen die Frage, ob sich eine sinnvolle Flächennutzung alleinig auf die Biomasseproduktion konzentrieren sollte.

Ziel des Energiepflanzenanbaus muss es also einerseits sein, möglichst viel Biomasse pro Flächeneinheit zu erzeugen, um die Wirtschaftlichkeit und die Effizienz der Biogasanlagen sicherzustellen. Andererseits muss einer Monotonisierung der Agrarlandschaft und eventuellen ökologischen Nachteilen des Energiepflanzenanbaus entgegengewirkt werden, damit die positiven Effekte der Energieproduktion aus nachwachsenden Rohstoffen nicht durch Negativaspekte überlagert werden.

Aus eben diesen Gründen und aus landschaftsästhetischen Aspekten, die insbesondere für die breite Akzeptanz der Biomasseproduktion von großer Bedeutung sind, stellt sich die Frage, ob Fruchtfolgen mit wechselnden Haupt- und Zwischenfrüchten, die einerseits als Lebensmittel andererseits als Energiepflanze Anwendung finden, eine nachhaltige Anbau-Alternative darstellen können. Um zu einer Gesamtbewertung verschiedener Kulturen, die in unterschiedlicher Fruchtfolgegestaltung angebaut werden, kommen zu können, bedarf es einerseits der Evaluierung des Biomasseertrages bzw. des Methanertrages, also des Leistungspotenzials unterschiedlicher landwirtschaftlicher Kulturarten und Fruchtfolgen. Andererseits müssen in eine umfassende Bewertung ökologische und ökonomische Aspekte einfließen, um durch die Abwägung eventueller Vor- aber auch Nachteile praktischen Landwirten eine Entscheidungshilfe an die Hand geben zu können.

Das Ziel des beschriebenen Forschungsprojektes ist somit eine umfassende Analyse unterschiedlichster Fruchtfolgen hinsichtlich ihres Biomasse- bzw. Methanertrages und die Evaluierung ihrer ökologischen bzw. ökonomischen Effekte in Abhängigkeit der Anbauregion.

2 Material und Methoden

2.1 Standortcharakteristik

Der Versuchsstandort Ettlingen liegt 170 m ü. NN. Laut Bodenkarte von Baden-Württemberg (LGRB, 2009) handelt es sich um eine tiefe Pseudogley-Parabraunerde aus sandig-lehmigem Schluff bis lehmigem Schluff in den oberen 0 - 70 cm und schluffigem Lehm bis schluffig-tonigem Lehm im Unterboden. Die Feldkapazität beträgt 317 mm, die nutzbare Feldkapazität 195 mm (LGRB, 2009). Im effektiven Wurzelraum wurden auf dem Versuchsstandort nutzbare Feldkapazitäten von 168-253 mm gemessen (Deumlich, 2008). Darüber hinaus werden als Besonderheit des guten Lößstandorts die terrassierte Hanglage mit deutlichen Erosionsspuren und der naheliegende nördl. Schwarzwald angegeben. Als langjährige Wetterdaten liegen die Werte der ca. 7 km entfernten Station in Rheinstetten-Forchheim (117 m NN) vor. Die mittlere Jahrestemperatur (1989 - 2005) beträgt hier 11,1 °C, im Sommerhalbjahr 16,8 °C, die mittleren Jahresniederschlagssummen (1989 - 2005) betragen 698 mm, davon 351 mm von April bis September.

2.2 Witterungsverlauf und Klimatische Wasserbilanz

Ab Mitte des Jahres 2006 war die Möglichkeit gegeben, Wetteraufzeichnungen direkt am Versuchsfeld vornehmen zu können. Die am Standort gemessenen Jahresdurchschnittstemperaturen lagen im Jahr 2006 1,0 °C und im Jahr 2007 0,7 °C über dem o.g. langjährigen Mittel. Die Vegetationszeit (April-September) stellte sich in diesen Jahren 1,6 bzw. 0,2 °C wärmer dar, wohingegen das Jahr 2008 in der Vegetationszeit 0,5 °C niedrigere Temperaturen aufwies (Abbildung 1). In allen Versuchsjahren sind im Jahresdurchschnitt im Vergleich zum langjährigen Mittel mehr Niederschläge gefallen (2006: +20; 2007: +137; 2008 +69 mm); und auch die Vegetationszeit war mit Ausnahme des Jahres 2006 (-46 mm) durch höhere Niederschläge charakterisiert (2007: +87 mm; 2008: +27 mm).

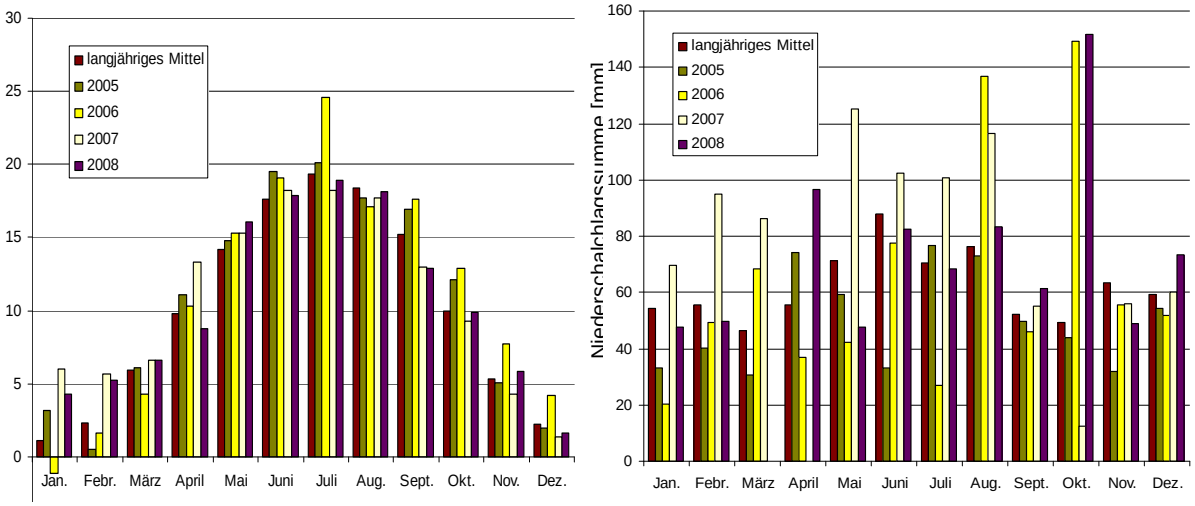


Abbildung 1: Monatliche Durchschnittstemperaturen [°C] und Niederschlagssummen [mm] der Versuchsjahre 2005 - 2007 im Vergleich zum langjährigen Mittel.

In Abbildung 2 ist die klimatische Wasserbilanz (KWB) des Standortes Karlsruhe in den Versuchsjahren 2005 - 2008 abgetragen. Es zeigt sich, dass in allen Versuchsjahren bis Mitte Mai die potenzielle Verdunstung in etwa durch die Niederschläge kompensiert werden kann. Im weiteren Verlauf des Jahres hingegen verdunstet in erheblichem Maße mehr Wasser als durch Niederschläge hinzukommt, wobei darauf hingewiesen werden muss, dass in die Berechnung die potenzielle Evapotranspiration einfließt. Die reale Verdunstung fällt unter heißen und trockenen Witterungsbedingungen wesentlich geringer aus. In allen Versuchsjahren weist die klimatische Wasserbilanz im Herbst ein erhebliches Wasserdefizit auf, wobei jahresbedingte Schwankungen offensichtlich sind. So war das Jahr 2005 weit trockener als die anderen Versuchsjahre, insbesondere als 2006.

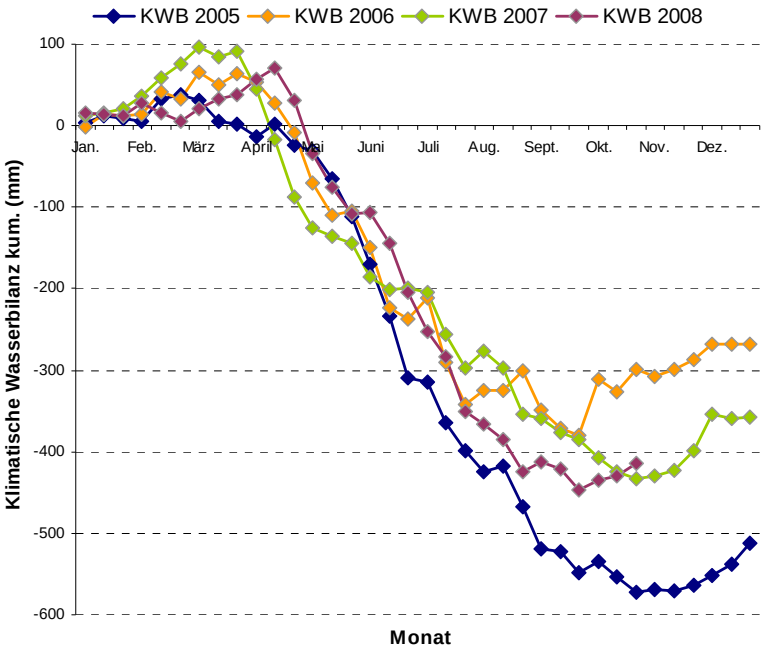


Abbildung 2: Klimatische Wasserbilanz [mm] in den Versuchsjahren 2005-08 am Standort Karlsruhe

2.3 Versuchsdurchführung

Der beschriebene Feldversuch gliedert sich in eine Erstanlage und eine Doppel- oder Zweitanlage.

Die Erstanlage wurde im Jahr 2005 als randomisierte Blockanlage mit 9 Varianten in 4-facher Wiederholung angelegt. Als zeitliche Wiederholung wurde die Doppelanlage mit identischem Versuchsdesign im Jahr 2006 ergänzt. Die Parzellengröße (netto) beträgt 36 m².

Tabelle 1: Geprüfte Fruchtfolgen (Varianten) und Sorten in den Versuchsjahren 2005-2008

Variante	2005 (2006)*	2005/06 (2006/07)	2005/06 (2006/07)	2006 (2007)	2006/07 (2007/08)	2007 (2008)	2008 (2009)
	Hauptfrucht	Sommer-zwischenfrucht	Erstfrucht	Zweit-/Hauptfrucht	Erstfrucht	Hauptfrucht	Hauptfrucht
1	SGerste (Pasadena)	Ölrettich (Resal)		Mais (Montoni, S 370)	WTriticale (Massimo)	Zuckerhirse (SuperSile 20)	WWeizen (Türkis)
2	Sudangras (Susu)		Froggen (Recrut)	Mais (Fiacre, S 350)		WTriticale (Massimo)	WWeizen (Türkis)
3	Mais (Montoni, S 370)		Froggen (Recrut)	Sudangras (Susu)	WTriticale (Massimo)	Weidelgras (Liquattro)	WWeizen (Türkis)
4	SGerste (Tocada)	Luzerne-Gras					WWeizen (Türkis)
5	Hafer (Mischung)	STriticale (Logo)		WTriticale (Logo)		WRaps (Taurus)	WWeizen (Türkis)
6	Zuckerhirse (SuperSile 20)		WGerste (Naomie)	Sudangras (Susu)	Wraps (Taurus)	Hafer (Dominik)	WWeizen (Türkis)
7	Sonnenblumen (Allisson)		WTriticale (Massimo)	Zuckerhirse (SuperSile 20)		Mais (Montoni, S 370)	WWeizen (Türkis)
8	Mais (Fiacre, S 350)		FRoggen (Recrut)	Körnermais (Cornboy)		Mais (Pardi, S 350)	WWeizen (Türkis)
9	SGerste (Ursa)	Erbsen (Susan/Lisa)	FRoggen (Recrut)	Zuckerhirse (SuperSile 20)		Mais (Gipsi, S 400)	WWeizen (Türkis)

* Jahreszahlen in Klammern entsprechen den Versuchsjahren der Doppelanlage

Der Versuchsplan und die entsprechenden Prüffaktoren der neun Fruchtfolgen mit unterschiedlichen Arten und Sorten und teilweise nachfolgenden Zwischenfrüchten sind in Tabelle 1 bzw. in Abbildung 3 abgetragen. Die Anbaudaten hinsichtlich Bodenbearbeitung, Aussaat, Pflege und Ernte der Bestände in der Erst- bzw. in der Doppelanlage sind den Tabellen der entsprechenden Zwischenberichte zu entnehmen.

großer Weg (12m)								
94	64	84	74	34	14	54	24	44
kleiner Weg (10 m)								
23	43	93	63	83	73	33	13	53
großer Weg (12 m)								
62	82	72	32	12	52	22	42	92
kleiner Weg (10 m)								
31	11	51	21	41	91	61	81	71
großer Weg (12 m)								
64	74	84	94	14	24	34	44	54
kleiner Weg (10 m)								
43	53	63	73	83	93	13	23	33
großer Weg (12 m)								
72	82	92	12	22	32	42	52	62
kleiner Weg (10 m)								
11	21	31	41	51	61	71	81	91
großer Weg (12m)								

Doppelanl

Erstanlage

wobei: 1 - 9 erste Zahl: geprüfte Variante (Fruchtfolge) 1 - 4 zweite Zahl: Wiederholung

Abbildung 3: Versuchsanlage mit entsprechenden Fruchtfolgen bzw. Wiederholungen

Neben den Pflegearbeiten und den Ernten wurden in jedem Jahr von den Verbundpartnern festgelegte Bonituren zu Bestandesdichte, zur Pflanzenhöhe, zum Deckungsgrad der Kulturen und der Unkräuter und zu auftretenden Mängeln bzw. Krankheiten vorgenommen. Eine Datenübermittlung zum Leibniz-Zentrum für Agrarlandschaftsforschung e.V. (ZALF) bzw. zur Justus-Liebig-Universität Gießen, Institut für Betriebslehre der Agrar- und Ernährungswirtschaft, für die verbundübergreifende Auswertung hat ebenso stattgefunden wie die Übersendung von einsiliertem Probenmaterial zum Leibniz Institut für Agrartechnik Potsdam-Bornim e.V. (ATB).

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass in den Versuchsjahren 2005 - 2008 jede Kulturart etabliert und geerntet werden konnte, wenn es auch durch Witterungsbedingungen und/oder äußeren Einflüssen (z. B. Wildschaden) einige Einschränkungen im Versuchsablauf gab.

So gelang beispielsweise die Etablierung des Luzernegrases als Untersaat in Sommergerste in beiden Versuchsjahren nicht und eine erneute Einsaat wurde erforderlich. Ebenso konnte im Jahr 2007 die Kornernte des Winterrapses in Fruchtfolge 5 durch Vogelfraß und nassen, windigen Witterungsbedingungen (Komplettausfall der Körner) nicht vorgenommen werden. Durch Wildschweine wurden im Jahr 2008 die Silomaisparzellen der Fruchtfolge 9, die Haferparzellen der Fruchtfolge 6 und einige Winterweizenparzellen teilweise beschädigt, welches jedoch nur beim Hafer dazu führte, dass keine Ertragsfeststellung zur Endernte vorgenommen werden konnte. Wildfrass (Wildschwein, Vögel) konnte insbesondere bei der Aussaat der Sorghum-Hirsen bzw. den Sonnenblumen und der Abreife von Mais, Raps und Sonnenblumen beobachtet werden. Diesem wurde sowohl durch Vlies- bzw. Netzabdeckung als auch durch Einzäunung des Versuches mit Wild- sowie Elektrozaun Einhalt geboten. Auswirkungen von Krankheiten und/oder Schädlingen schwankten erheblich zwischen den einzelnen Versuchsjahren. An unserem Standort ist dabei hauptsächlich das unterschiedliche Auftreten des Maisbeulenbrands und des Maiszünslers (an Mais und Sorghum-Arten!! v.a. in 2006) zu nennen, aber auch der Befall von Schneeschimmel an Wintertriticale (2006/2007) oder Rost an Hafer und Weizen (2007/08). Weiterhin wurde zu Versuchsbeginn das Sudangras zweischnittig geerntet, von diesem Vorgehen hat man im Folgenden jedoch Abstand genommen, um einen zur Silierung notwendigen TS-Gehalt von über 28 % sicherstellen zu können.

2.4 Berechnungsgrundlagen

Alle im Folgenden vorgestellten Untersuchungsergebnisse wurden nach Vorgaben ermittelt, die innerhalb des Verbundprojektes erarbeitet bzw. festgelegt wurden:

2.4.1 Nährstoffbilanzierung (N, P, K)

In den nachfolgend dargestellten Bilanzen der Nährstoffe Stickstoff (N), Phosphor (P) und Kalium (K) wurden den entsprechenden Zufuhren in Form von mineralischem Dünger die entsprechenden Abfuhren durch das Erntegut entgegengestellt (Nährstoffsaldo = Nährstoffzufuhr - Nährstoffabfuhr). Die Nährstoffanalysen am Erntematerial erfolgten entsprechend den Analysenvorschriften u.a. nach Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs-

und Forschungsanstalten (VDLUFA) im eigenen Labor (N: nach Dumas, P: Photometrie, K: Ionenchromatographie). Die Ergebnisse des ZALFs hinsichtlich der Bilanzen der Jahre 2005 - 2006 wurden durch eigene Berechnungen (2007/08) ergänzt.

2.4.2 Humusbilanzierung

Die nachfolgend dargestellte Humusbilanz wurde anhand der Kennzahlen zur fruchtartspezifischen Veränderung des Humusvorrats (Humusbedarf) des Bodens in Humusäquivalenten (kg Humus-C pro ha und Jahr) und unter Annahme der Gärrestrückführung auf die Fläche für einen Zeithorizont von 1 Jahr nach Cross Compliance-Vorgaben vom ZALF berechnet.

2.4.3 Theoretische Biogas- und Methanausbeute

Das Probematerial der Endernten wurde der Weender Analyse zugeführt. Die dabei analysierten Gehalte an Rohnährstoffen (Rohasche, Rohfett, Rohfaser, Rohprotein, Stickstoff-freie Extraktstoffe) dienten als Berechnungsgrundlage für die theoretischen Biogas- bzw. Methanausbeuten. Die theoretischen Ausbeuten werden in Anlehnung an Schattauer und Weiland (2006) berechnet. Für die verdauliche Fraktion von Eiweiß, Fett und Kohlenhydraten wurden Biogaserträge von 650, 1125 bzw. 750 l/kg organischer Trockensubstanz (oTS) und für den Methangehalt von 72,5, 70,5 bzw. 52,5 Vol.% zugrunde gelegt. Die Verdaulichkeitskoeffizienten der Rohnährstoffe des entsprechenden Materials wurden unter Beachtung des Reifegrads der DLG-Futterwerttabelle für Wiederkäuer (1997) entnommen.

3 Ergebnisse und Diskussion

Die folgenden Ergebnisse bezüglich der Biomasseerträge der einzelnen Kulturen bzw. Fruchtfolgen, die Rohnährstoffgehalte und die daraus berechneten Energieerträge beziehen sich auf die Versuchsjahre 2005 - 2008 und wurden am LTZ Augustenberg, Außenstelle Rheinstetten-Forchheim, erhoben und analysiert. Die Ergebnisse zu den Nährstoffbilanzen des Versuchs sind u.a. der Datenlieferung des ZALF entnommen (Dr. Willms), die ökonomische Auswertung erfolgte von Herrn Dr. Toews an der Universität zu Gießen.

3.1 Frischmasse- und Trockenmasseerträge

Mit der Winterweizenernte 2008 wurde in der Erstanlage die erste komplette Rotation der betrachteten Fruchtfolgen (FF) beendet. Im Folgenden sind die aufsummierten Frischmasse- (FM-) bzw. Trockenmasse- (TM-) Erträge der einzelnen Fruchtfolgen (vgl. Tabelle 1) einschließlich abschließendem Winterweizen und Sommerzwischenfrüchte, d.h. komplett von 2005 bis 2008 im Mittel der Wiederholungen aufgetragen (Abbildung 4).

Die Regionalfruchtfolge 7 kann mit knapp 300 t/ha die höchsten FM-Erträge realisieren, gefolgt von der FF 6 mit 240 t FM/ha(Tabelle 2). Als ertragsstärkste Standardfruchtfolge realisieren die FF 1 und 3 im Mittel 204 t FM/ha. Leistungsstarke Einzelkulturen wie Mais, Futterhirse aber auch Sonnenblumen können pro Jahr eine Biomasse von knapp 100 t FM/ha aufbauen, wobei jedoch das Erntematerial mehr oder weniger Wasser enthält. Somit verschie-

ben sich bei Betrachtung der Trockenmasse-Erträge die Relationen der einzelnen Kulturen zueinander teilweise erheblich. Aufgrund der niedrigen Trockensubstanz- (TS-) Gehalte von Sonnenblumen (FF 7; 17,5 %) und den Sommerzwischenfrüchten (FF1 und 9; ø 9,4 %) nehmen diese Kulturen bei der Betrachtung der TM-Erträge keine herausragende Stellung ein, wohingegen die Relationen aufgrund des hohen TS-Gehaltes vom Körnermais (FF 8; 86 %) zu dessen Gunsten verschoben wird.

Auch bei der Betrachtung des TM-Ertrags bleibt die Regionalfruchtfolge 7 die ertragsstärkste hier getestete Fruchtfolge. 703 dt TM/ha können durch die Fruchtarten Sonnenblumen, Wintertriticale, Futterhirse, Mais und Winterweizen in 4 Jahren akkumuliert werden. Desgleichen können die stark C4-Arten betonten Regionalfruchtfolgen 8 und 9 in ihrer Gesamtheit über 640 dt TM/ha realisieren. Die Standardfruchtfolgen 1 und 3 erzielen im Mittel 590 dt TM/ha, wohingegen die Fruchtfolgen 4 und 5 mit einem Ertrag von 433 bzw. 366 dt TM/ha stark zurückfallen (Tabelle 3).

Aufgrund der Ertrags-Ergebnisse der ersten Rotation zeigt sich demnach, dass am Standort Ettlingen Fruchtfolgen, die C4-Arten wie Mais und Futterhirse in Kombination mit Wintergetreide GPS-Nutzung beinhalten, das höchste Ertragsniveau erreichen.

Hinsichtlich der Vorfruchtwirkungen einzelner Kulturen oder Fruchtfolgen ebenso wie hinsichtlich möglicher Fruchtfolgeeffekte können an dieser Stelle kaum Aussagen getroffen werden. Sowohl die erzielten Frischmasse- als auch die Trockenmasse (100 %) - Erträge des abschließenden Fruchtfolgegliedes Winterweizen, der als Indikator fungieren sollte, enttäuschen außerordentlich. Die Bodenbeschaffenheit und die vorherrschenden Witterungsbedingungen lassen am Standort Ettlingen Kornerträge von über 80 dt/ha Weizen (86 % TS) erwarten. Dieses Ertragsniveau, konnte in diesem Versuchsjahr nicht erreicht werden. Auf diesen Aspekt wird im weiteren Bericht näher eingegangen.

Eine abschließende Bewertung des Ertragsniveaus auf dem jeweiligen Standort kann auf Basis einjähriger Ergebnisse nicht abgegeben werden. Aus diesem Grunde müssen die **Ergebnisse der Doppelanlage** Beachtung finden. Die aufsummierten FM- bzw. TM-Erträge der Doppelanlage zeigen erhebliche jahresbedingte Schwankungen auf, die im wesentlichen auf die unterschiedlichen Witterungsbedingungen zurückzuführen sind (vgl. Abbildung 1).

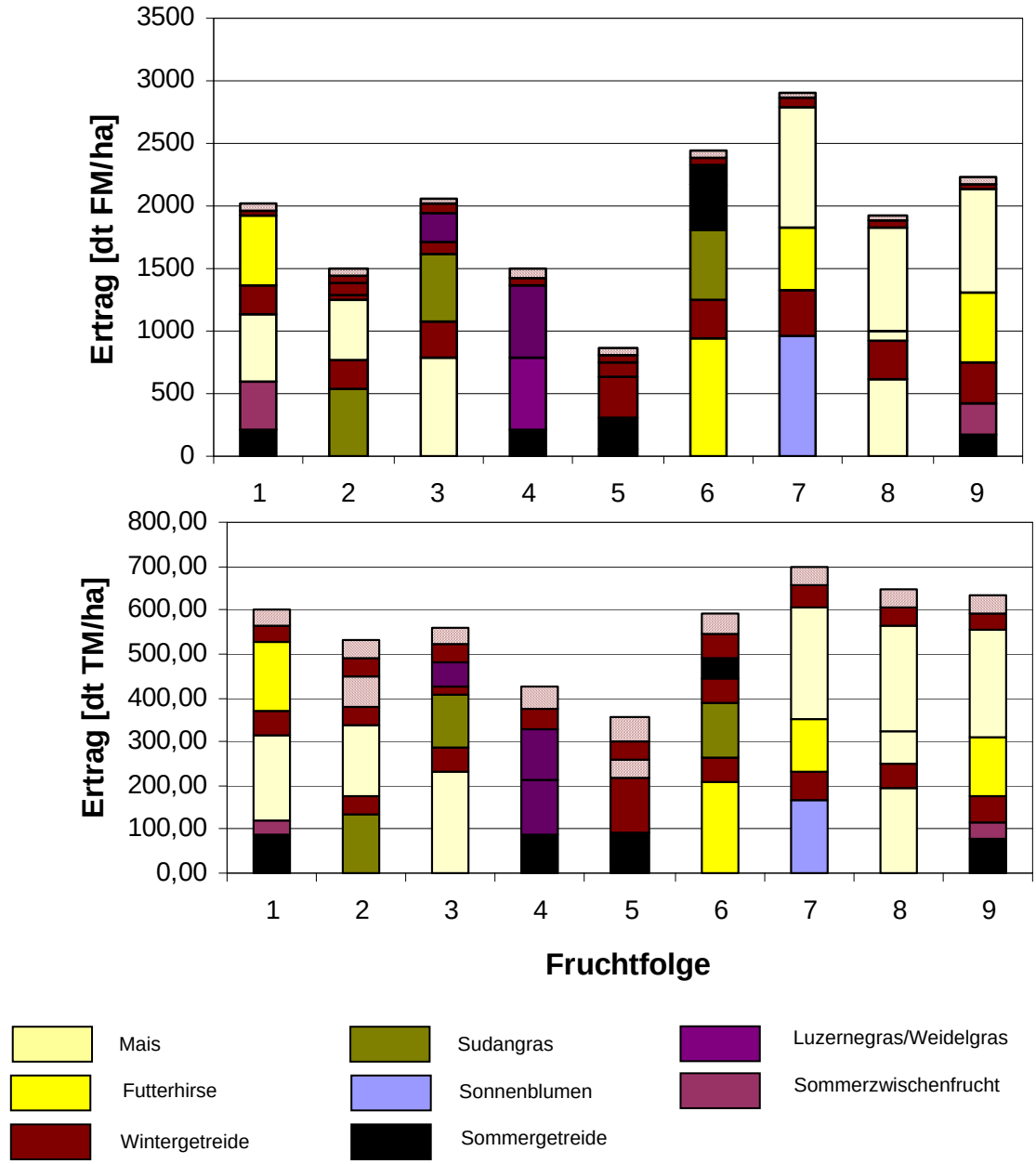


Abbildung 4: Aufsummierte Frischmasse- (FM-) und Trockenmasse- (TM-) Erträge [dt /ha] der Fruchtfolgen 1-9 in der Erstanlage (2005-2008)

In der Doppelanlage kann die FF 1 bis zur Einsaat der Winterweizens (also in 3 Jahren) einen akkumulierten Frischmasse-Ertrag von 214 t/ha erreichen und zeigt sich mit einem TM-Ertrag von 553 dt/ha anders als in der Erstanlage als ertragsstärkste Fruchtfolge (Tab. 4, 5). Die Standardfruchtfolgen 2 (518 dt TM/ha) und 3 (486 dt TM/ha) sowie die Regionalfruchtfolgen 7 (475 dt TM/ha), 8 (510 dt TM/ha) und 9 (452 dt TM/ha) sind mit über 450 dt TM/ha ertragsstark. Die Fruchtfolgen 4, 5 und 6 (im Mittel 287 dt TM/ha) enttäuschen dagegen.

Tabelle 2: Frischmasse-Erträge [dt/ha] der einzelnen Fruchtfolgeglieder bzw. der betrachteten Fruchtfolgen in der Erstanlage 2005 - 2008.

Frischmasse-Ertrag der Erstanlage [dt/ha]								Summe
FF 1	S.Gerste 209,50	Ölrettich 384,79	Mais 537,01	W.Triticale 225,28	Zuckerhirse 564,03	WW K 45,01	WW S 47,60	**2013,22**
FF 2	Sudangras 540,28	W.Roggen 225,38	Mais 476,67	W.Triticale 48,08	W.Triticale 97,29	WW K 56,76	WW S 49,68	**1494,14**
FF 3	Mais 792,78	W.Roggen 290,33	Sudangras 532,67	W.Triticale 89,69	Einj. WGras 246,08	WW K 60,94	WW S 52,15	**2064,64**
FF 4	S.Gerste 208,00		Luzernegras 574,64	Luzernegras 580,35		WW K 61,30	WW S 72,24	**1496,53**
FF 5	Hafer-SoMi 239,50	S.Triticale 59,10	W.Triticale 343,17	W.Raps K 0,00	W.Raps S 109,62	WW K 51,01	WW S 68,58	**870,98**
FF 6	Zuckerhirse 947,00	W.Gerste 306,00	Sudangras 547,22	W.Raps 367,08	Hafer 150,97	WW K 60,86	WW S 58,71	**2437,84**
FF 7	SoBlume 955,00	W.Triticale 363,83	Zuckerhirse 511,25		Mais 964,72	WW K 62,29	WW S 51,95	**2909,04**
FF 8	Mais 617,70	W.Roggen 300,83	Mais 76,4		Mais 828,19	WW K 54,76	WW S 49,64	**1927,52**
FF 9	S.Gerste 173,50	Erbse 248,13	W.Roggen 323,00	Zuckerhirse 564,86	Mais 823,19	WW K 46,30	WW S 45,51	**2224,49**

Tabelle 3: Trockenmasse-Erträge [dt/ha] der einzelnen Fruchtfolgeglieder bzw. der betrachteten Fruchtfolgen in der Erstanlage 2005 - 2008.

Trockenmasse-Ertrag der Erstanlage [dt/ha]								Summe
FF 1	S.Gerste 86,59	Ölrettich 33,56	Mais 195,69	W.Triticale 56,20	Zuckerhirse 155,35	WW K 37,36	WW S 38,20	**602,95**
FF 2	Sudangras 134,19	W.Roggen 42,95	Mais 159,56	W.Triticale 42,20	W.Triticale 69,20	WW K 48,07	WW S 42,67	**538,84**
FF 3	Mais 232,37	W.Roggen 56,55	Sudangras 117,23	W.Triticale	Einj. WGras 73,70	WW K 51,27	WW S 43,36	**574,47**
FF 4	S.Gerste 85,79		Luzernegras 126,90	Luzernegras 117,40		WW K 49,12	WW S 53,51	**432,72**
FF 5	Hafer-SoMi 92,35		W.Triticale 125,07	W.Raps K 0,00	W.Raps S 42,40	WW K 50,68	WW S 55,42	**365,93**
FF 6	Zuckerhirse 209,96	W.Gerste 54,56	Sudangras 122,51	W.Raps 55,50	Hafer 49,52	WW K 51,64	WW S 49,70	**593,39**
FF 7	SoBlume 167,08	W.Triticale 62,01	Zuckerhirse 121,73		Mais 255,52	WW K 51,98	WW S 44,31	**702,63**
FF 8	Mais 195,70	W.Roggen 55,14	Mais 72,24		Mais 239,77	WW K 46,50	WW S 42,63	**651,99**
FF 9	S.Gerste 79,44	Erbse 38,38	W.Roggen 57,84	Zuckerhirse 132,03	Mais 245,81	WW K 39,12	WW S 39,27	**631,89**

Tabelle 4: Frischmasse-Erträge [dt/ha] der einzelnen Fruchtfolgeglieder bzw. der betrachteten Fruchtfolgen in der Doppelanlage 2006 - 2008.

Frischmasse-Ertrag der Doppelanlage [dt/ha]							
FF 1	S.Gerste 205,60	Ölrettich 217,36	Mais 964,86	W.Triticale 399,86	Zuckerhirse 355,21	Winterweizen	**Summe 2142,89**
FF 2	Sudangras 545,28	W.Roggen 168,06	Mais 804,86	W.Triticale K :73,95	W.Triticale S: 66,96	Winterweizen	**1658,81**
FF 3	Mais 480,13	W.Roggen 195,14	Sudangras 541,94	W.Triticale 331,30	Einj. WGras 91,67	Winterweizen	**1640,18**
FF 4	S.Gerste 251,67		Luzernegras 529,52	Luzernegras 985,58		Winterweizen	**1766,77**
FF 5	Hafer-SoMi 229,03		W.Triticale 359,58	W.Raps K: 25,55	W.Raps S: 104,29	Winterweizen	**588,61**
FF 6	Zuckerhirse 470,28	W.Gerste 159,44	Sudangras 520,97	W.Raps 316,39	Hafer *	Winterweizen	**1467,08**
FF 7	SoBlume 439,03	W.Triticale 383,24	Zuckerhirse 436,81		Mais 567,50	Winterweizen	**1826,58**
FF 8	Mais 504,03	W.Roggen 232,50	Mais 120,96		Mais 555,00	Winterweizen	**1412,49**
FF 9	S.Gerste 202,50	Erbse 70,21	W.Roggen 195,97	Zuckerhirse 459,86	Mais 596,64	Winterweizen	**1525,18**

Tabelle 5: Trockenmasse-Erträge [dt/ha] der einzelnen Fruchtfolgeglieder bzw. der betrachteten Fruchtfolgen in der Doppelanlage 2006 - 2008

Trockenmasse-Ertrag der Doppelanlage [dt/ha]							
FF 1	S.Gerste 69,52	Ölrettich 19,09	Mais 247,43	W.Triticale 143,43	Zuckerhirse 73,93	Winterweizen	**Summe 553,40**
FF 2	Sudangras 127,79	W.Roggen 30,31	Mais 241,18	W.Triticale K: 63,03	W.Triticale S: 55,8	Winterweizen	**518,10**
FF 3	Mais 178,33	W.Roggen 35,15	Sudangras 139,15	W.Triticale 121,14	Einj. WGras 11,92	Winterweizen	**485,68**
FF 4	S.Gerste 79,09		Luzernegras 79,87	Luzernegras 173,20		Winterweizen	**332,16**
FF 5	Hafer-SoMi 76,55		W.Triticale 123,93	W.Raps K: 12,3	W.Raps S: 38,05	Winterweizen	**200,49**
FF 6	Zuckerhirse 101,40	W.Gerste 42,35	Sudangras 131,16	W.Raps 51,67	Hafer	Winterweizen	**326,58**
FF 7	SoBlume 82,45	W.Triticale 70,79	Zuckerhirse 122,52		Mais 198,90	Winterweizen	**474,67**
FF 8	Mais 175,85	W.Roggen 41,51	Mais 103,61		Mais 189,50	Winterweizen	**510,47**
FF 9	S.Gerste 78,30	Erbse 7,96	W.Roggen 33,71	Zuckerhirse 128,42	Mais 203,53	Winterweizen *	**451,92**

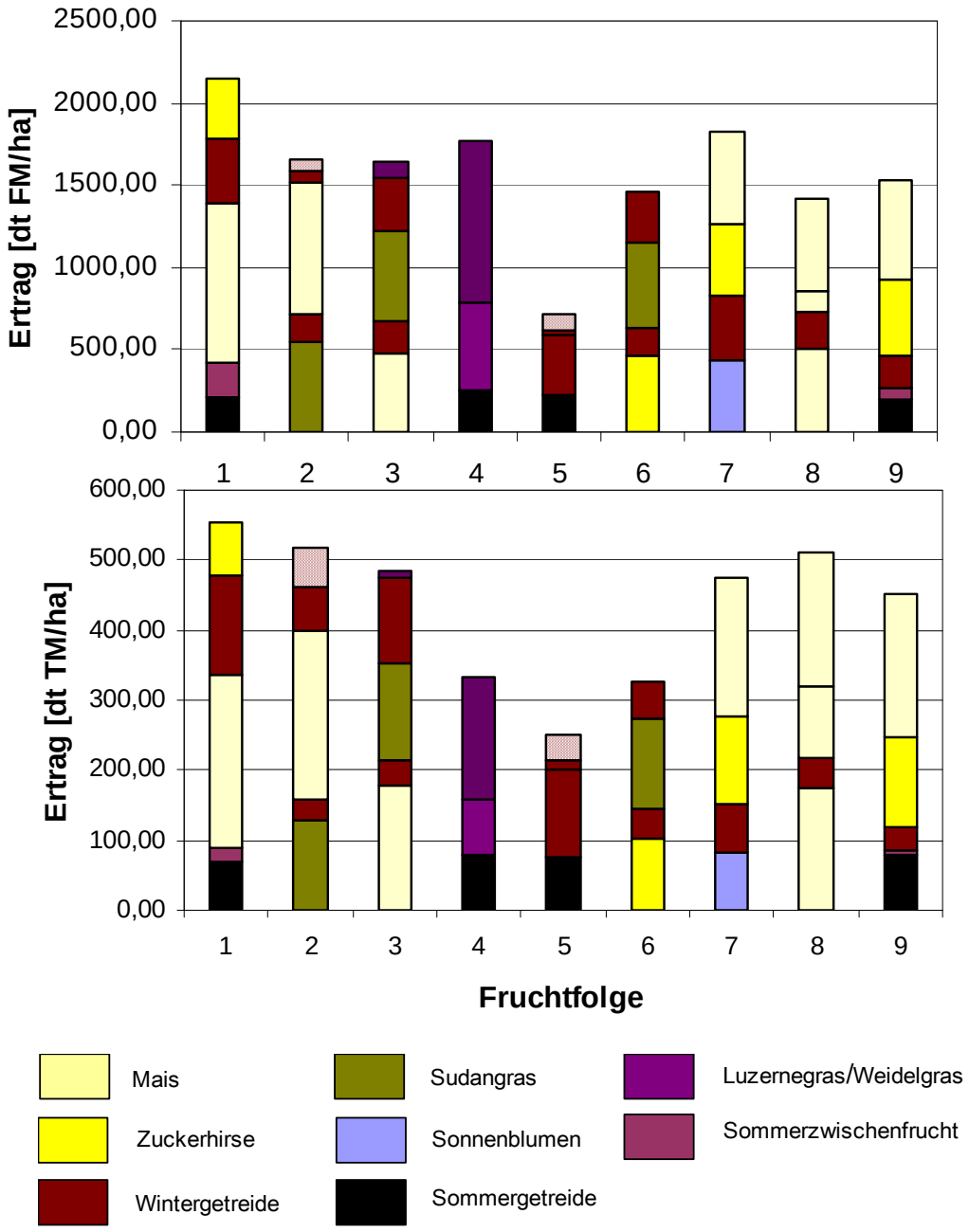


Abbildung 5: Aufsummierte Frischmasse- (FM-) und Trockenmasse- (TM-) Erträge [dt/ha] der Fruchtfolgen 1-9 in der Doppelanlage (2006 - 2008)

Bei Betrachtung der einzelnen Fruchtfolgeglieder fallen vor allen Dingen die C4-Arten Mais und Sorghum auf. Die Kulturen erfuhren im Versuchsjahr 2007, welches durch warme Lufttemperaturen mit ausreichend Niederschlägen charakterisiert war, nahezu optimale Witterungsbedingungen. Dieses spiegelt sich in den hohen Mais-Erträgen der FF 1 und 2 wider. Die Erträge der in Hauptfruchtstellung angebauten Silomaissorten Montoni und Fiacre übertreffen hier um durchschnittlich 67 dt TM/ha die Erträge des Vorjahres. Jedoch bewegt sich das Ertragsniveau dieser Standardfruchtfolgen in etwa im Bereich der vorhergehenden Rota-

tion bis zur Einsaat des Weizens (+26 bzw. 70 dt TM/ha in der Doppelanlage). Die Verschiebung der Relationen zwischen den Fruchtfolgen (höchste Erträge der FF 1 in der Doppelanlage vs. höchste Erträge der FF 7 in der Erstanlage) werden v.a. hervorgerufen durch den niedrigeren Ertrag der Regionalfruchtfolgen 6-9 (im Mittel -113 dt TM/ha). So halbierten sich im ersten Anbaujahr der Doppelanlage die Erträge der Sonnenblumen und Futterhirse (FF 6 und 7) nahezu und die Maissorten in den Regionalfruchtfolgen erreichten im Anbaujahr 2008 einen um ca. 50 dt TM/ha niedrigeren Ertrag. Alles in Allem führt zu einem niedrigeren Ertragsniveau der Doppelanlage im Vergleich zur Erstanlage (-50 dt TM/ha).

3.2 Winterweizenerträge in Kombination mit dem Strohertrag

Das abschließende Fruchtfolgeglied Winterweizen sollte einerseits eventuelle Fruchtfolgeeffekte bzw. Vorfruchtwirkungen der vorhergehenden Kulturen widerspiegeln, andererseits sollte die einheitlich gewählte Frucht eine gute Vergleichsbasis zwischen den Standorten und den Fruchtfolgen schaffen. Allerdings können die in Ettlingen realisierten und in Abbildung 6 dargestellten Winterweizen-Erträge (FF 1. 37 dt TM/ha - FF 7: 52 dt TM/ha) nicht als repräsentativ für unseren Standort angesprochen werden. In diesem Versuch wurden nicht mehr als 60 dt TM (86 %)/ha Kornertrag erreicht.

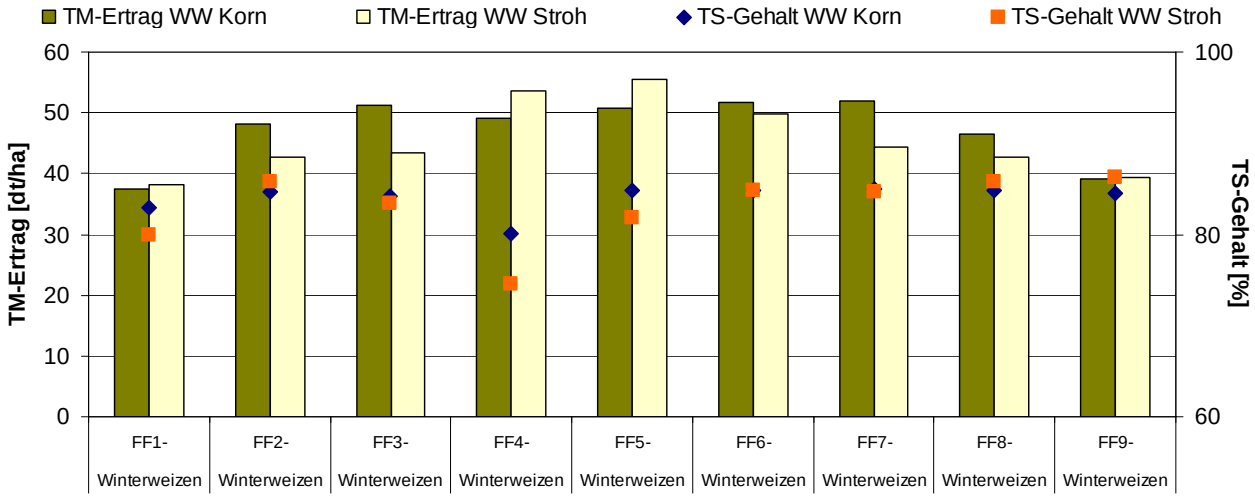


Abbildung 6: Trockenmasse-Ertrag und Trockensubstanz-Gehalt der Winterweizensorte 'Türkis' im Anbaujahr 2008 (Erstanlage)

Im Vergleich dazu erreichte die A-Weizensorte Türkis im Landessortenversuch (LSV) 2008 im Mittel der Versuchsstandorte und der getesteten Intensitäten in Baden-Württemberg einen Kornertrag von 94,9 dt TM/ha (86% TS), wobei die Erträge zwischen 79,1 und 120,0 dt TM/ha schwankten (LSV Kraichtal, Türkis 86 %TS; 92,4 dt/ha).

Die niedrigen Erträge im dargestellten Versuch sind zum einen auf einen erheblichen Krankheitsdruck nach der Blüte des Weizens zurückzuführen. Bei den vorgenommenen Bonituren konnten vor der Blüte keine Auffälligkeiten hinsichtlich Krankheitsbilder die auf Rost oder ähnliche pilzliche Krankheiten hindeuteten festgestellt werden. Der Bestand stellte sich gesund dar, wenn auch relativ dünn. Nasse und windige Witterungsbedingungen verhinderten im Anschluss eine Fungizidbehandlung bis zur Blüte. Da die für Pilze optimalen Witterungs-

bedingungen über einen längeren Zeitraum hin andauerten, kann davon ausgegangen werden, dass ein vorzeitiges Absterben der Weizenpflanze inklusive des Fahnenblatts die Kornfüllungsphase in erheblichem Maße negativ beeinflusst haben.

Zum anderen litt der Bestand in erheblichem Maße unter Wildschaden. Trotz Sicherheitsmaßnahmen (Wild- plus anschließendem Elektrozaun) brachen Wildschweine in das Versuchsfeld und zerstörten durch Niedertrampeln, Wühlen und Fressen einen Teil des bestellten Versuchs. Einige Versuchsparzellen Winterweizen wurden nahezu komplett verwüstet, sodass diese nicht in die Verrechnung einfließen konnten. Leicht in Mitleidenschaft gezogene Parzellen wurden beerntet. Deren Erträge unterscheiden sich nicht von den augenscheinlich intakten Versuchsparzellen, sodass diese mit in die Ertragserfassung aufgenommen wurden.

Anhand der abgebildeten Erträge kann folglich nicht auf Fruchtfolgeeffekte geschlossen werden. Einzig die niedrigeren TS-Gehalte im Weizen der Fruchtfolge 4 können durch Luzernedurchwuchs erklärt werden.

3.3 Nährstoffbilanz

Die folgenden Ergebnisse zu den Nährstoffbilanzen sind für die Erstanlage von 2005 - 2006 der Ergebnislieferung des ZALFs entnommen und wurden für die Jahre 2007 - 2008 mit eigenen Berechnungen ergänzt. Einheitliche Berechnungen der Bilanzen liegen insoweit nicht vor. Es zeichnen sich jedoch Trends ab, die mit den endgültigen Berechnungen des ZALF noch zu vergleichen sind.

Tabelle 6: Stickstoff- (N-) Bilanz [kg N/ha] der einzelnen Fruchtfolgeglieder bzw. der betrachteten Fruchtfolgen in der Erstanlage 2005 - 2008.

Stickstoff-Bilanz							Summe 2005-2009
FF 1	S.Gerste -17	Ölrettich	Mais -42	W.Triticale -9	Zuckerhirse 43	Winterweizen 104	**79**
FF 2	Sudangras -161	W.Roggen -14	Mais -35	W.Triticale 29		Winterweizen 88	**-92**
FF 3	Mais -121	W.Roggen 12	Sudangras -35	W.Triticale 34	Einj. WGras -94	Winterweizen 96	**-108**
FF 4	S.Gerste -15	Luzernegras -85	Luzernegras -105	Luzernegras -294		Winterweizen 62	**-437**
FF 5	Hafer-SoMi -17	S.Triticale	W.Triticale -41		W.Raps 152	Winterweizen 71	**165**
FF 6	Zuckerhirse -139	W.Gerste -31	Sudangras -10	W.Raps 24	Hafer -1	Winterweizen 67	**-91**
FF 7	So.Blumen -151	W.Triticale -41	Zuckerhirse 9		Mais -49	Winterweizen 72	**-160**
FF 8	Mais -160	W.Roggen -37	Mais 66		Mais -12	Winterweizen 95	**-48**
FF 9	S.Gerste -18	Erbse	W.Roggen -44	Zuckerhirse -11	Mais -63	Winterweizen 103	**-33**

In Baden-Württemberg ist die Düngung nach guter fachlicher Praxis vorgeschrieben, die sich an den Entzug der Pflanzen bei entsprechender Ertragserwartung orientiert, wobei bei der Düngeberechnung immer vom realisierbaren Ertrag am Standort Ettlingen ausgegangen wurde. Bei den untersuchten Fruchtfolgegliedern ist bei Ganzpflanzenernte die Abfuhr höher als die Zufuhr über die Düngung (Tab. 6).

Vor allem in den ersten Versuchsjahren zeigen die stark negativen Stickstoff-Bilanzen vor allen bei den C4-Arten Sudangras, Futterhirse und Mais das hohe N-Nachlieferungspotenzial des Standorts. Inwieweit die Pflanzen dadurch in ihrer Entwicklung beeinflusst wurden, kann nicht gesagt werden. Im weiteren Verlauf des Versuchs war der N-Entzug aufgrund schlechterer Witterungsbedingungen und dadurch geringeren Erträgen deutlich geringer. Somit präsentieren sich die Stickstoff-Bilanzen mit Ausnahme v.a. des Luzernegras-Anbaus durch Nichtbeachtung der N-Fixierung, ausgeglichener.

Tabelle 7: Phosphor (P)- und Kalium (K)- Bilanz der einzelnen Fruchtfolgeglieder bzw. der betrachteten Fruchtfolgen in der Erstanlage 2005 - 2008.

Phosphor-Bilanz							Summe 2005-2009
FF 1	S.Gerste 19	Ölrettich	Mais -3	W.Triticale 77	Zuckerhirse -34	Winterweizen 2	**Summe 61**
FF 2	Sudangras -44	W.Roggen -16	Mais 3	W.Triticale 51		Winterweizen -4	**-10**
FF 3	Mais 3	W.Roggen -20	Sudangras 3	W.Triticale -8	Einj. WGras 72	Winterweizen -1	**50**
FF 4	S.Gerste 22	Luzernegras -14	Luzernegras -37	Luzernegras 45	Luzernegras	Winterweizen -8	**8**
FF 5	Hafer-SoMi 21	S.Triticale	W.Triticale -32		W.Raps 87	Winterweizen -11	**65**
FF 6	Zuckerhirse -35	W.Gerste -20	Sudangras 10	W.Raps 65	Hafer -54	Winterweizen -8	**-42**
FF 7	So.Blumen -3	W.Triticale -23	Zuckerhirse 11		Mais 18	Winterweizen -2	**1**
FF 8	Mais 7	W.Roggen -21	Mais 22		Mais -6	Winterweizen 3	**5**
FF 9	S.Gerste 19	Erbse	W.Roggen -23	Zuckerhirse 7	Mais 4	Winterweizen 4	**11**

Kalium-Bilanz							Summe 2005-2009
FF 1	S.Gerste 17	Ölrettich	Mais 32	W.Triticale 126	Zuckerhirse -213	Winterweizen 114	**Summe 76**
FF 2	Sudangras -167	W.Roggen -136	Mais 67	W.Triticale 155		Winterweizen 106	**25**
FF 3	Mais -129	W.Roggen -170	Sudangras -34	W.Triticale -50	Einj. WGras -6	Winterweizen 112	**-277**
FF 4	S.Gerste 53	Luzernegras -181	Luzernegras -401	Luzernegras -62	Luzernegras	Winterweizen 100	**-491**
FF 5	Hafer-SoMi -56	S.Triticale	W.Triticale -142		W.Raps 186	Winterweizen 90	**78**
FF 6	Zuckerhirse -145	W.Gerste -196	Sudangras -4	W.Raps -196	Hafer 168	Winterweizen 96	**-276**
FF 7	So.Blumen -398	W.Triticale -211	Zuckerhirse -6		Mais -16	Winterweizen 102	**-529**
FF 8	Mais -24	W.Roggen -173	Mais 177		Mais -74	Winterweizen 108	**14**
FF 9	S.Gerste 17	Erbse	W.Roggen -183	Zuckerhirse -26	Mais -29	Winterweizen 112	**-109**

Bei einzelnen Kulturarten zeigen sich stark pos. Stickstoff-Bilanzen, so beim Raps- in FF 5 (+152 kg N/ha) bzw. beim Weizenanbau (+ 84 kg N/ha) in allen Fruchtfolgen. Wie bereits ausgeführt, wurden an unserem Standort wesentlich höhere Weizen-Erträge erwartet als realisiert werden konnten. Die N-Düngung wurde dementsprechend auf 80 dt Kornertrag angepasst. Die niedrigen Erträge, die dann geerntet wurden, führten zu einem wesentlich geringeren Stickstoff-Entzug als angenommen. Ein ähnliches Problem stellte sich beim Rapsanbau in FF 5 dar. Durch den Ausfall der Körner konnte der Ertrag nicht festgestellt werden, die Biomasse und somit der gesamte zur Verfügung gestandene Stickstoff (Mineraldünger + Nmin im Boden) verblieb auf der Fläche. Die beschriebenen Erträge bzw. Entzüge führten zu Bilanzüberschüssen, die im Mittel über 4 Jahre zwischen -14 und +20 kg N/ha/a liegen und somit einhergehen mit den Vorgaben der Dünge-Verordnung (VO).

In der Dünge-VO ist hinsichtlich der Phosphor-Versorgung maximal ein Überschuss im 6-jährigen Mittel von 20 kg P_2O_5/ha*a festgehalten, welches 8,8 kg P/ha und Jahr entspricht. Während sich die Fruchtfolgen 1, 3 und 5 mit durchschnittlich 15 kg P/ha*a über dem Grenzwert bewegen, wurden die FF 2, 4, 7-9 nahezu ausgeglichen versorgt (+1 kg P/ha*a) und die FF 4 weist in der Summe eine Unterversorgung von 10,5 kg P/ha*a auf (Tab. 77). Die Überversorgung einzelner Fruchtfolgen ist vor allen Dingen den bereits beschriebenen Mindererträgen der Marktfrüchte zurückzuführen, die dementsprechend zu einem niedrigeren Entzug als erwartet geführt haben.

Eine ähnliche Situation ergibt sich auch bei den Kalium-Bilanzen. Die Marktfrüchte Winterweizen,, Körnerraps weisen allesamt stark pos. Bilanzen auf, während die mais- bzw. C4-Pflanzen dominierten und somit ertragsstarken FF mehr Kalium entzogen als zugeliefert wurde. Ein besonderer Augenmerk muss dabei v.a. auf die FF 7 (-530 kg K/ha) gelegt werden, die zudem die stark K-zehrenden Sonnenblumen enthält. Sowohl für den Grundnährstoff P als auch für K liegt der Standort Ettlingen jedoch mindestens in der Gehaltsklasse C, die stark negativen Bilanzen im Kalium (im Mittel -165 kg/ha) lassen somit keine neg. Auswirkungen auf die Pflanzenentwicklung erwarten.

3.4 Humusbilanz

Nach den Anforderungen der Cross Compliance (CC) darf der Anbau von pflanzenbaulichen Kulturen nicht zu einer Verschlechterung des Humusgehalts im Boden führen. Im dreijährigen Mittel sollte somit die Humusbilanz mindestens ausgeglichen sein.

Die Tab. 8 zeigt den Humus-Saldo, der den einzelnen Fruchtfolgegliedern nach CC-Bestimmungen unter Berücksichtigung fruchtartspezifischer Eigenarten und des teilweise auf dem Feld verbleibenden Pflanzenmaterials angerechnet werden muss.

Es zeigt sich, dass der humuszehrende Anbau von Silomais (-560), Triticale und Sommergetreide sowie Sonnenblumen (-280) und der Anbau der Sorghum-Arten (-280) über die gesamte Fruchtfolge betrachtet nur bedingt mit dem Anbau von Getreide zur Kornnutzung und Belassen des Strohs auf dem Feld (z.B. Winterweizen) bzw. Gründüngung (Ölrettich, Erbse, Sommertriticale) ausgeglichen werden. Vor allem die maisbasierten Fruchtfolgen 7 und 8 aber auch die vorrangig Mais bzw. andere C4-Pflanzen und GPS-Getreide enthaltenden FF 1, 3 und 6 liegen in der Gesamtübersicht stark im humuszehrenden Bereich. Den niedrigsten Humus-Saldo weisen die FF 7 und 8 auf (-780 kg/ha), wobei allerdings angemerkt werden muss, dass in FF 8 leider der Strohertrag beim Körnermaisanbau nicht festgehalten wurde.

Bei einem Korn-TM-Ertrag von 84 dt TM (86%)/ha und der Annahme eines harvest index von 0.5 bzw. einem Verbleib des Strohs auf der Fläche kann das Fruchtfolgeglied Körnermaisanbau einen positiven Humussaldo von 280 kg C/ha zur Fruchtfolge beitragen. Somit würde die Humusbilanz der FF 8 -504 kg C/ha betragen, wäre damit aber immer noch im stark zehrenden Bereich.

Tabelle 8: Humus-Saldo [kg C/ha] der einzelnen Fruchtfolgeglieder bzw. der betrachteten Fruchtfolgen in der Erstanlage 2005 - 2008.

Humus-Saldo 2005-2008							
FF 1	S.Gerste -280	Ölrettich 374	Mais -560	W.Triticale -280	Zuckerhirse -280	Winterweizen 161	**Summe -865**
FF 2	Sudangras -280	W.Roggen 120	Mais -560	W.Triticale 524		Winterweizen 197	**2**
FF 3	Mais -560	W.Roggen 120	Sudangras -280	W.Triticale -280	Einj. WGras 100	Winterweizen 170	**-730**
FF 4	S.Gerste -280	Luzernegras	Luzernegras 600	Luzernegras 600	Luzernegras	Winterweizen 291	**1211**
FF 5	Hafer-SoMi -280	S.Triticale 455	W.Triticale -280		W.Raps 213	Winterweizen 364	**472**
FF 6	Zuckerhirse -280	W.Gerste 120	Sudangras -280	W.Raps 120	Hafer -280	Winterweizen 298	**-302**
FF 7	So.blumen -280	W.Triticale 120	Zuckerhirse -280		Mais -560	Winterweizen 220	**-780**
FF 8	Mais -560	W.Roggen 120	Mais -560		Mais -560	Winterweizen 216	**-1344**
FF 9	S.Gerste -280	Erbse 387	W.Roggen 120	Zuckerhirse -280	Mais -560	Winterweizen 448	**-165**

Tabelle 9: Humus-Saldo [kg C/ha] der einzelnen Fruchtfolgeglieder bzw. der betrachteten Fruchtfolgen in der Erstanlage 2005 - 2008 bei Rückführung der anfallenden Gärreste.

Humus-Saldo 2005-2008 (mit Gärrestausbringung)							
FF 1	S.Gerste 83	Ölrettich	Mais 79	W.Triticale -122	Zuckerhirse 431	Winterweizen	**Summe 473**
FF 2	Sudangras 346	W.Roggen 268	Mais -41	W.Triticale		Winterweizen	**573**
FF 3	Mais 212	W.Roggen 301	Sudangras 251	W.Triticale -221	Einj. WGras 341	Winterweizen	**884**
FF 4	S.Gerste 88	Luzernegras	Luzernegras 1155	Luzernegras 1112	Luzernegras	Winterweizen	**2355**
FF 5	Hafer-SoMi 114	S.Triticale	W.Triticale 181		W.Raps	Winterweizen	**294**
FF 6	Zuckerhirse 557	W.Gerste 283	Sudangras 265	W.Raps 305	Hafer -58	Winterweizen	**1353**
FF 7	So.blumen 439	W.Triticale 302	Zuckerhirse 277		Mais 286	Winterweizen	**1304**
FF 8	Mais 152	W.Roggen 300	Mais		Mais 240	Winterweizen	**693**
FF 9	S.Gerste 77	Erbse	W.Roggen 310	Zuckerhirse 303	Mais 259	Winterweizen	**948**

Annahme:
keine Biogasgewinnung Gründgg
keine Biogasgewinnung Kornnutzung

Neben dem Anbau von mehrjährigem Ackerfutter (FF 4 Luzernegras, +1211 kg C/ha) kann die Rückführung der Gärreste auf die Fläche einen wesentlichen Beitrag zur ausgeglichenen oder positiven Humusbilanz leisten.

Unter der Annahme, dass die bei der Vergärung des Pflanzenmaterials gewonnenen Gärreste auf eben jene produzierende Fläche zurückgeführt werden, sind in Tabelle 9 die berechneten Humussaldi in Abhängigkeit des entsprechenden Versuchs-Ertrags abgetragen (Dr. M. Willms, ZALF). Hohe Erträge bewirken also in dieser Berechnung eine hohe Gärrestrückführung. Als zentrales Ergebnis bleibt festzuhalten, dass alle in diesem Versuch betrachteten Fruchtfolgen zu einer Verbesserung der Bodenstruktur beitragen können, wenn die Rückführung der Gärreste auf die Fläche gegeben ist. Vor allen in den stark mais- bzw. C4-Planzenbasierten FF 1, 3, 7 und 8, die kein Fruchtfolgeglied zur Kornnutzung und somit keine auf dem Feld verbleibenden Nebenprodukten beinhalten, ist die Gärrestrückführung notwendig, um eine ausgeglichene Humusbilanz über die Anbaujahre erzielen zu können.

Die Annahmen, die bei der Berechnung der Humusbilanz unter der Annahme Rückführung der Gärreste zugrunde liegen, müssen im weiteren Verlauf des Verbundprojektes weiter geprüft werden. Insbesondere steht hier die Humuswirkung der Gärreste im Vordergrund, da eine sichere Bewertung zum erheblichen Teil an der Gesamtbewertung der Fruchtfolgen Anteil hat.

3.5 Methanerträge im Biogas

Neben den bereits vorgestellten Ergebnissen zu den Biomasse-Erträgen stellen die potenziellen Methan-Erträge ein wichtiges Instrument dar, die Effizienz einzelner Fruchtfolgen bzw. Fruchtfolgeglieder und somit deren relative Vorzüglichkeit am Standort bewerten zu können.

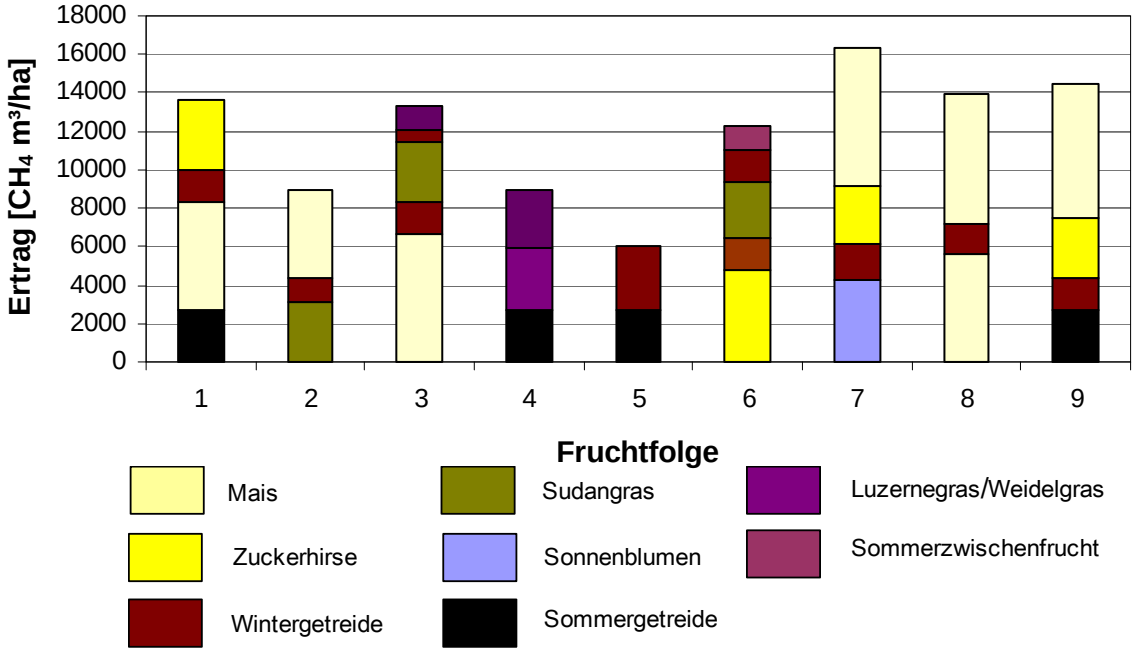


Abbildung 7: Methan-Erträge [m³/ha] der einzelnen Fruchtfolgeglieder bzw. der betrachteten Fruchtfolgen in der Erstanlage 2005 - 2008

Abb. 7 stellt die Methan-Erträge dar, die in der Erstanlage realisiert werden konnten. Die Erträge der Fruchtfolgeglieder, die in gemeinsamer Absprache als Gründüngung angesehen werden (FF9: Futtererbse, FF 5: Sommertriticale, FF1: Ölrettich), sind in der Betrachtung ebenso wenig wie die ermittelten Erträge der Kulturen, die zur Kornnutzung vorgesehen sind (FF 2 Wintertriticale; FF 5, Winterraps; FF 1-9 Winterweizen) eingebunden.

Die in der Erstanlage ertragsstärksten Fruchtfolgen 7 - 9 realisieren auch den höchsten Methan-Ertrag, welches anhand der belegbar engen Relation zwischen TM- und Methan-Ertrag nicht überrascht (Stolzenburg, 2008; Böhmel, 2007). Insgesamt kann durch die Fruchtfolge 7 über 16.000 m³/ha Methan gebildet werden, die FF 9 bildet 14.400 m³, die FF 8 14.000 m³. Die ertragsstärksten Standard-Fruchtfolgen 1, 3 und 6 können anhand der Berechnung auf Basis der Rohnährstoffgehalte 12.250 m³/ha Methan in einer Biogasanlage produzieren. Die Methan-Erträge des Luzerne-Grases in FF 4 (8.900 m³/ha) und auch die getreidebasierten FF 2 bzw. 5 (8.980 bzw. 6.070 m³/ha) können nicht in dem Maße mit den anderen betrachteten Fruchtfolgen hinsichtlich der Energieerträge konkurrieren.

Offensichtlich zeigt sich wieder einmal, dass an unserem Standort Ettlingen die C4-Arten Mais, Futterhirse und Sudangras das größte Ertragspotenzial aufweisen und auch die höchsten Methan-Erträge realisieren können. Die Maissorten in Hauptfruchtanbau der Fruchtfolgen 7 - 9 erbringen im Mittel 6.960 m³/ha Methan, welches in etwa das doppelte des Ertrags von Futterhirse und Sudangras (im Mittel aller Fruchtfolgen: 3.375 m³/ha) darstellt. Die Erträge der GPS-genutzten Getreide-Arten ergeben demnach 1.650 m³/ha.

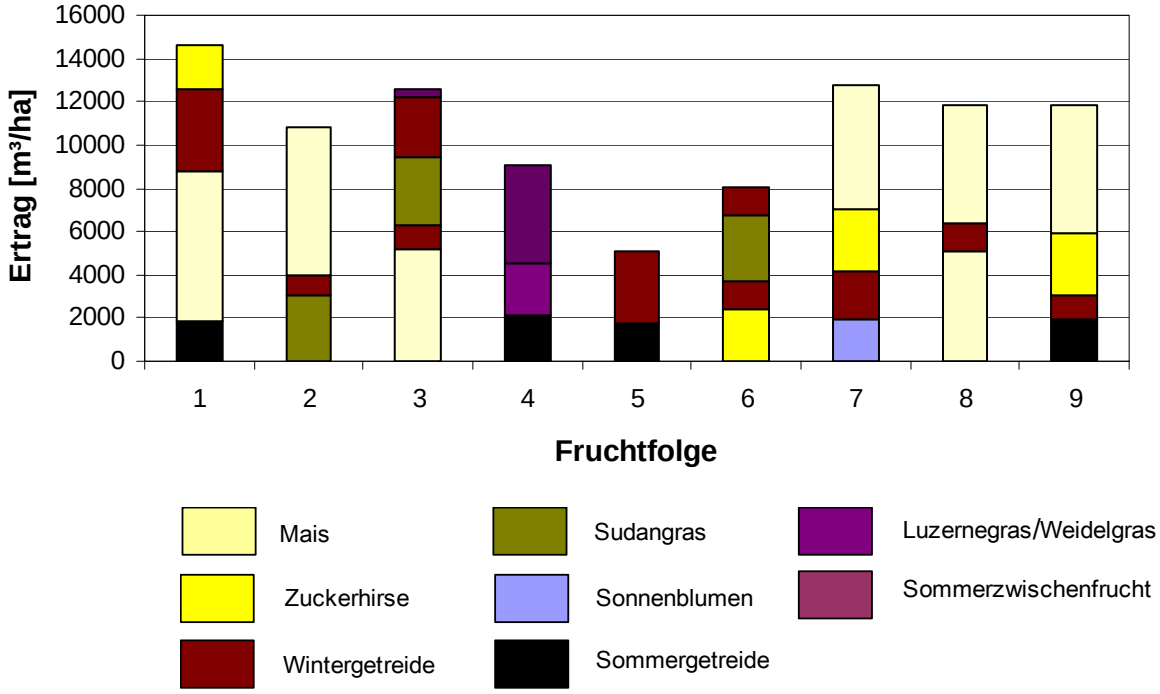


Abbildung 8: Methan-Erträge [m³/ha] der einzelnen Fruchtfolgeglieder bzw. der betrachteten Fruchtfolgen in der Doppelanlage 2006 - 2008.

Wie bereits bei den Biomasse-Erträgen beschrieben, unterscheiden sich die Abstufungen der Fruchtfolgen in der Doppelanlage von denen der Erstanlage. Die Regionalfruchtfolgen 7 - 9, die in der Erstanlage den höchsten Methan-Ertrag realisieren konnten, rangieren in der Doppelanlage hinter der Standardfruchtfolge 1(Abb. 8).

Diese erreicht die höchsten Methan-Erträge von 14.650 m³/ha, die Regionalfruchtfolgen 7 - 9 erreichen im Mittel 12.125 m³/ha, ein Ertragsniveau, welches auch die Standard-Fruchtfolge 3 realisiert (12.570 m³/ha). Die Fruchtfolgen 2, 4 und 6 liegen im Ertrag zwischen 8000 und 11.000 m³/ha und die FF 5 erbringt mit nur 5130 m³/ha Methan den niedrigsten Ertrag aller hier untersuchten Fruchtfolgen.

Insgesamt kann auch bei Betrachtung der Methan-Erträge von einem niedrigeren Ertragsniveau in der Doppelanlage gesprochen werden. Vor allen die Regionalfruchtfolgen 6 - 9 konnten in der Erstanlage akkumuliert ø 3.137 m³ mehr Methan realisieren, welches zwar vor allen Dingen an den wesentlich höheren Mais-Erträgen des Versuchsjahres 2007 auszumachen ist. Dieses ertragsstarke Mais-Jahr wirkt sich auch auf die Fruchtfolgen 1 und 2 aus, die

insgesamt betrachtet im Vergleich zur Erstanlage einen höheren Ertrag in der Doppelanlage realisieren können.

Im Mittel der Erst- bzw. Doppelanlage zeigt sich, dass die C4-Arten am Standort Ettlingen nicht nur im TM-Ertrag sondern auch im Biogas- bzw. Methan-Ertrag die besten Ergebnisse erzielen (Tab. 10). Auch die C4-basierten Fruchtfolgen 1,3 und 7-9, die die höchsten Methan-Erträge von durchschnittlich 13.500 m³/ha realisieren; zeigen die Ertragsüberlegenheit des Anbaus dieser Kulturen. Der Anbau von Luzernegrasgemenge bzw. getreidebasierten Fruchtfolgen (z.B. FF 5) erscheint dagegen wesentlich ineffizienter.

Tabelle 10: Methan-Ertrag (m³/ha) der einzelnen Fruchtfolgegliedern bzw. der betrachteten Fruchtfolgen im Mittel der Erst- und Doppelanlage.

Methan-Ertrag im Mittel der Erst- und Doppelanlage							
FF 1	S.Gerste 2272,82	Ölrettich *	Mais 6277,37	W.Triticale 2780,03	Zuckerhirse 2813,29	Winterweizen *	**Summe 14143,50**
FF 2	Sudangras 3062,53	W.Roggen 1111,24	Mais 5747,43	W.Triticale *		Winterweizen *	**9921,21**
FF 3	Mais 5904,89	W.Roggen 1384,23	Sudangras 3159,41	W.Triticale 1723,11	inj. Weidelgra 765,94	Winterweizen *	**12937,58**
FF 4	S.Gerste 2389,96		Luzernegras 2842,62	Luzernegras 3740,87		Winterweizen *	**8973,45**
FF 5	ersortenmisch 2241,28	S.Triticale *	W.Triticale 3357,73		W.Raps *	Winterweizen *	**5599,01**
FF 6	Zuckerhirse 3596,44	W.Gerste 1489,84	Sudangras 2962,61	W.Raps 1489,49	Hafer 595,34	Winterweizen *	**10133,73**
FF 7	Sonnenblume 3100,75	W.Triticale 2011,11	Zuckerhirse 2940,84		Mais 6467,20	Winterweizen *	**14519,91**
FF 8	Mais 5334,73	W.Roggen 1458,91	Mais *		Mais 6092,34	Winterweizen *	**12885,97**
FF 9	S.Gerste 2322,30	Erbse *	W.Roggen 1379,95	Zuckerhirse 3026,03	Mais 6404,50	Winterweizen *	**13132,79**

* Körnernutzung

3.6 Ökonomische Gesamtbewertung

Zur abschließenden Bewertung der Fruchtfolgen bedarf es einer ökonomischen Betrachtung, die Aufschluss über den realisierbaren ökonomischen Erfolg bei entsprechenden Nebenbedingungen geben soll. Diese Nebenbedingungen ebenso wie zu Grunde gelegten Annahmen der nachfolgend dargestellten Ergebnisse sind den entsprechenden Berichten der Uni Gießen zu entnehmen.

Die ersten Ergebnisse (Tab. 11) belegen die Überlegenheit des Maisanbaus im Vergleich zu anderen hier getesteten Kulturen zur Biogaserzeugung. Deckungsbeiträge (DB) von bis zu 722 Euro pro ha und Jahr konnten unter der Annahme des Biogasbildungsvermögens, des anfallenden Gärrests und der daraus resultierenden Düngewirkung unter Abzug von Arbeitserledigungskosten und Betriebsmittel von Dr. Toews ermittelt werden (Tab 11, 1. Anlage, FF1). Neben Mais zur GPS-Nutzung und Mais zur Kornnutzung (FF8; DB 621 €/ha) stellen sich in der ersten Anlage die Deckungsbeiträge des abschließenden Fruchtfolgegliedes Winterweizen (FF 1-9; DB 29-230 €/ha) positiv dar. Andere betrachtete Wintergetreidearten, die in Erstfruchtstellung als Ganzpflanze genutzt wurden, zeigen keinen ökonomischen Erfolg.

So weist die Erstfrucht Winterroggen im Durchschnitt der Fruchtfolgen einen neg. DB von -212 Euro auf, die Wintertriticale -260 Euro und Wintergerste bzw. Winterraps als Vorfrucht resultieren in einem neg. DB von -256 €/ha. Die darauffolgenden Sommerungen wie Zuckerhirse (+30 €/ha), Sudangras (-133 €/ha), Weidelgras (-420 €/ha), Hafer (-255 €/ha) zeigen bis auf die C4-Arten keinen ökonomischen Nutzen und auch die Sommerungen als Hauptfrucht geerntet (Sommergerste -105 €/ha; Hafer -63 €/ha; Sonnenblumen -255 €/ha; Sudangras -297 €/ha; Zuckerhirse +106 €/ha) untermauern die Vorzüglichkeit von Mais an unserem Standort.

Unter Berücksichtigung der fixen Pachtkosten wurde über den für jedes Fruchtfolgejahr errechnete Deckungsbeitrag der jährliche Gewinn für die Fruchtfolgen errechnet. Bei dieser Betrachtung zeigt sich ausschließlich die Körnermais-Fruchtfolge 8 rentabel.

Auch wenn sich die Deckungsbeiträge der einzelnen untersuchten Fruchtfolgeglieder in der zweiten Anlage zum Teil erheblich unterscheiden (z. B. im Vergleich zum Vorjahr: FF1 WTriticale +357 €/ha; ZuHirse -243 €/ha), so handelt es sich größtenteils um eine Verschiebung von Vorfrucht zu Hauptfrucht, bzw. von Erst- zu Zweitfrucht. Diese Verschiebungen sind teilweise durch Änderungen in der Versuchsdurchführung zu erklären (geänderte Erntetermine der Erstfrucht), die Änderungen beim Mais weisen auf unterschiedliche Umweltbedingungen in den betrachteten Versuchsjahren hin. Insgesamt kann jedoch festgehalten werden kann, dass sich die jährlichen DB der Anbaujahre ohne Betrachtung des Winterweizens nur geringfügig unterscheiden. Auch in der Doppelanlage zeigt sich ausschließlich die Regionalfruchtfolge 8 als ökonomisch sinnvoll.

Insgesamt ist abzulesen, dass die Früchte, die sowohl einen geringen TS-Gehalt und daraus weitestgehend resultierend einen niedrigen TM-Ertrag aufweisen, als auch die Früchte deren Bestandesführung erheblichen Aufwand (durch mehrmaliges Ernten, intensive Düngung bzw. Pflanzenschutz) erfordert, in wesentlichem Maße negativ hinsichtlich der Ökonomie zu bewerten sind. Alle hier betrachteten Kulturen die zur Kornnutzung angebaut wurden, weisen dagegen pos. Deckungsbeiträge auf, wobei Körnermais (FF 8 +973 €/ha) als rentabelste Kulturart zum ökonomischen Erfolg beiträgt.

Abschließend bleibt anzumerken, dass der ökonomische Erfolg der Energiepflanzen in erheblichem Maße vom angenommenen Methan-Ertrag abhängt, der projektintern über die ‚FNR-Formel' unter Berücksichtigung der Rohnährstoffgehalte aus der Weender Analyse berechnet wird. Diese weist jedoch erhebliche Schwächen hinsichtlich der Vergleichbarkeit zu gemessenen Methan-Erträgen auf und soll im weiteren Verlauf von EVA möglicherweise durch andere Bewertungsverfahren bzw. durch vom ATB gemessene Werte abgelöst werden. So ist eine entsprechende Anpassung der Ergebnisse zur abschließende Gesamtbewertung des ökonomischen Erfolgs einzelner Fruchtfolgen bzw. einzelner Fruchtfolgeglieder zu erwarten

Tabelle 11: Deckungsbeiträge [€/ha] der einzelnen Fruchtfolgeglieder bzw. der betrachteten Fruchtfolgen in der Erstanlage 2005-2008 und in der Doppelanlage (2006 - 2008).

Deckungsbeitrag 1.Anlage								DB Jahr	Gewinn Jahr
FF 1	S.Gerste -185,10	Ölrettich -210,56	Mais 633,58	W.Triticale -189,92	Zuckerhirse 106,86	Winterweizen 29,42	**Summe 184,27**	**46,07**	**-200,93**
FF 2	Sudangras -297,62	W.Roggen -259,14	Mais 415,68	W.Triticale 129,17		Winterweizen 181,89	**169,98**	**42,49**	**-204,51**
FF 3	Mais 722,07	W.Roggen -201,32	Sudangras -211,81	W.Triticale -376,46	Einj. WGras -420,44	Winterweizen 224,51	**-263,45**	**-65,86**	**-312,86**
FF 4	S.Gerste -64,41	Luzernegras -200,07	Luzernegras 167,25	Luzernegras 109,65		Winterweizen 150,45	**162,87**	**40,72**	**-206,28**
FF 5	Hafer-SoMi -63,23	S.Triticale -258,59	W.Triticale 213,63		W.Raps * -290,00	Winterweizen 216,76	**-181,44**	**-45,36**	**-292,36**
FF 6	Zuckerhirse 105,64	W.Gerste -225,50	Sudangras -55,66	W.Raps -286,99	Hafer -255,12	Winterweizen 229,54	**-488,10**	**-122,03**	**-369,03**
FF 7	So.blumen -255,23	W.Triticale -212,66	Zuckerhirse -19,20		Mais 561,41	Winterweizen 229,70	**304,03**	**76,01**	**-170,99**
FF 8	Mais 555,89	W.Roggen -219,75	Mais 621,09		Mais 538,10	Winterweizen 161,02	**1656,34**	**414,08**	**167,08**
FF 9	S.Gerste -65,69	Erbse -305,12	W.Roggen -166,49	Zuckerhirse 3,95	Mais 588,62	Winterweizen 62,52	**117,78**	**29,45**	**-217,55**

Deckungsbeitrag 2. Anlage								DB Jahr	Gewinn Jahr
FF 1	S.Gerste -160,47	Ölrettich -156,69	Mais 634,72	W.Triticale 168,70	Zuckerhirse -136,16	Winterweizen	**Summe 350,11**	**116,70**	**-130,30**
FF 2	Sudangras -135,06	W.Roggen -285,87	Mais 559,94	W.Triticale 330,61		Winterweizen	**469,62**	**156,54**	**-90,46**
FF 3	Mais 539,95	W.Roggen -318,25	Sudangras 14,98	W.Triticale 55,75	Einj. WGras -462,23	Winterweizen	**-169,80**	**-56,60**	**-303,60**
FF 4	S.Gerste -132,60	Luzernegras	Luzernegras -85,27	Luzernegras 208,25		Winterweizen	**-9,63**	**-3,21**	**-250,21**
FF 5	Hafer-SoMi -121,75	S.Triticale * -258,59	W.Triticale 172,64		W.Raps -114,06633	Winterweizen	**-321,77**	**-107,26**	**-354,26**
FF 6	Zuckerhirse -166,20	W.Gerste -243,52	Sudangras -19,60	W.Raps -363,32	Hafer * -246,00	Winterweizen	**-1038,63**	**-346,21**	**-593,21**
FF 7	So.blumen -278,57	W.Triticale -187,47	Zuckerhirse 38,38		Mais 462,13	Winterweizen	**34,47**	**11,49**	**-235,51**
FF 8	Mais 503,40	W.Roggen -296,41	Mais 972,98		Mais 398,20	Winterweizen	**1578,17**	**526,06**	**279,06**
FF 9	S.Gerste -101,97	Erbse -394,48	W.Roggen -279,95	Zuckerhirse 59,4652071	Mais 476,96	Winterweizen	**-239,98**	**-79,99**	**-326,99**

* Werte des Vorjahres übernommen (S.Triticale) bzw. wegen fehlender Abschlussernte ausschließliche Darstellung der anfallenden Kosten (WRaps, Hafer)

3.7 Anbauempfehlung für die Region

Bei Betrachtung der vorliegenden Erträge (sowohl Biomasse- als auch Energieerträge) kann für die Anbauregion ‚Körnermais-Sonnenblumen' festgehalten werden, dass sich in unserer Lage der Anbau von C_4-Pflanzen aufgrund der nahezu optimalen Anbaubedingungen, mit warmen und langen Sommern bei gleichzeitig guter Wasserversorgung (hoher nutzbarer Feldkapazität des Bodens), am ertragreichsten darstellt. Fruchtfolgen, die einen hohen Anteil an Mais bzw. Sorghumarten besitzen, können in Kombination mit einem vorhergehenden Anbau von Wintergetreide zur GPS-Nutzung die höchsten Erträge realisieren. Die Ergebnisse zur ökonomischen Betrachtung weisen darüber hinaus die positiven ökonomischen Effekte des Silomais-Anbaus nach, wobei Abstriche hinsichtlich der anderen C_4-Arten und der Wintergetreide-GPS-Nutzung gemacht werden müssen.

Da jedoch nach Cross-Compliance-Vorschriften der Humusgehalt im 3-jährigen Mittel mindestens ausgeglichen sein muss, kann zumindest der alleinige Anbau von Silomais (bzw. C4-Arten und GPS-Getreide) zur Energienutzung unter diesen Vorgaben nicht positiv bewertet werden. Eine Rückführung des Kohlenstoffs in Form von Gärresten ist unabdingbar, jedoch fehlen bis zum momentanen Zeitpunkt verlässliche Daten, die dieses Szenario widerspiegeln. Wenn die Annahmen zur Humusbilanzierung weiterhin bestätigt werden, kann die Rückführung der Gärreste eine ausgeglichene Humusbilanz in allen hier betrachteten Fruchtfolgen eingehalten werden. Unter diesen Voraussetzungen stellt sich in klimatisch begünstigten Regionen der nachhaltige Anbau von maisbasierten Fruchtfolgen als empfehlenswert heraus.

4 Zusammenfassung

Das Projekt ‚Entwicklung und Optimierung von standortangepassten Anbausystemen für Energiepflanzen im Fruchtfolgeregime in vom Klima begünstigte Lagen' bietet die Möglichkeit, Fruchtfolgen, die deutschlandweit angelegt bzw. an die regionalen Gegebenheiten angepasst sind, umfassend zu beschreiben und zu bewerten. Die bisher vorliegenden Ergebnisse sind unverzichtbare Grundlage, um den steigenden Informationsbedarf der Praxis, der Beratung und der Politik hinsichtlich des Leistungspotenzials alternativer Kulturen und Fruchtfolgen zur Nutzung in Biogasanlagen bzw. der ökonomischen und ökologischen Folgewirkungen zu befriedigen.

Bei Fortführung des Projektes und bei Integration ebenso bedeutender Fragestellungen wie Gärrestverwertung und Wassereffizienz werden Auswirkungen des Energiepflanzenanbaus herausgearbeitet, die eine Entscheidungsgrundlage für den praktischen Anbau und für die der Beratung darstellen.

5 Literatur

Böhmel, C., 2007: Comparative performance of annual and perennial energy cropping systems under different management regimes. Dissertation Universität Hohenheim.

DLG, 1997: DLG-Futterwerttabellen: Wiederkäuer. Hrsg.: Universität Hohenheim - Dokumentationsstelle. 7., erw. und überarb. Aufl. - Frankfurt am Main, DLG-Verlag.

DMK, 2007: Silomaisanbau für Biogas in Deutschland 2007. Deutsches Maiskomitee e.V. Internetangebot http://www.maiskomitee.de/dmk_scripts/news/news.htmi (28.01.2007).

Deumlich, 2008: Standortdaten im Rahmen des Verbundprojektes EVA. Analyse von sechs Bodenprofilen genommen mittels Rammkernsonden auf dem Versuchsstandort.

FNR, 2008: Anbau nachwachsender Rohstoffe in Deutschland. Pressegrafik im Internetangebot der Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V.

LGRB, 2009: Geowissenschaftliche Übersichtskarten Baden-Württemberg. Landesamt für Geologie, Rohstoffe und Bergbau (LGRB) im Regierungspräsidium Freiburg.

Schattauer A. und P. Weiland (2006): Handreichung Biogasgewinnung und -nutzung. Herausgeber Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR). Aufl. 2006. Kapitel 2: Grundlagen der anaeroben Fermentation. S. 29-31.

Stolzenburg K., 2008: Ergebnisse der Arten- und Sortenversuche in Baden-Württemberg - Gasausbeuten, Biomasse- und Energieerträge. Tagungsband 3. Workshop Pflanzliche Rohstoffe zur Biogasgewinnung. Hrsg: Landwirtschaftliches Technologiezentrum Augustenberg, Karlsruhe.

Weiland, P., 2006: Stand der Technik von Biogasanlagen und aktueller Forschungsbedarf. ISH-Netzwerk „Energieerzeugung aus Biomasse“ - Internationaler Workshop, Husum 23.03.2006.

Anhang 4: Weiterführende Versuche

Technologie- und Förderzentrum
im Kompetenzzentrum für Nachwachsende Rohstoffe

Entwicklung und Optimierung von standortangepassten Anbausystemen für Energiepflanzen im Fruchtfolgeregime

- Faktorminimierung -

(Reduktion von Pflanzenschutzmitteln und Düngung, Bayern)

Abschlussbericht

19.12.2008

Dr. Kathrin Deiglmayr
Dr. Maendy Fritz
Franz Heimler
Dr. Bernhard Widmann

Laufzeit des Projekts:
15.03.2005 bis 31.01.2009

1 Einleitung

Seit der Novellierung des „Erneuerbare-Energien-Gesetzes“ (EEG) im Jahr 2004 hat die landwirtschaftliche Produktion von Substraten für die Biogasanlage sehr stark an Bedeutung gewonnen. Der Anbauumfang betrug im Jahr 2008 etwa 500.000 ha und hat damit gegenüber 2007 einen Flächenzuwachs von 25 % erfahren. Effiziente und nachhaltige Anbausysteme für Energiepflanzen sind deswegen für eine zukunftsfähige Entwicklung der Biogasbranche unabdingbar. Der optimierte Produktionsmitteleinsatz spielt unter diesen Rahmenbedingungen eine wichtige Rolle, da hier einerseits die Fundamente für eine wirtschaftliche Produktion gelegt und andererseits eine ökologisch nachhaltige Landbewirtschaftung sichergestellt wird.

2 Problemstellung und Zielsetzung

Seit 2005 läuft das vom Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (BMELV) geförderte und von der Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR) betreute Verbundvorhaben „EVA I“ an sieben Standorten in Deutschland. In diesem Vorhaben werden Kulturarten in verschiedenen Anbausystemen auf ihre Ertragsfähigkeit und ihre Eignung für die Biogasproduktion geprüft. Das Ziel dieses Verbundprojektes ist es, konkrete Anbauempfehlungen und Fruchtfolgevorschläge für die in der Energieproduktion empfehlenswerten Kulturen zu entwickeln.

Der Satellitenversuch zu Minimierungsstrategien im Energiepflanzenbau soll klären, ob ein reduzierter Faktoreinsatz wirtschaftliche und ökologische Vorteile bringt. Aufgrund des drastischen Preisanstiegs bei den Mineraldüngern hat der optimale Düngemitteleinsatz einen stärkeren Einfluss auf den erzielbaren Gewinn der Pflanzenproduktion gewonnen. Daneben ist insbesondere die mineralische Stickstoffdüngung im Hinblick auf die Energiebilanz von großer Bedeutung. Die optimale Düngeintensität liegt deswegen möglicherweise etwas niedriger als für das Ausschöpfen des maximalen Ertragsniveaus nötig.

Spezielle Aspekte im Energiepflanzenanbau, wie früher Erntetermin, geringe Erntereste auf der Fläche, geringe Anforderungen an Schmackhaftigkeit beziehungsweise den Gehalt an Giftstoffen sowie eine Pflanzenarchitektur, die strohreichere Typen erlaubt, lassen die Hypothese zu, dass extensivere Produktionsverfahren möglich sind. Da auch die Segetalflora einen Beitrag zur Methanproduktion leistet, kann der Herbizideinsatz im Energiepflanzenanbau eventuell reduziert werden. Zudem können hochwachsende Unkrautarten durch eine frühe Beerntung an der Samenproduktion gehindert werden.

Mittel- und langfristige Folgen der Minimierung könnten allerdings eine Abnahme des pflanzenverfügbaren Stickstoffs im Boden und eine Steigerung des Unkrautsamenpotentials sein, die bei der Produktion von Marktfrüchten zu Problemen führen könnten. Daher ist die Untersuchung der Minimierungsstrategien in Fruchtfolgen mit Energiepflanzen und optimal geführten Marktfrüchten zur Abschätzung der langfristigen Effekte essentiell.

3 Versuchsaufbau und Methoden

3.1 Lage der Versuchsflächen

Im Teilprojekt 1 des Verbundprojektes „EVA I“ repräsentiert Bayern die Standorte der Vorgebirgs- und Mittelgebirgsregionen mit schlechten bis mittleren Böden, einer niedrigen Temperatursumme und einer guten bis sehr guten Wasserversorgung. Typische Kulturen sind Wintergerste und Ackerfutter.

Am Standort Ascha, ca. 20 km nördlich von Straubing gelegen, kommen die Minimierungsvarianten, die in die Kern- und Regionalfruchtfolgen eingebettet sind, zum Anbau. Die Versuchsfläche liegt in ca. 430 m Höhe über NN in leichter Neigung an einem Hang. Bei einer mittleren Jahrestemperatur von 7,5 °C und einer jährlichen Niederschlagshöhe von 807 mm beträgt die Vegetationszeit in der Regel 190 bis 210 Tage. Das Ausgangsmaterial der Bodenbildung sind Granite und Gneise mit nur geringen Löss- bzw. Lösslehmbeimengungen. Die Leitböden in der Region sind als Braunerden anzusprechen und weisen einen Gehalt an organischem Kohlenstoff von 1,2 % auf. Im Hinblick auf die Nährstoffversorgung ist insbesondere die relativ niedrige Phosphor-Versorgung des Standorts bei der Düngeplanung zu berücksichtigen.

3.2 Versuchsaufbau

Der Versuch zur Minimierung von Düngung und Pflanzenschutz wurde in die Versuchsanlage des Grundversuchs (Kern- plus Regionalfruchtfolgen) in Form einer Spaltanlage integriert. Die Fruchtfolgen 3, 6 und 8 (siehe Tabelle 1) wurden mit dreifacher Parzellenanzahl angebaut und entsprechend den Minimierungsstufen in Tabelle 2 gepflegt. Jede Ernteparzelle hat 1,50 m breite Stirnränder und ist beidseitig von einer Trennparzelle flankiert, um verfälschende Randeffekte zu vermeiden. Die beerntete Parzellenfläche beträgt 12 m^2.

Die drei untersuchten Fruchtfolgen decken folgende Produktionsschwerpunkte ab: Fruchtfolge 3 zielt vorwiegend auf die Produktion von Biomasse zur energetischen Nutzung ab, bei Fruchtfolge 6 und 8 wird der Energiepflanzenanbau in die Futter- bzw. Marktfruchtproduktion integriert. Alle drei Fruchtfolgen starteten jeweils mit Mais, wobei hier drei Sorten mit unterschiedlichen Nutzungszielen (Energiemais, Silomais, Körnermais) angebaut wurden.

Tabelle 1: Überblick über die drei Fruchtfolgen des Versuchs zur Faktorminimierung; fett gedruckte Kulturen werden zur Energienutzung verwendet, die übrigen als Marktfrucht oder Futtermittel

	Fruchtfolgen mit reduziertem Faktoreinsatz		
Jahr	**3**	**6**	**8**
2005	**Mais**	Silomais	Körnermais
2006	**Futterroggen**	**Futterroggen**	**Welsches Weidelgras**
	Sorghumhybride	Silomais	Kartoffeln
2007	**W.Triticale**	**Wickroggen**	**W.Weizen**
	Welsches Weidelgras	**Sorghumhybride**	**Erbsen**
2008	W.Weizen	W.Weizen	W.Weizen

Im Rahmen des Grundversuchs wurden die Kulturen ortsüblich optimal gedüngt und bei Erreichen der Schadschwellen gegebenenfalls mit Pflanzenschutzmitteln (PSM) behandelt. In der ersten Stufe der Minimierung wurde der Stickstoffdünger um 30 kg N ha^{-1} je Kultur vermindert, in der zweiten Stufe wurde zusätzlich zur reduzierten Stickstoffdüngung auch vollständig auf PSM (insbesondere Herbizide) verzichtet. Marktfrüchte wie beispielsweise Kartoffeln in Regionalfruchtfolge 8 sind von der Minimierung ausgenommen. Der Versuch wurde 2005 und 2006 parallel angelegt, so dass der witterungsbedingte Jahreseffekt in der Auswertung berücksichtigt werden kann.

Tabelle 2: Darstellung der Intensitätsstufen im Minimierungs-Satellitenversuch

Variante	Grundversuch	Minimierung 1	Minimierung 2
Intensität	ortsüblich optimal	- 30 kg N ha^{-1} je Kultur	- 30 kg N ha^{-1} je Kultur und Verzicht auf PSM

3.3 Wetterdaten über die Versuchsdauer 2005 bis 2008

Die Jahre 2005 bis 2008 waren im Vergleich zum langjährigen Mittel überdurchschnittlich warm und niederschlagsreich (Tabelle 3). Gleichzeitig waren die Jahre durch viele Wetterextreme geprägt. Das Frühjahr 2005 war sehr niederschlagsreich und warm. Die günstige Witterung setzte sich im Frühsommer fort, Juni und Juli wiesen im Durchschnitt 1,6 °C bzw. 0,6 °C höhere Temperaturen auf wie das langjährige Mittel. Der August dagegen war eher kühl, gefolgt von einem milden und trockenen Herbst. Der Winter 2005/2006 war sehr kalt und führte bei manchen Winterungen zu einer stark verzögerten Bestandesentwicklung. Erst ab Mitte April konnten sich dann wieder frühlingshaftere Temperaturen durchsetzen. Der niederschlagsreiche Mai und warme Juni boten ideale Bedingungen für das Pflanzenwachstum. Der Juli 2006 war ausgesprochen trocken und löste bei vielen Kulturen eine beschleunigte Abreife aus. Nach einem kühlen und relativ feuchten August folgten milde Herbstmonate mit sehr geringen Niederschlägen.

Ein ungewöhnlich warmer Winter 2006/2007, in dem die Monatsdurchschnittstemperaturen nicht den Gefrierpunkt erreichten, führte zu einer sehr langen und üppigen Bestandesentwicklung der Kulturen. Durch die Trockenheit im April litten die Winterungen unter Trockenstress, die weiterhin ungewöhnlich hohen Temperaturen beschleunigten die Bestandesentwicklung enorm. Im Mai hingegen war die Summe der Niederschläge mehr als doppelt so hoch wie im langjährigen Mittel. Anhaltende Feuchtphasen im Juni und Juli erschwerten die Aussaat einiger Zweitkulturen, so dass diese erst Mitte Juli (für eine normale Bestandesentwicklung deutlich zu spät) durchgeführt werden konnte.

Tabelle 3: Niederschlagssummen und Lufttemperaturen über die Jahre 2005 bis 2008, in Klammern die Differenz zum langjährigen Mittel. Daten der Wetterstation Steinach der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft, ca. 10 km Luftlinie von Ascha entfernt

Zeitraum	Niederschlags-summe [mm]	Durchschnitts-temperatur [°C]	Besonderheiten
Apr 05 - Sep 05	545 (+114)	14,5 (+0,7)	Frühjahr sehr niederschlagsreich und mild, Juni und Juli sehr heiß, relativ kühler August, September deutlich wärmer als im Mittel
Okt 05 - Sep 06	931 (+124)	7,9 (+0,4)	Trockener Herbst, sehr kalter und langer Winter, niederschlagsreiches Frühjahr, Juli überdurchschnittlich heiß und trocken, August relativ kühl und feucht, September warm und niederschlagsarm
Okt 06 - Sep 07	993 (+186)	10,0 (+1,5)	Milder Winter, sehr trockener April, ab Mai überdurchschnittlich warmer Sommer mit viel Niederschlag, September relativ kühl und feucht
Okt 07 - Sep 08	865 (+58)	8,76 (+1,2)	Wenig Niederschlag in Herbst und Winter, relativ milde Temperaturen, Frühjahr sehr niederschlagsreich, Mai sehr warm und relativ trocken, Sommer durchschnittlich warm mit ausreichend Niederschlägen

Während der September 2007 überdurchschnittlich hohe Niederschläge zu verzeichnen hatte, war der Oktober sehr trocken. Der darauffolgende Winter war sehr mild mit im Vergleich zum langjährigen Mittel etwas geringeren Niederschlägen. Die Bestände konnten sich dennoch üppig entwickeln. März und April 2008 waren bei durchschnittlichen Temperaturen übermäßig niederschlagsreich, so dass teilweise Versuchsparzellen über längere Zeit unter Wasser standen und die Kulturen dort stark geschädigt wurden. Ab Mai wurde es sommerlich warm, so dass die Winterungen gut abreiften und die Zweitkulturen ab Mitte Juni gesät werden konnten.

3.4 Datenerhebung und Berechnung des Biogasertrags

Die Datenerfassung erfolgt im Verbundprojekt nach einheitlichen Kriterien. In allen Versuchen wurden zu festgelegten Wuchsstadien Daten zur Bodenbedeckung der Kulturen sowie des Unkrautbesatzes, zum Krankheits- und Schädlingsbefall und zur Bestandeshöhe erhoben. Die Ertragsentwicklung wurde mit mehreren Zeiternten auf Teilflächen von 1 m^2 verfolgt. Zur Ernte wurde der Frischmasse-Ertrag der Ernteparzelle gewogen. Bei Druschfrüchten wurden die Erntedaten nach Korn und Stroh getrennt erfasst und analysiert. Von allen Kulturen wurden repräsentative Pflanzenproben zur Bestimmung der Trockensubstanz und zur Analyse der Inhaltsstoffe entnommen. In den Minimierungsvarianten wurden jeweils prüfgliedweise die Makronährstoffe N, P, K und Mg analysiert sowie eine einfache Weender-Analyse durchgeführt.

Über die Inhaltsstoffe und die Trockenmasseerträge wurde mittels Schätzformeln die Biogas- und Methanausbeute je kg organischer Trockenmasse (im Folgenden je kg oTM) und die Biogas- und Methanerträge in Kubikmeter je Hektar der jeweiligen Kultur bestimmt. Dabei wurden für jede Kultur wuchsstadienspezifische Verdaulichkeitskoeffizienten der relevanten Inhaltsstoffe verwendet. Bei Kulturen, für die in der Literatur keine Verdaulichkeitskoeffizienten vorliegen, wurden die Verdaulichkeiten ähnlicher Kulturarten (z.B. Werte von Sudangras (=*Sorghum sudanense*) für Futterhirse (=*Sorghum bicolor x Sorghum sudanense*)) zur Berechnung herangezogen. Fehlten die entsprechenden wuchsstadienspezifischen Werte, wurden frühere Reifestadien der Kulturen verwendet. Als Verdaulichkeitskoeffizienten für Wintertriticale wurden die gemittelten Werte von Weizen und Roggen verwendet.

Daneben wurden regelmäßig Bodenproben gezogen und auf Ammonium-, Nitrat-, Phosphat-, Kalium- und Magnesiumgehalte untersucht. Diese Werte bilden die Basis der Düngeplanung sowie der Nährstoffbilanzierung. Da letztere wie auch die Humusbilanzierung durch das Institut für Landnutzungssysteme und Landschaftsökologie am Leibniz-Zentrum für Agrarlandschaftsforschung (ZALF) e.V. in der ökologischen Begleitforschung über alle Standorte untersucht wird, wurden diese Werte zusammen mit den Ertragsdaten und Nährstoffanalysen entsprechend weitergegeben. Zudem wurden die Wetterdaten des Versuchsstandorts zur Berechnung der klimatischen Wasserbilanz zur Verfügung gestellt.

Die ökonomische Bewertung der verschiedenen Fruchtfolgen wurde für alle Standorte des Verbundprojekts vom Institut für Betriebslehre der Agrar- und Ernährungswirtschaft der Justus-Liebig-Universität in Gießen durchgeführt. Neben den Ertragsdaten wurden hierzu alle Arbeitsschritte und Einsatzfaktoren detailliert aufgelistet und an den Projektpartner weitergegeben.

Zur statistischen Auswertung wurden die Ertragsdaten nach Fruchtfolge und Intensitätsstufe für die einzelnen Anbaujahre aufsummiert und in einer Varianzanalyse in SAS (Version 9.1) auf signifikante Unterschiede geprüft. Ebenso wurden die Erträge des abschließenden Fruchtfolgeglieds Winterweizen auf signifikante Unterschiede getestet, um akkumulierte Fruchtfolge- bzw. Vorfruchteffekte bewerten zu können.

3.5 Berechnung der Stickstoffeffizienz

Zur Berechnung der Stickstoffeffizienz wurde der erzielte Trockenmasseertrag in Relation zum aufgewandten Düngemittel-Stickstoff berechnet. Hierfür wurden die Trockenmasse-Erträge der einzelnen Kulturen sowie die jeweiligen N-Düngegaben über die Fruchtfolge aufsummiert.

3.6 Berechnung der Energiebilanz

Um die Auswirkungen des reduzierten Produktionsmitteleinsatzes auf die Energiebilanz zu untersuchen, wurde die Differenz im Energie-Input und -Output der Minimierungsvarianten zur optimal geführten Variante berechnet. Die Methode zur Berechnung der Energiebilanz wurde von Herrn Willms (ZALF e.V.) entwickelt. So wurden die Einsparungen im Energieaufwand (= Energie-Input) für Stickstoffdüngung und Pflanzenschutz auf Basis von Werten berechnet, die von Herrn Lackemann und Herrn Willms (ZALF e.V.) zur Verfügung gestellt wurden. Der Nettoenergieertrag (= Energie-Output) wurde durch den Heizwert des Methan-

ertrags dargestellt. Dabei wurde für Methan ein Heizwert von 36 MJ je Nm^3 angenommen. Alle Werte wurden bezogen auf die Fläche berechnet, da diese der am stärksten limitierende Produktionsfaktor ist.

4 Ergebnisse und Diskussion

4.1 Fruchtfolgeerträge

In dem Satellitenversuch zur Faktorminimierung in Bayern wurde in einer ersten Stufe die Stickstoffdüngung um 30 kg je ha und Kultur reduziert und in einer zweiten Stufe zusätzlich auf den Einsatz von Pflanzenschutzmitteln verzichtet. Nach dem ersten Fruchtfolgezyklus in der 1. Versuchsanlage zeichnete sich in Fruchtfolge 3 vor allem der Einfluss der in beiden Minimierungsvarianten verminderten Stickstoffdüngung mit Ertragseinbußen von 11 % ab (Abbildung 1).

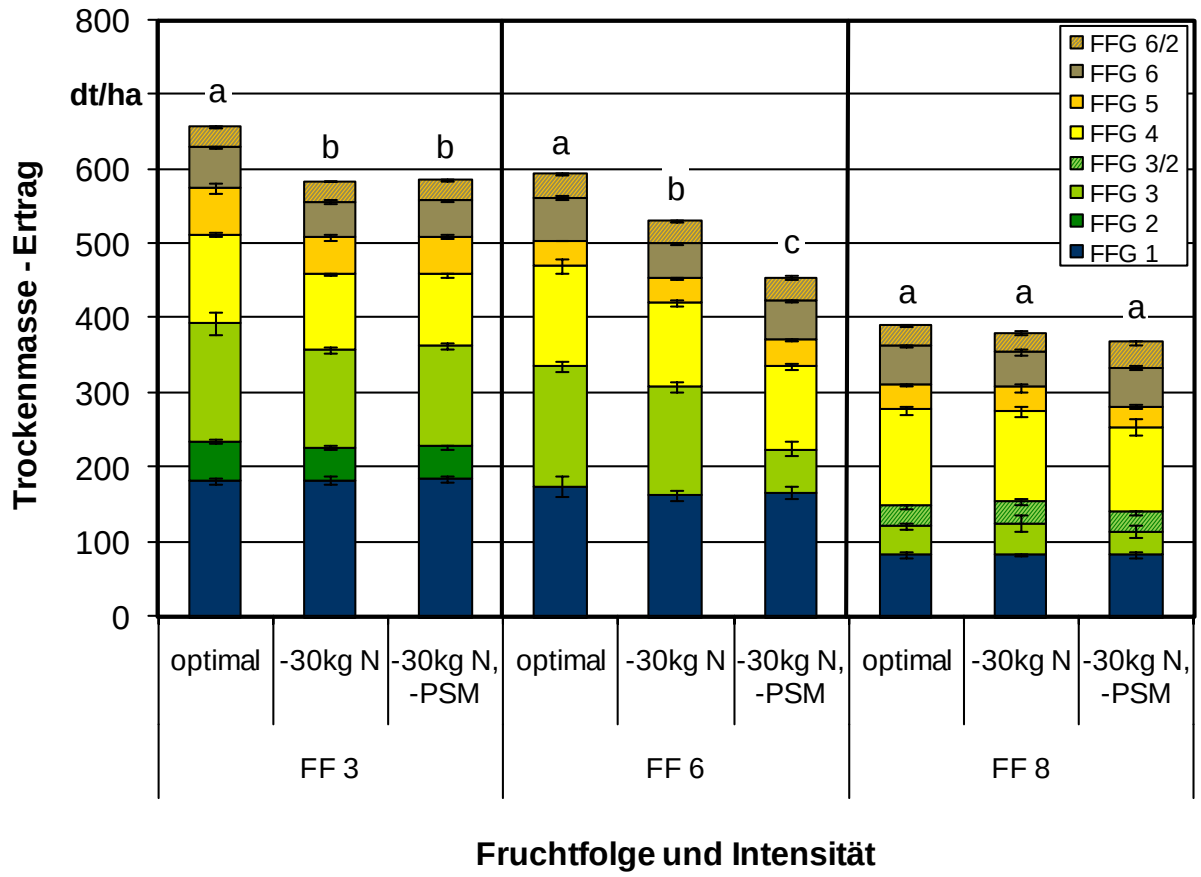


Abbildung 1: Aufsummierte Erträge der Fruchtfolgen im Satellitenversuch zu Minimierungsstrategien im Fruchtfolgeversuch 1. Anlage, Anbauzeitraum 2005-2008.; schraffierte Flächen (FFG 3/2 und FFG 6/2) stehen für die Nebenernteprodukte der angebauten Marktfrucht; dargestellt sind arithmetische Mittelwerte mit n = 4 und deren Standardfehler, die Zeichen a - c bezeichnen signifikante Unterschiede

In Fruchtfolge 6 trat ein ähnlicher Minderertrag durch die verringerte Stickstoffgabe auf. Noch deutlicher wirkte sich jedoch der Verzicht von Pflanzenschutzmitteln mit Ertragseinbußen von insgesamt 139 dt/ha (= 23 %) aus. In Fruchtfolge 8 dagegen wurden keine signifikanten Mindererträge in den Minimierungsvarianten festgestellt, wobei hier die Marktfrucht Kartoffel ebenso wie der Winterweizen als letztes Fruchtfolgeglied von der Faktorreduzierung ausgeschlossen war. Betrachtet man die einzelnen Fruchtfolgeglieder, fällt auf, dass im ersten Jahr bei den drei Maissorten kein Einfluss der unterschiedlichen Varianten erkennbar ist. Aufgrund der zweifachen Bodenbearbeitung bei Versuchsanlage und zur Maissaat kam fast kein Unkraut auf, so dass in diesem Jahr Mais auch ohne Herbizideinsatz erfolgreich angebaut werden konnte. In 2006 jedoch traten gravierende Ertragseinbußen in Mais (3. Fruchtfolgeglied, Fruchtfolge 6) in der zweiten Minimierungsstufe auf. Andere Kulturen wie Sorghumhybride, Welsches Weidelgras und Getreide-GPS waren konkurrenzstärker bzw. zeigten eine gute Unkrautunterdrückung, so dass trotz des fehlenden Pflanzenschutzes gleiche Erträge erzielt werden konnten. Allerdings reagierte Getreide-GPS (insbesondere Winterroggen, -triticale und Wickroggen) und auch Sorghumhybride mit teilweise signifikanten Mindererträgen stärker auf die reduzierte Stickstoffdüngung.

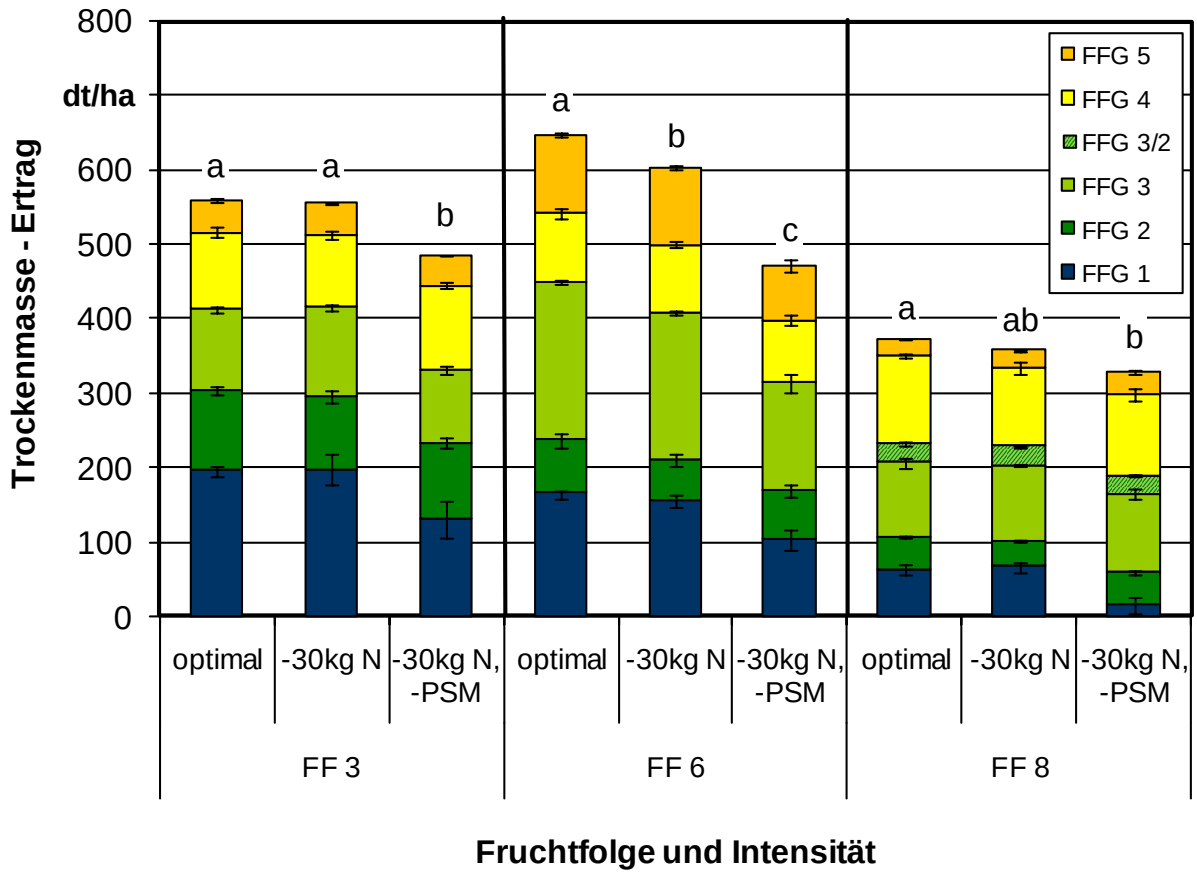


Abbildung 2: *Aufsummierte Erträge der Fruchtfolgen im Satellitenversuch zu Minimierungsstrategien im Fruchtfolgeversuch 2. Anlage, Anbauzeitraum 2006-2007; schraffierte Flächen (FFG 3/2) stehen für die Nebenernteprodukte der angebauten Marktfrucht; dargestellt sind arithmetische Mittelwerte mit n = 4 und deren Standardfehler, die Zeichen a - c bezeichnen signifikante Unterschiede*

In Abbildung 2 zeichnen sich in den Gesamterträgen der 2. Versuchsanlage die negativen Ertragseffekte durch den Verzicht auf Pflanzenschutzmittel deutlich ab, da schon das jeweils erste Fruchtfolgeglied Mais hohe Ertragseinbußen aufwies. So wurden in Fruchtfolge 3 die Gesamterträge um 74 dt/ha (= 13 %) innerhalb von drei Jahren reduziert. In Fruchtfolge 6 summierten sich die Ertragsausfälle in der zweiten Minimierungsstufe auf 175 dt/ha (=27 %). Hier zeigte sich, dass neben dem Mais auch die Sorghumhybride bei hohem Unkrautdruck keine ausreichende Konkurrenzkraft aufwies und ohne Herbizideinsatz Mindererträge von ca. 30 % einbrachte. Die reduzierte Stickstoffdüngung führte in Fruchtfolge 6 zu einem geringeren Gesamtertrag von 42 dt/ha, der jedoch auf die ersten drei Fruchtfolgeglieder zurückgeht. Wickroggen und Sorghumhybride (Fruchtfolgeglied 4 und 5) erzielten trotz geringerer Stickstoffversorgung gleich hohe Erträge wie die optimal gedüngte Variante. Auch Fruchtfolge 3 und 8 zeigten sich unbeeinflusst durch die reduzierte Stickstoffgabe. In Fruchtfolge 8 ist der nahezu Totalverlust des Körnermais in der Minimierungsstufe ohne Pflanzenschutzmittel zu sehen. In den nachfolgenden Kulturen Welsches Weidelgras als Winterzwischenfrucht und Kartoffeln, die als Marktfrüchte von der Minimierung ausgenommen sind, zeichneten sich keine Folgewirkungen durch einen erhöhten Unkrautdruck ab.

4.2 Winterweizenerträge

Der Winterweizen, das letzte Fruchtfolgeglied der ersten Versuchsanlage, wurde als Marktfrucht angebaut und deswegen in allen drei Varianten optimal geführt. Hier zeichnete sich die Folgewirkung der reduzierten Stickstoffdüngung deutlich ab (Abbildung 3). Ein Teil dieses Effekts ist auf einen Düngungsfehler zurückzuführen, der einige Parzellen der Minimierungsvariante 1 (reduzierte N-Düngung) betraf, da hier ein Streifen bei der ersten Düngegabe nicht gedüngt wurde. Aber auch in der Minimierungsvariante 2, die von dem Düngungsfehler unbeeinflusst optimal gedüngt wurde, traten in Fruchtfolge 3 und 6 Mindererträge von 7 bzw. 6 dt/ha auf. Offensichtlich zehrten diese ertragreichen Varianten vermehrt an den Stickstoffvorräten des Bodens, so dass hier die N-Nachlieferung aus der organischen Substanz des Bodens nach drei Jahren differenzierter Behandlung schon deutlich eingeschränkt war. Dagegen war hinsichtlich der fehlenden Unkrautkontrolle keine Folgewirkung auf die Ertragsbildung im Winterweizen zu erkennen. Tendenziell kam es sogar zu geringen Mehrerträge in den Minimierungsvarianten ohne Pflanzenschutz gegenüber denjenigen, in denen nur die Stickstoffdüngung reduziert war. Möglicherweise kam es hier durch den erhöhten Unkrautaufwuchs, der nur teilweise bei der Ernte erfasst wurde, zu einer stärkeren Rückführung an leicht zersetzbarer organischer Substanz.

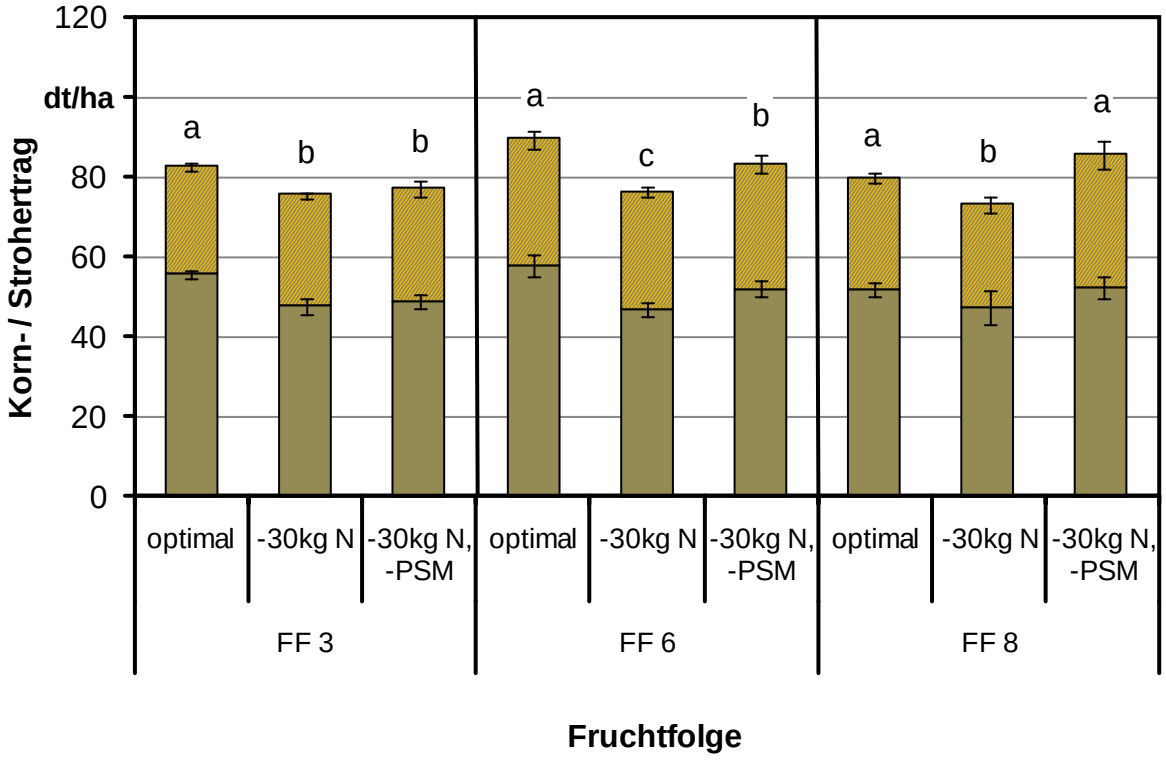


Abbildung 3: Kornerträge von Winterweizen im Satellitenversuch zu Minimierungsstrategien im Fruchtfolgeversuch 1. Anlage, 2008; dargestellt sind arithmetische Mittelwerte mit n = 4 und deren Standardfehler, die Zeichen a - c bezeichnen signifikante Unterschiede

4.3 Stickstoffeffizienz

Ein wichtiger Aspekt im Hinblick auf steigende Düngemittelpreise ist die Stickstoffeffizienz, d. h. der Trockenmasse-Ertrag der je gedüngtem Kilogramm Stickstoff erzielt wird. Dieser Parameter gibt einen Hinweis auf die Ausnutzung des Stickstoffdüngers durch den Pflanzenbestand und kann damit indirekt mögliche Stickstoffverluste wie z.B. Nitratverlagerung oder Lachgasemissionen anzeigen.

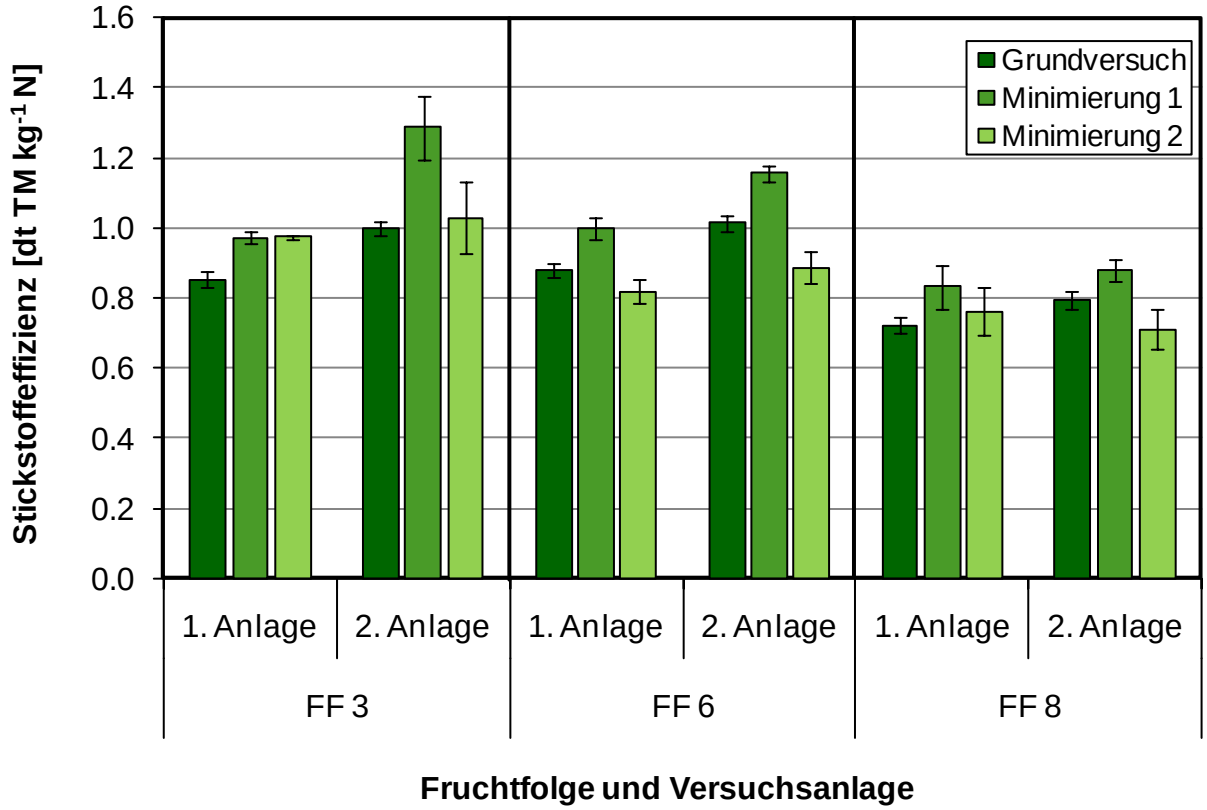


Abbildung 4: Einfluss der Minimierungsstrategien auf die Stickstoffeffizienz der Fruchtfolgen in der 1. und 2. Versuchsanlage; dargestellt sind arithmetische Mittelwerte mit n = 4 und deren Standardfehler

Zur Ermittlung der Stickstoffeffizienz wurden die Trockenmasse-Erträge der einzelnen Fruchtfolgeglieder aufsummiert und zum über die gesamte Fruchtfolge ausgebrachten mineralischen Stickstoff ins Verhältnis gesetzt. Wie in Abbildung 4 zu sehen ist, zeichneten sich in den Minimierungsvarianten Unterschiede in der Produktionsintensität sehr deutlich in der Stickstoffeffizienz ab. Da nur relativ geringe Mindererträge bei niedrigerem Stickstoffdüngungsniveau auftraten, erhöhte sich die Stickstoffeffizienz im Mittel um 16 % im Vergleich zur optimal gedüngten Variante. Der Verzicht auf Pflanzenschutzmittel dagegen wirkte sich aufgrund der teilweise sehr hohen Ertragsverluste bei Mais negativ auf die Stickstoffeffizienz aus, so dass hier der positive Effekt der reduzierten Stickstoffdüngung teilweise ausgeglichen bzw. umgekehrt wurde.

4.4 Energiebilanz

Ziel der Minimierungsvarianten ist es, durch eine Reduktion der Produktionsfaktoren Stickstoffdüngung und Pflanzenschutz neben der wirtschaftlichen Effizienz auch das Verhältnis Energie-Output: Energie-Input zu maximieren und die Energiebilanz damit zu optimieren. Da eine umfassende Energiebilanz sehr aufwändig zu berechnen ist, wurde im Folgenden nur die Differenz im Energie-Input und -Output der Minimierungsvarianten zur optimal geführten Variante betrachtet.

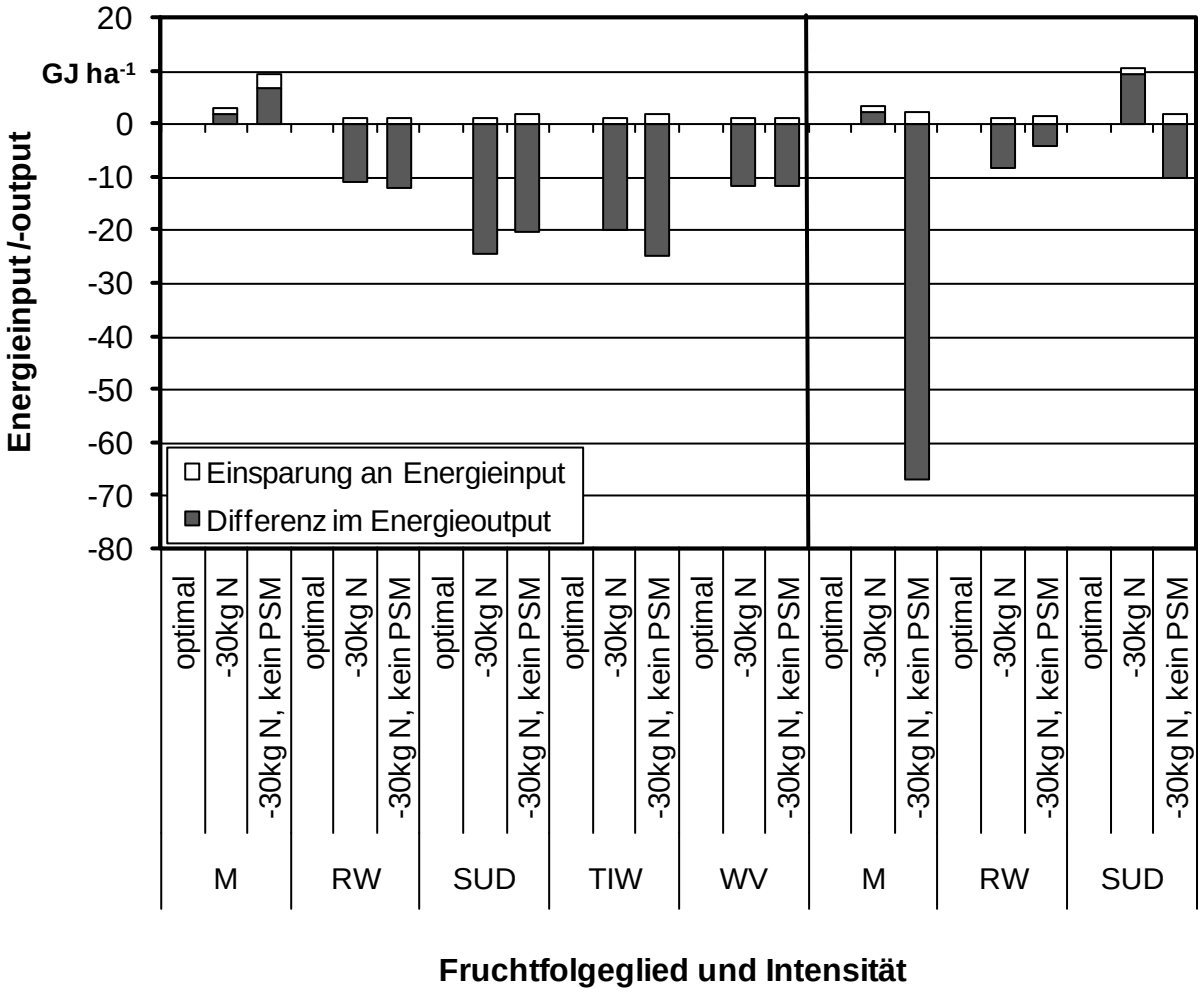


Abbildung 5: Unterschiede im Energie-Input und -Output zwischen der optimal geführten Variante und den Minimierungsvarianten in Fruchtfolge 3

Durch die Reduktion der Stickstoffgabe um 30 kg/ha und Kultur ergab sich eine Einsparung im Energie-Input von 1236 MJ je ha (Abbildung 5, Tabelle 4). Dies entspricht dem Energieaufwand für Düngemittelproduktion und -transport. Da bei der Ausbringung kein Arbeitsgang eingespart wurde, sondern sich nur die Höhe der Stickstoffgabe verringerte, wurde hierfür keine Energie-Ersparnis berücksichtigt. Der Verzicht auf Pflanzenschutz schlägt abhängig von der Kultur und dem eingesetzten Herbizid unterschiedlich zu Buche. Im Roggen wurde z.B. ein hochwirksames Mittel mit sehr geringer Aufwandmenge eingesetzt, so dass sich hier die Energie-Ersparnis vor allem durch den nicht durchgeführten Arbeitsgang (Kraftstoffverbrauch plus Maschinenabschreibung = 106 MJ/ha) ergab. Bei Mais dagegen war der Herbizidaufwand deutlich höher, so dass sich hier durch den Verzicht auf Pflanzenschutz insgesamt 1246 MJ/ha an Energie einsparen ließ.

Insgesamt wirkte sich die Differenz im Nettoenergieertrag am stärksten auf die Energiebilanz aus. Abgesehen von einigen wenigen Fällen, in denen trotz der Minimierung (nicht signifikante) Mehrerträge erzielt wurden, führten die Ertragseinbußen bei reduziertem Faktoreinsatz zu sehr negativen Salden. Wie schon beim Trockenmasse-Ertrag zeigte sich auch hier, dass der fehlende Pflanzenschutz im Mais die Energiebilanz gravierend verschlechtert. So lässt

sich daraus ableiten, dass ein Pflanzenschutzmittel-Einsatz im Mais aus energetischer Sicht äußerst effektiv ist, da hier mit geringem Energieaufwand ein hoher Mehrertrag gesichert werden kann.

Tabelle 4: Unterschiede im Energie-Input und -Output zwischen der optimal geführten Variante und den Minimierungsvarianten in Fruchtfolge 3, 6 und 8 der 1. Versuchsanlage über die Jahre 2005 - 2007

Frucht-		Minimierung 1 Differenz im Energie-			Minimierung 2 Differenz im Energie-		
folge	**Fruchtart**	**Input** [MJ/ha]	**Output** [MJ/ha]	**Saldo** [MJ/ha]	**Input** [MJ/ha]	**Output** [MJ/ha]	**Saldo** [MJ/ha]
3	Mais	1236	1977	**3213**	2482	6857	**9339**
	W.Roggen	1236	-10985	**-9749**	1349	-11919	**-10570**
	Sorghumhybr.	1236	-24476	**-23240**	1770	-20126	**-18357**
	W.Triticale	1236	-19777	**-18541**	1770	-24846	**-23077**
	Wel.Weidelgr.	1236	-11693	**-10457**	1236	-11432	**-10196**
6	Mais	1236	-11853	**-10617**	2482	-8565	**-6083**
	W.Roggen	1236	0	**1236**	1770	0	**1770**
	Mais	1236	-13928	**-12692**	2482	-107635	**-105153**
	Wickroggen	1236	-22140	**-20904**	1570	-22093	**-20523**
	Sorghumhybr.	1236	-1330	**-94**	1770	799	**2569**
8	Körnermais	1236	-883	**353**	2482	384	**2866**
	Wel.Weidelgr.	1236	0	**1236**	1236	0	**1236**
	Kartoffeln	0	4756	**4756**	0	-9681	**-9681**
	W.Weizen	1224	-6905	**-5681**	1757	-13369	**-11612**
	Erbse	0	-566	**-566**	0	-5329	**-5329**

Bei anderen Kulturen wie Winterroggen, Wintertriticale und Weidelgras traten vor allem durch die reduzierte Stickstoffdüngung negative Energie-Salden auf. Diese müssen aber vor dem Hintergrund betrachtet werden, dass die Stickstoffdüngung auch in der optimal geführten Variante relativ niedrig bemessen war. So weisen die Fruchtfolgen 3 und 6 in der ersten Versuchsanlage ein N-Defizit von im Mittel -46 bzw. -20 kg N/ha und Jahr auf (siehe Abschlussbericht Bayern, Grundversuch). In Fruchtfolge 8, in der die Stickstoffbilanz relativ ausgeglichen war, wirkte sich die reduzierte Stickstoffdüngung weit weniger negativ auf die Energiebilanz aus.

5 Zusammenfassung

In dem Satellitenversuch zu Minimierungsstrategien im Energiepflanzenbau wurde am Standort Ascha die Produktionsintensität in Bezug auf Stickstoffdüngung und Pflanzenschutz variiert. Es zeichnete sich ab, dass ein reduzierter Faktoreinsatz möglich ist. Bis auf Mais und Sorghumhirse konnten alle Kulturen erfolgreich ohne Herbizidanwendung angebaut werden. Ganzpflanzengetreide und Weidelgras können durch die wesentlich dichteren Pflanzenbestände aufkeimende Unkräuter schnell und effektiv überwachsen und damit unterdrü-

cken. In nachfolgenden Kulturen konnten selbst bei vorangehender starker Verunkrautung keine negativen Folgewirkungen der fehlenden Unkrautkontrolle festgestellt werden.

Die reduzierte Stickstoffdüngung führte vor allem bei Wintertriticale, Winterroggen und Sorghumhybride zu teilweise signifikant geringerer Biomassebildung. Im Mittel über alle Kulturen betrugen die Ertragseinbußen 7 %, wobei diese in einzelnen Jahren und Kulturen bis auf 17 % ansteigen konnten. Diese Ergebnisse müssen jedoch vor dem Hintergrund betrachtet werden, dass die optimal geführten Varianten sehr verhalten gedüngt wurden und relativ hohe negative Stickstoffsalden aufwiesen. Unter diesen Gegebenheiten ist eine Reduktion der Stickstoffdüngung selbstverständlich sehr schnell ertragswirksam.

Mais reagierte aufgrund seiner hohen Nährstoffeffizienz kaum auf die geringere Stickstoffgabe. Diese Kultur kann aufgrund ihres Wachstumszyklus sehr gut von der Stickstoffnachlieferung aus dem Bodenvorrat zehren, da die Zeiten höchsten Nährstoffbedarfs mit den maximalen Mineralisationsraten zusammenfallen.

Für die landwirtschaftliche Praxis wird empfohlen, die Stickstoffdüngung entsprechend dem Entzug zu bemessen. Wie die Versuchsergebnisse bestätigen, stellt die Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft in ihren Beratungsunterlagen gute Anhaltspunkte für den Stickstoffbedarf der unterschiedlichen Kulturen zur Verfügung (Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, 2007). Nur bei Mais und Sorghumhirse wurde der hohe Stickstoffentzug nicht durch die empfohlenen N-Gaben gedeckt. Langfristig wird eine Stickstoffdüngung, die unter der N-Abfuhr mit dem Erntegut liegt, zu einer Abnahme der Bodenfruchtbarkeit und geringeren Erträgen führen und ist deswegen nicht im Sinne einer nachhaltigen Landbewirtschaftung. Auch im Hinblick auf die Energiebilanz ist eine Reduktion der Stickstoffdüngung in den meisten Fällen von Nachteil, da der gesparte Energieaufwand durch die geringeren Trockenmasse- und damit Energie-Erträge in einen Netto-Energieverlust umgekehrt wird. Ebenso sollte bei Mais auf einen Herbizideinsatz nicht verzichtet werden, da hier durch einen geringen Energieaufwand hohe Mehrerträge gesichert und damit die Energiebilanz deutlich positiv beeinflusst wird. Bei Ganzpflanzengetreide kann jedoch bei entsprechender Fruchtfolgegestaltung auf eine Pflanzenschutzmaßnahme verzichtet werden.

Insgesamt ist aufgrund des hohen Jahreseinflusses eine weitere Fortführung des Verbundvorhabens notwendig, um die bisher gewonnenen Erkenntnisse weiter abzusichern. Die Minimierungsstrategien scheinen eine Möglichkeit zu bieten, einer befürchteten weiteren Intensivierung der Landbewirtschaftung durch die Energiepflanzenproduktion entgegenzuwirken.

6 Literatur

Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (2007): Leitfaden für die Düngung von Acker- und Grünland, Gelbes Heft, 8. überarbeitete Auflage, 98 S.

Thüringer Landesanstalt
für Landwirtschaft



Abschlussbericht 2009
zum Teilprojekt 1

Entwicklung und Optimierung von standortangepassten Anbausystemen für Energiepflanzen im Fruchtfolgeregime - Faktorminimierung - Minimalbodenbearbeitung

Dieses Verbundvorhaben wird vom BMELV über die FNR gefördert
und seitens der TLL koordiniert.

(FKZ: 220-2305)

Themenblatt-Nr.: 42.27.430

Thüringer Ministerium
für Landwirtschaft,
Naturschutz und Umwelt

Freistaat Thüringen

Langtitel: **Entwicklung und Vergleich von optimierten Anbausystemen für die landwirtschaftliche Produktion von Energiepflanzen unter den verschiedenen Standortbedingungen Deutschlands (EVA)**

Kurztitel: **Entwicklung und Optimierung von standortangepassten Anbausystemen für Energiepflanzen im Fruchtfolgeregime**

Projektleiter:	Dr. habil. A. Vetter
Abteilung:	400
Abteilungsleiter:	Dr. habil. A. Vetter
Laufzeit:	01.04.2005 bis 31.01.2009
Auftraggeber:	Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (BMELV)
Projektträger:	Fachagentur für Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR), Hofplatz 1, 18276 Gülzow
Namen der Bearbeiter:	Dr. A. Nehring Dipl.-Ing. agr. S. Köhler Dipl.-Ing. agr. A. Thiele Dipl.-Ing. (FH) D. Freund

Dornburg, Juni 2009

(P. Ritschel)
Präsident

(Dr. habil. A. Vetter)
Projektleiter

Inhaltsverzeichnis

1	**Einleitung**	**288**
2	**Material und Methoden**	**288**
2.1	Standortcharakteristik	288
2.2	Witterungsverlauf und Klimatische Wasserbilanz	289
2.3	Versuchsdurchführung	291
2.4	Berechnungsgrundlagen	292
2.4.1	Nährstoffbilanz (N, P, K)	292
2.4.2	Humusbilanz	293
2.4.3	Theoretische Biogas- und Methangasausbeute	293
2.4.4	Statistik	293
3	**Ergebnisse und Diskussion**	**294**
3.1	Frischmasse- und Trockenmasseerträge	294
3.2	Winterweizenerträge	296
3.3	Nährstoffbilanz	297
3.4	Humusbilanz	301
3.5	Theoretische Biogas- und Methangasausbeute	303
3.6	Anbauempfehlungen für die Region	304
4	**Zusammenfassung**	**305**
5	**Literatur**	**306**

1 Einleitung

Mit der zunehmenden Nachfrage nach erneuerbaren Energien und der steigenden Anzahl an Biogasanlagen ist es notwendig, die Flächenproduktivität im Energiepflanzenanbau zu steigern und abzusichern. Bisher war Maissilage das dominierende Gärsubstrat in der Biogasanlage, dies ist auf die hohe Biomasseproduktivität und auf das technologisch gut entwickelte Maisanbauverfahren zurückzuführen. Neben den oben genannten Aspekten ist es aber auch notwendig, die ökologischen Folgewirkungen zu betrachten. Aus diesem Hintergrund ergeben sich für die Fruchtfolgegestaltung im Energiepflanzenanbau mehrere Fragen:

1. Was für Ergänzungen gibt es zum Fruchtfolgeglied Mais?
2. Wie groß sind die Ertragsunterschiede der einzelnen Kulturen untereinander?
3. Welche Fruchtfolgegestaltung ist für eine hohe Biomasseproduktion sinnvoll?
4. Welche Bedeutung haben Zwischenfrüchte und wie ist der Anbau zu bewerten?
5. Gibt es Unterschiede im Methanertrag der Kulturen?
6. Wie beeinflussen Energiepflanzenfruchtfolgen den Nährstoff- und Humushaushalt des Bodens?

Zur Klärung dieser Fragen wurde im Frühjahr 2005 am Standort Dornburg ein Fruchtfolgeversuch zum Thema „Entwicklung und Optimierung von standortangepassten Anbausystemen für Energiepflanzen im Fruchtfolgeregime“ innerhalb des Verbundprojektes EVA angelegt. Ziel ist es, die Eignung verschiedener Kulturen im Fruchtfolgesystem unter den Bedingungen Thüringens für die energetische Nutzung zu prüfen. Im vorliegenden Bericht wird auf die Ergebnisse von 2005 bis 2008 eingegangen.

2 Material und Methoden

2.1 Standortcharakteristik

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 (Tabelle 1). Bei der vorherrschenden Bodenart handelt es sich um stark tonigen Schluff (Ut_4).

Tabelle 1: Standortcharakteristik

Ort:	Dornburg
Bundesland:	Thüringen
Bodenart:	stark toniger Schluff
Bodenzahl:	46-80
Niederschlag (IM):	596 mm
Temperatur (IM):	8,8 °C
Höhe über NN:	250-270 m

2.2 Witterungsverlauf und Klimatische Wasserbilanz

Witterungsverlauf

Zu Vegetationsbeginn (März, April) des Versuchsjahres **2005** wurden im Vergleich zum langjährigen Mittel deutlich geringere Niederschläge gemessen. Der fehlende Niederschlag spiegelte sich in einem ungleichmäßigen Aufgang der einzelnen Kulturen wider. Der im Mai gefallene Niederschlag und die steigenden Temperaturen ermöglichten dem Pflanzenbestand die aufgetretenen Wachstumsdefizite auszugleichen. Dem sehr trockenen Juni (42,2 mm; lM 73,0 mm) folgte der Juli mit 74,0 mm (lM 66, mm) Niederschlag. Der August war im Vergleich zum langjährigen Mittel (15,9 °C; lM 17,7 °C) kühler und die Wasserbilanz war als defizitär einzustufen. Die Monate September und Oktober lagen in der Temperaturentwicklung leicht über dem langjährigen Mittel, jedoch sind auch hier die Niederschläge wesentlich geringer ausgefallen. Das Versuchsjahr **2006** startete mit einem langen kalten Winter mit Minusgraden bis Ende Februar. Die Monate März und April sind deutlich kühler ausgefallen als 2005, verbunden mit hohen Niederschlägen. In den letzten Maitagen kam es zu einem Temperaturrückgang, welcher das Pflanzenwachstum der Wärme liebenden Kulturen erheblich beeinträchtigte. Die Monate Juni und Juli heben sich mit deutlich geringeren Niederschlägen vom Versuchsjahr 2005 ab. Im Juli lagen die Temperaturen um 3,8 °C höher als 2005, gekoppelt mit sehr geringen Niederschlägen. Durch die hohe Verdunstung wurde dem Boden viel Wasser entzogen, so dass die Bodenfeuchten im Sommer stark zurückgegangen sind. Mit 130 mm zeichnet sich der August durch überdurchschnittlich hohe Niederschläge ab. Die Monate September bis Dezember warteten im Vergleich zu 2005 mit wesentlich milderen Temperaturen auf, was eine Feststellung der Vegetationsruhe erheblich erschwerte. Das Versuchsjahr **2007** begann mit einem sehr milden Winter mit nur geringen Minusgraden und hohen Niederschlägen. Die Pflanzenbestände, aber auch die Unkräuter, konnten sich somit ungehindert weiterentwickeln. Der April war im Vergleich zu den übrigen Monaten sehr trocken, was auch deutlich an den Beständen zu erkennen war. Ab Mai bis zum September nahmen die Niederschläge zu, welche sich teilweise auch in Starkniederschlagsereignissen äußerten. Ab Oktober war ein Rückgang der Niederschläge zu erkennen, wobei der November 2007 niederschlagsreicher ausfiel als in den Vorjahren. Das Versuchsjahr **2008** begann mit einem milden Winter und Niederschlägen im Bereich von 20 mm. Der Monat April zeichnete sich durch Niederschläge in Höhe von 94 mm deutlich ab, wohingegen die Pflanzen im Mai unter der Trockenheit und den steigenden Temperaturen zu leiden hatten. In den Monaten Juni bis Oktober konnte eine gleichmäßige Niederschlagsverteilung beobachtet werden (im Durchschnitt 60 mm). Die Temperaturen befanden sich im Juni-August auf einem ähnlichen Niveau und sanken ab September langsam ab. Eine grafische Darstellung des Witterungsverlaufes der einzelnen Jahre befindet sich im Anhang (Anhang 1).

Fazit:

2006	Trockenes Jahr, sehr ungleichmäßige Verteilung der Niederschläge, häufig Starkniederschlagsereignisse.
2007	Mildes Frühjahr, sehr trockener April, von Mai bis September gleichmäßige hohe Niederschläge.
2008	Ähnliche Entwicklung der Temperaturen wie 2005, wobei das Jahr 2005 durch geringere Niederschläge geprägt war.

Klimatische Wasserbilanz (KWB)

Die klimatische Wasserbilanz errechnet sich aus der Differenz zwischen Niederschlagssumme und der Summe der potenziellen Verdunstung. Für die Berechnung der potenziellen Verdunstung wurde die Penman-Methode herangezogen. Diese Methode stellt die ausgereifteste dar und ist international anerkannt. Der Verdunstungsprozess wird hierbei im System Boden-Pflanze-Atmosphäre betrachtet. Des Weiteren werden alle Widerstände, die im Wassertransport zwischen Boden und Pflanze und zwischen Pflanzenbestand und Atmosphäre bestehen, berücksichtigt (Hösel, 2008). Für die Berechnung der KWB wurde auf Daten des Deutschen Wetterdienstes zurückgegriffen.

In allen Versuchsjahren war die KWB bis März positiv (Abbildung 1). Dann fielen die Werte langsam ab und erreichten im April -100 mm. Im weiteren Verlauf entwickelte sich die KWB in den einzelnen Jahren negativ und erreichte Werte bis -550 mm, wobei zwischen den einzelnen Jahren eine differenzierte Betrachtung unabdingbar ist. Bei der Betrachtung einzelner Zeitabschnitte wird ersichtlich, dass sich im Zeitraum Ende März bis Anfang Mai die Werte für das Jahr 2005 deutlich von den anderen Jahren unterschieden. Wobei nur geringe Unterschiede zwischen den Jahren 2006 und 2008 auftraten. Dieser Trend blieb bis Ende Mai bestehen. Im Juni wird ersichtlich, dass sich die KWB von 2008 und 2006 immer noch auf einem ähnlichen Niveau befand, wohingegen sich die KWB für 2007 und 2005 deutlich abhob. Für die Jahre 2005, 2006 und 2008 sanken die Werte auf unter -300 mm. Die KWB für 2007 pegelte sich zwischen einem Wert von -292 mm und -274 mm bis Oktober ein und stieg dann wieder auf Werte von -230 mm. In den Versuchsjahren 2005, 2006 und 2008 lag die KWB ab September bei einem Wert von > -350 mm, wobei die Versuchsjahre 2005 und 2008 bis zum Jahresende Werte zwischen -350 und -450 mm erreichten. Sehr negativ fiel die KWB für das Jahr 2006 aus. Hier lagen die Werte von Ende September bis Dezember zwischen -500 und -550 mm.

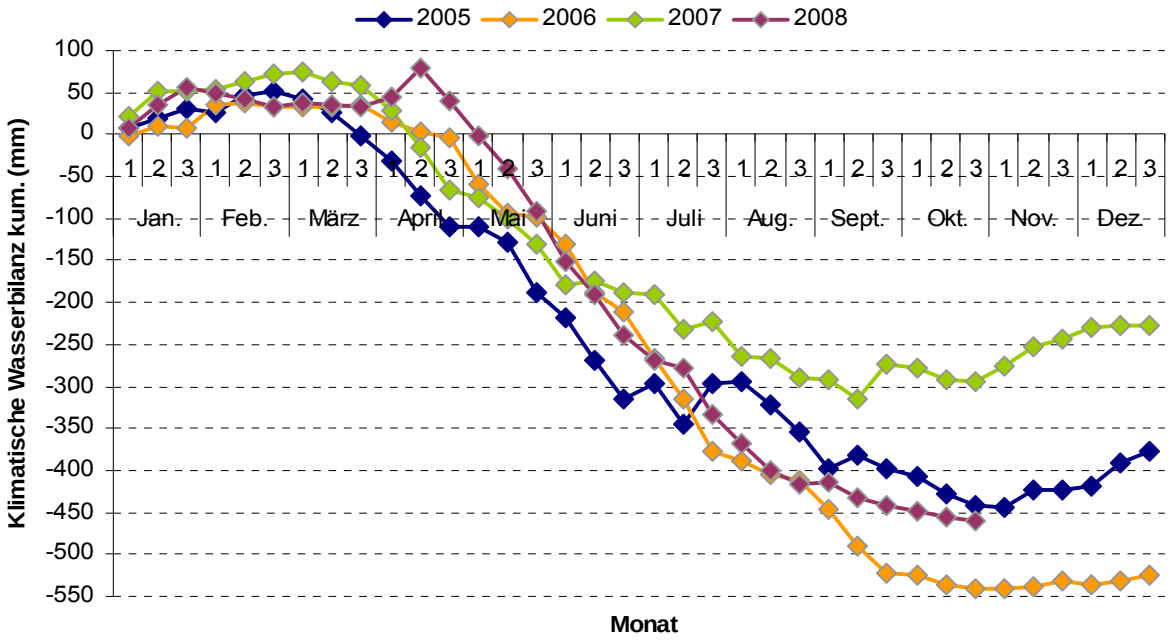


Abbildung 1: KWB der Jahre 2005 bis 2008 am Standort Dornburg.

2.3 Versuchsdurchführung

2005 wurde am Standort Dornburg ein Fruchtfolgeversuch mit acht Fruchtfolgen und zwei Bodenbearbeitungsvarianten angelegt (A I). Als Versuchsanlage wurde eine zweifaktorielle Spaltanlage mit unvollständigen Blöcken gewählt (Anlage 1). Haupteinheiten sind die beiden Bodenbearbeitungsvarianten (konventionell, minimal), welche den ersten Prüfungsfaktor darstellen. Untereinheiten sind die unterschiedlichen Fruchtfolgen, die den zweiten Prüffaktor bilden. Diese Kleinteilstücke sind in vier Wiederholungen unterteilt.

Tabelle 2: Fruchtfolgen am Standort Dornburg

AI / AII	1	2	3	4	5	6	7	8
2005/2006	Sommergerste (GPS) / Ölrettich (SZF)	Sudangras / WZF Futterroggen	Mais / WZF Futterroggen	SG + US Luzerne o. Kleegras	Hafersorten-mischung (GPS)	Hafer (GPS)	Energiemais	Topinamburkraut
2006/2007	Mais (HF)	Mais (ZF)	Sudangras (ZF)	Luzerne o. Kleegras	Wintertritcale (GPS)	Artenmischung WT/WW/WG (GPS)	Energiemais	Topinamburkraut
2007/2008	Wintertriticale (GPS) / SZF Zuckerhirse	Wintertriticale (Korn)	Wintertriticale (GPS) / einj. Weidelgras	Luzerne o. Kleegras	Winterraps (Korn)	Winterraps (Korn)	Energiemais	Topinamburkraut/-knolle
2008/2009	Winterweizen	Winterweizen	Winterweizen	Winterweizen	Winterweizen	Winterweizen	Winterweizen	Winterweizen

Die Aussaat der einzelnen Fruchtarten erfolgte soweit möglich zu ortsüblichen Terminen. Die Sortenwahl wurde unter Berücksichtigung der Standorteigenschaften und dem kulturabhängigen Sortenspektrum vorgenommen (Anhang 2 Sorten und Saatstärken der einzelnen Kulturen). Die Stickstoffdüngung erfolgte unter Berücksichtigung des aktuellen N_{min}-Gehaltes kulturartenspezifisch nach der SBA-Methode[1]. Als Stickstoffdünger wurde hauptsächlich

[1] SBA-Methode- Stickstoffbedarfsanalyse, Düngung in Thüringen 2007 nach „Guter fachlicher Praxis“

Kalkammonsalpeter (KAS 27% N) eingesetzt. Teilweise erfolgte der Einsatz von Ammonsulfatsalpeter (ASS) zu Raps bzw. zu Wintertriticale. Die Phosphor- und Kaliumdüngung wurde entsprechend der Gehaltsklassen zu Versuchsbeginn vorgenommen. Aufgrund der hohen K-Entzüge der Ganzpflanze wurde im dritten Versuchsjahr (2007) eine am Entzug orientierte und die aktuelle Bodengehaltsklasse berücksichtigende Grunddüngung mit Phosphor und Kalium durchgeführt (Anhang 3 Übersicht zu den agrotechnischen Maßnahmen).

In Abhängigkeit von der Kultur und dem Überschreiten von Schadschwellen erfolgte der Einsatz von Pflanzenschutzmitteln unter Berücksichtigung der guten fachlichen Praxis. Ein hoher Aufwand bestand bei Winterraps, wohingegen der Aufwand bei Getreide als mittel einzustufen war. Kein Pflanzenschutzmitteleinsatz erfolgte bei Topinambur, Ölrettich und einjährigem Weidelgras.

Bei der Wahl des Erntetermins wurden zum einen das BBCH-Stadium und zum anderen der Trockensubstanzgehalt berücksichtigt. Für die Ernte der Parzellen konnte auf unterschiedliche Technik zurückgegriffen werden. So kam der Mährdrescher bei den Druschfrüchten zum Einsatz. Die Pflanzen zur Nutzung als Ganzpflanze, wie Mais und Hirsen wurden, mit dem Häcksler geerntet und Grünschnittroggen, Luzernegras, einjähriges Weidelgras mit dem Futterernter.

Während des gesamten Versuchszeitraumes wurden im Pflanzenbestand umfangreiche Bonituren durchgeführt. So wurde zur Charakterisierung des Biomassezuwachses die Bestandeshöhe gemessen und Biomasseschnitte mit anschließender Ertragsermittlung vorgenommen. Regelmäßige Unkrautbonituren und Abschätzungen des Bedeckungsgrades sollen dazu beitragen, die Entwicklung der Beikrautflora in den unterschiedlichen Fruchtfolgen zu beobachten.

An den Ernteproben wurden die Makro- und Mikronährstoffe analysiert sowie die erweiterte Weender Analyse durchgeführt. Mit Hilfe der gewonnenen Ergebnisse ist es möglich, zum einen den Nährstoffentzug der einzelnen Kulturen zu ermitteln und zum anderen die theoretische Biogas- und Methangasausbeute zu berechnen.

2.4 Berechnungsgrundlagen

2.4.1 Nährstoffbilanz (N, P, K)

Eine Nährstoffbilanz ist ein Instrument für die nachhaltige Landbewirtschaftung und gilt als Indikator für die Erhaltung der Bodenfruchtbarkeit in einem Agrarökosystem. Sie errechnet sich aus der Nährstoffzufuhr abzüglich der Nährstoffabfuhr. Die Nährstoffzufuhr erfolgt durch mineralische und organische Düngung sowie durch die Fixierung des Luftstickstoffs durch Leguminosen. Die Nährstoffabfuhr erfolgt durch den Nährstoffentzug des Pflanzenbestandes, Nährstoffauswaschung und volatile Verluste.

Nicht bilanziert werden atmosphärische Deposition, NO_3-Auswaschung und N_2-Bindung durch frei lebende Bakterien. Nährstoffe, die in Pflanzenresten auf der Fläche verbleiben, werden ebenfalls nicht bilanziert. Hierzu gehören z. B. Mulch, Gründüngung, Strohdüngung bei Druschfrüchten und Wurzeln (Heß und Zorn, 2008).

Für die Nährstoffbilanz ergibt sich somit folgenden Formel:

Zufuhr	Mineralische Düngung
	N_2-Fixierung*
Abfuhr	Nährstoffentzug
Saldo	**Zufuhr – Abfuhr**

* nur bei N-Bilanz

2.4.2 Humusbilanz

Mit der Humusbilanz soll die Veränderung der Humusvorräte abgeschätzt werden, welche durch die jeweiligen Kulturpflanzen, deren Fruchtfolge und die Zufuhr von organischen Materialien verursacht werden. Durch die angebauten Pflanzen wird in unterschiedlicher Art und Weise der Zuwachs bzw. Verlust an Humus im Boden beeinflusst. Aus der Menge und Qualität der zugeführten Ernterückstände sowie organischer Dünger lässt sich deren unterschiedliche Fähigkeit zur Humusreproduktion ermitteln. Somit ergibt sich der Humussaldo aus der Zufuhr organischer Dünger (Ernterückstände, Stallmist, Gülle, Kompost) und der anbauspezifischen Veränderung des Humusvorrates (Humusbedarf). Die Berechnung der Humusbilanz erfolgte nach Cross Compliance, wobei bei dieser Methode zur Quantifizierung der Humusersatzleistung auf die unteren Werte der Humusäquivalente (kg Humus-C ha^{1-}) aus der VDLUFA-Methode zurückgegriffen wird. Zu beachten ist, dass der Humusbilanzsaldo im Bereich zwischen -75 kg und +125 kg Humus-C/ha/Jahr liegen sollte bzw. den Wert von -75 kg Humus C/kg/Jahr im dreijährigen Durchschnitt nicht unterschreiten darf (Zorn et al, 2007).

2.4.3 Theoretische Biogas- und Methangasausbeute

Zur Ernte wurden bei allen Kulturen repräsentative Proben zur Bestimmung der Trockensubstanz und zur Inhaltsstoffanalyse entnommen. Über die Inhaltsstoffe (Rohasche, Rohfett, Rohprotein, Rohfaser, N-freie Extraktstoffe) und die Trockenmasseerträge wurde mittels Schätzformel die theoretische Biogas- und Methangasausbeute (je kg oTM) berechnet (FNR, 2007). Hierfür wurden für jede Kultur die Verdaulichkeitsquotienten der relevanten Inhaltsstoffe in Abhängigkeit vom Entwicklungsstadium herangezogen (DLG, 1997). Für Kulturen, bei denen keine Verdaulichkeitsquotienten aus der Literatur hervorgehen (z.B. Sudangras), wurden die Verdaulichkeiten ähnlicher Kulturarten herangezogen (Futterhirse). Fehlten zu den entsprechenden Entwicklungsstadien die Werte, wurden frühere Reifestadien der Kulturen einbezogen. Als Verdaulichkeitsquotient für Wintertriticale wurden die gemittelten Werte von Weizen und Roggen verwendet.

2.4.4 Statistik

Die statistische Analyse der Versuche erfolgte mit den Software Programmen SPSS (Munzert, 1992; Bühl und Zöfel, 2002). Die zu überprüfenden Gruppen wurden auf Normalverteilung mit dem Kolmogoroff-Smirnov-Test ($p < 0,05$) getestet. Um signifikante Differenzen zwischen den einzelnen Datengruppen der Fruchtfolge 1 festzustellen, kam eine einfaktorielle ANOVA mit Post Hoc LSD zur Anwendung. Die Signifikanz der Fruchtfolgen innerhalb des Versuches wurde mit einer einfaktoriellen ANOVA mit Post Hoc LSD und Dunett überprüft. Als signifikant verschieden wurden Datensätze angesehen, wenn $p \leq 0,05$ war.

3 Ergebnisse und Diskussion

3.1 Frischmasse- und Trockenmasseerträge

Die dargestellten Ergebnisse beziehen sich auf den Versuchszeitraum 2005 - 2008, wobei der Winterweizenertrag im Kapitel 3.2 gesondert betrachtet wird, um eventuell auftretende Fruchtfolgeeffekte besser bewerten zu können. In die Ertragsdarstellung fließt die oberirdische Biomasse ein, welche für die Biogaserzeugung relevant ist, Rapskorn und die Sommerzwischenfrucht Ölrettich, da ursprünglich eine Nutzung als Biogassubstrat geplant war. Das Getreidestroh und Rapsstroh werden gesondert betrachtet, da bei der Nährstoffbilanzierung das Stroh nicht mit bilanziert wird, sondern auf der Fläche verbleibt. Auf den Frischmasseertrag wird an dieser Stelle nicht eingegangen, die Zahlen können dem Anhang entnommen werden (Anhang 4). Zwischen den Datensätzen der Fruchtfolge 1 lagen keine signifikanten Ertragsunterschiede vor.

Erträge der einzelnen Fruchtarten

Energiemais erreichte 2007 den höchsten TS-Ertrag mit 230 dt TM/ha bei konventioneller und 217 dt TM/ha bei minimaler Bodenbearbeitung. Den geringsten TS-Ertrag lieferte Ölrettich in der Fruchtfolge 1 mit 16 dt TM/ha (konventionell) und 20 dt TM/ha (minimal). Hohe Erträge erzielten in Hauptfruchtstellung Sudangras (Fruchtfolge 2) mit 176[2] dt TM/ha und 163[3] dt TM/ha sowie Mais (Fruchtfolge 3) mit 164 dt TM/ha und 164 dt TM/ha. Die Ertragsdifferenz zwischen Hauptfrucht- und Zweitfruchtmais lag bei ca. 30 %. Bei Sudangras betrug die Ertragsdifferenz über 50 %. Bei den Ganzpflanzengetreidearten erreichte die Artenmischung mit Wintergerste, Wintertriticale und Winterweizen (Fruchtfolge 6; 147 dt TM/ha vs. 131 dt TM/ha) neben Wintertriticale den höchsten Ertrag. Als Zwischenfrüchte wurden im Versuch Futterroggen, Zuckerhirse und einjähriges Weidelgras angebaut. Die Winterzwischenfrucht Futterroggen erreichte Erträge zwischen 54 dt TM/ha und 67 dt TM/ha. Der Ertrag des Futterroggen war mit der Vorfrucht Mais (Fruchtfolge 3) ca. 10 % (konventionell) bzw. 19 % (minimal) geringer als bei der Vorfrucht Sudangras. Die WZF Futterroggen erreichte in den Fruchtfolgen 2 und 3 maximal 50 % des Ganzpflanzenertrages von Wintertriticale. Der Kornertrag von Wintertriticale lag bei ca. 78 dt TM/ha. Die Sommerzwischenfrucht Zuckerhirse erreichte Erträge auf dem Niveau der WZF Futterroggen (57 dt TM/ha vs. 65 dt TM/ha). Das einjährige Weidelgras liegt dagegen mit 36 dt TM/ha bzw. 38 dt TM/ha deutlich unter der Zuckerhirse und dem Futterroggen. Die Sommergetreidearten (Sommergerste, Hafer) lagen im Ertrag deutlich hinter den Wintergetreidearten (Wintertriticale und Artenmischung). Winterraps erreichte standorttypische Kornerträge, jedoch ergibt sich zwischen Fruchtfolge 5 und 6 eine Ertragsdifferenz von 5 dt TM/ha für beide Bodenbearbeitungsvarianten.

Beim mehrjährigen Mais- bzw. Topinamburanbau sind deutliche Ertragsschwankungen innerhalb der Versuchsjahre zu erkennen. Den Maximalertrag erreichten beide Kulturen 2007.

[2] Konventionelle Bodenbearbeitung
[3] Minimalbodenbearbeitung

Signifikante Ertragsunterschiede zwischen den beiden Bodenbearbeitungsvarianten traten bei Ölrettich, Wintertriticale, Zuckerhirse (Fruchtfolge 1) und Energiemais (Fruchtfolge 7) auf. Alle anderen Fruchtarten zeigten keine signifikanten Ertragsunterschiede im Hinblick auf die Bodenbearbeitungsvariante (Anhang 5 Erträge der einzelnen Fruchtarten).

Gesamttrockenmasseerträge der Fruchtfolgen

In Abbildung 2 und 3 sind die Trockenmasseerträge der Fruchtfolgen bei konventioneller Bodenbearbeitung und minimaler Bodenbearbeitung dargestellt. Den höchsten Gesamttrockenmasseertrag über die Versuchsjahre erreichte Fruchtfolge 7 (522 dt TM/ha vs. 523 dt TM/ha), dicht gefolgt von der Fruchtfolge 3 mit 488 dt TM/ha bzw. 473 dt TM/ha. Wird bei Topinambur nur die oberirdische Biomasse betrachtet, so erreichte dieser einen Gesamtertrag von 473 dt TM/ha und liegt knapp hinter der Fruchtfolge 3. Bei den Fruchtfolgen 1 und 2 liegt der Energiepflanzenanteil bei 67 % bzw. 60 %. Mit der Fruchtfolge 1 wurde ein Gesamtertrag von 450 dt TM/ha bzw. 484 dt TM/ha erzielt, wohingegen die Erträge der Fruchtfolge 2 bei 431 dt TM/ha bzw. 420 dt TM/ha lagen. Deutlich geringere Erträge erreichten die Fruchtfolgen 5 und 6 mit 264 dt TM/ha und 241 dt TM/ha. Bei den beiden Fruchtfolgen handelt es sich um Getreide-Raps-Fruchtfolgen, wohingegen in den Fruchtfolgen 1, 2 und 3 C_3- und C_4-Pflanzen mit unterschiedlichen Anteilen kombiniert wurden.

Der Vergleich der Fruchtfolgen innerhalb der Bodenbearbeitungsvarianten verdeutlicht, dass sich bei der konventionellen Bodenbearbeitung die Fruchtfolgen 4, 5 und 6 nicht signifikant voneinander unterscheiden (Abbildung 2). Alle anderen Fruchtfolgen lagen im Ertrag deutlich darüber. Bei der Minimalbodenbearbeitungsvariante hatten die Fruchtfolgen 5 und 6 ebenfalls die gleichen Erträge (Abbildung 3).

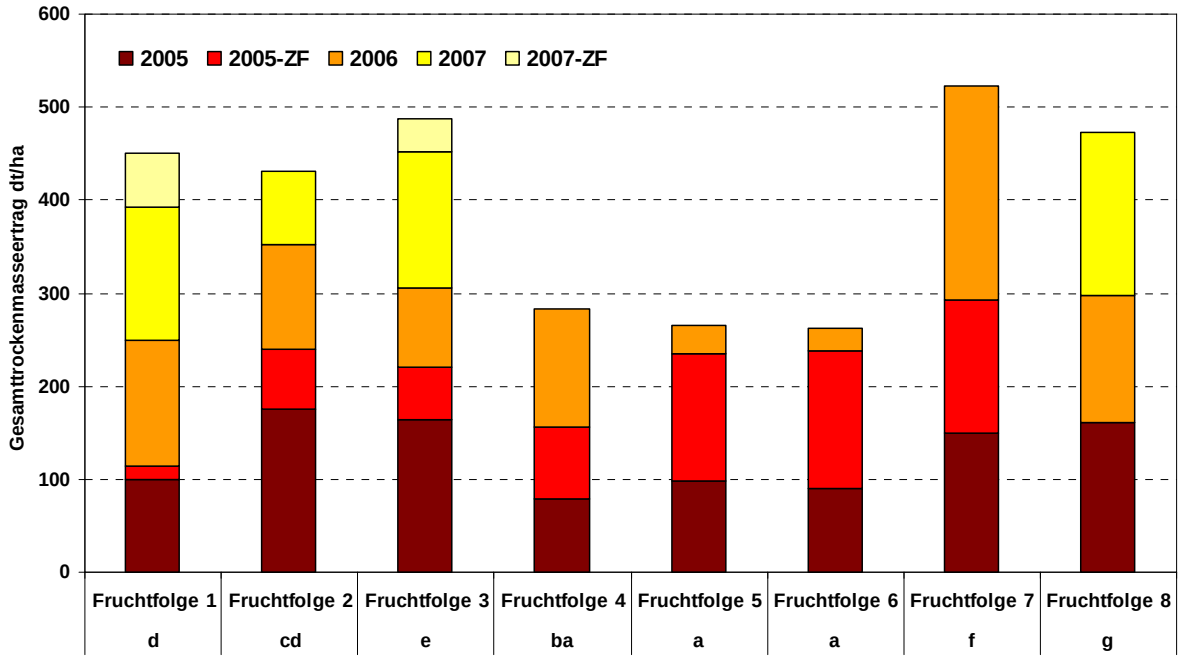


Abbildung 2: Aufsummierte Erträge der einzelnen Fruchtfolgen Anlage I (05) konventionelle Bodenbearbeitung, dargestellt sind die arithmetischen Mittelwerte mit n=4, die Zeichen a-g bezeichnen signifikante Unterschiede.

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

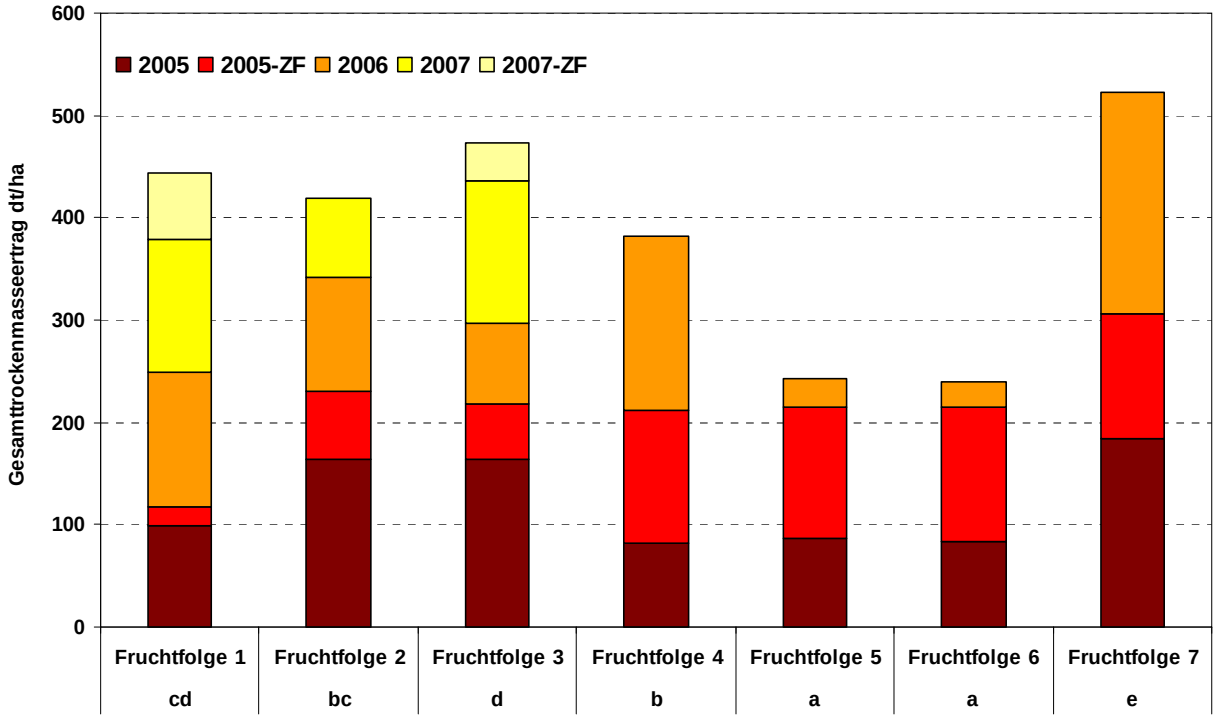


Abbildung 3: Aufsummierte Erträge der einzelnen Fruchtfolgen Anlage I (05) minimale Bodenbearbeitung, dargestellt sind die arithmetischen Mittelwerte mit n=4, die Zeichen a-g bezeichnen signifikante Unterschiede.

3.2 Winterweizenerträge

In Abbildung 4 ist der Kornertrag von Winterweizen gegliedert nach den Fruchtfolgen und Bodenbearbeitungsvarianten dargestellt (umgerechnet auf 14 % Feuchte). Es wird ein deutlicher Einfluss der Vorfrucht auf den Weizenertrag ersichtlich. In den Fruchtfolgen 5, 6 und 7 wurde bei konventioneller Bodenbearbeitung ein durchschnittlicher Ertrag von 114 dt /ha erzielt. Dicht gefolgt von der Fruchtfolge 3 mit 102 dt/ha und der Fruchtfolge 8 mit 100 dt/ha. In der Fruchtfolge 8 wurde, trotz des hohen Durchwuchses an Topinambur, ein für den Standort repräsentativer Ertrag erzielt. Deutlich niedriger sind die Erträge bei den Fruchtfolgen 1, 2 und 4 ausgefallen. Im Durchschnitt wurde hier ein Ertrag von 84 dt/ha erzielt. Die Bestände sind schneller abgereift und in der Fruchtfolge 2 ist davon auszugehen, dass von Wintertriticale (Korn) eine Krankheitsübertragung (Ährenfusarium) auf den Weizen stattgefunden hat. Bei der Minimalbodenbearbeitung wurden insgesamt betrachtet geringere Kornerträge erzielt. Besonders deutlich wird dies bei der Fruchtfolge 2 (70 dt/ha), aber auch bei den Fruchtfolgen 6 (107 dt/ha) und 7 (96 dt/ha).

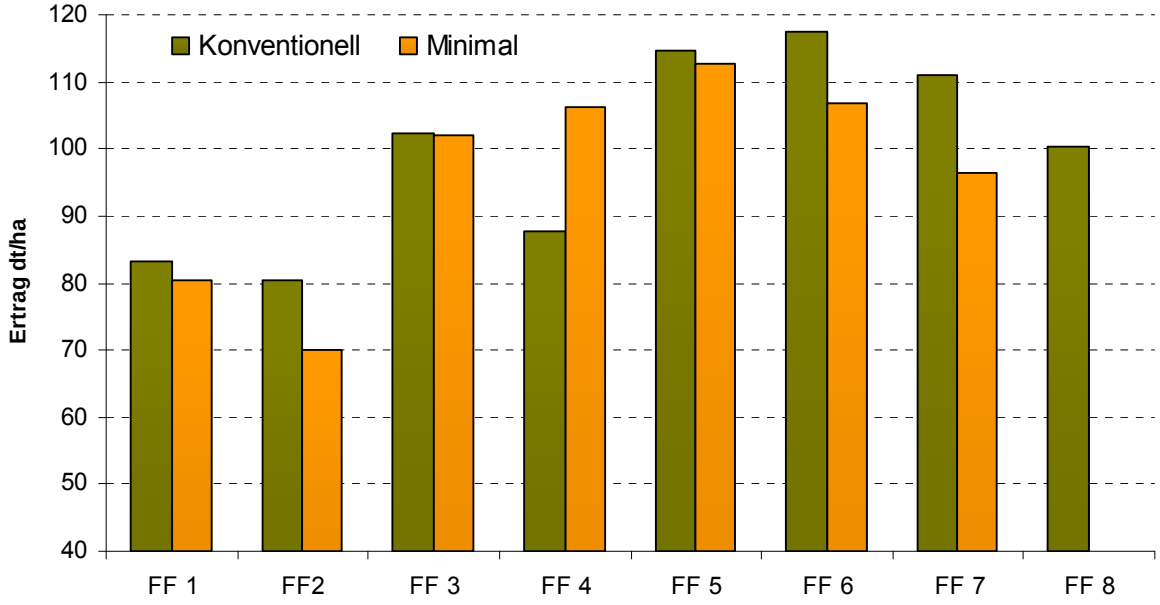


Abbildung 4: Kornertrag Winterweizen in Abhängigkeit von der Fruchtfolge und Bodenbearbeitung, dargestellt ist das arithmetische Mittel n=4.

3.3 Nährstoffbilanz

Die Ergebnisse der Nährstoffbilanzen sind in den Abbildungen 5 bis 7 dargestellt. Oberhalb der Nulllinie sind die Werte dargestellt, welche mit der Düngung zugeführt wurden. Unterhalb der Nulllinie ist der jeweilige Nährstoffentzug einer Fruchtfolge durch das Erntegut aufgetragen. Die Differenz beider Werte bildet den Saldo. Die N_2-Fixierung bei der Sommergerste mit Untersaat Luzernegras wurde bei der konventionellen Bodenbearbeitung nicht mit berücksichtigt, da der Anteil an Luzerne an der Mischung teilweise nur 10 % betrug.

Stickstoffbilanz

Der Stickstoffentzug ist bei den einzelnen Fruchtarten unterschiedlich ausgefallen. Bei der Betrachtung der einzelnen Kulturen wird deutlich, dass der größte N-Entzug bei Mais in der Fruchtfolge 7 mit 233 kg N/ha erreicht wurde. Danach folgt Topinambur mit einem durchschnittlichen Entzug von 170 kg N/ha. Den geringsten Entzug hatten Ölrettich und einjähriges Weidelgras mit 48 bzw. 41 kg N/ha. Bei Mais und Sudangras in Hauptfruchtstellung (Fruchtfolge 2 und 3) lagen die N-Entzüge zwischen 180 und 212 kg N/ha. In Zweitfruchtstellung entzogen Mais und Sudangras ca. 30 % weniger Stickstoff. Von den Getreidearten lag der N-Entzug bei Wintertriticale (Korn) in den Fruchtfolgen bei durchschnittlich 161 kg N/ha. Der N-Entzug der Ganzpflanze unterschied sich nicht vom N-Entzug der Körner. Die restlichen Getreidearten folgen im geringen Abstand. Der Winterraps entzog durch die Abfuhr der Körner mit 100 kg N/ha eine ähnliche Menge an Stickstoff wie die anderen Getreidearten aus der Fruchtfolge 5 und 6. Bei der Zuckerhirse lag der Entzug bei 85 kg N/ha.

Die höchste N-Zufuhr (Abbildung 5) erfolgte über die Jahre bei der Fruchtfolge 3 (sudangras-mais-betont) mit 758 kg N/ha bzw. 765 kg N/ha. Die Getreide-Raps-Fruchtfolgen 5 und 6, der dreijährige Maisanbau (Fruchtfolge 7) und der dreijährige Topinamburanbau (Fruchtfolge 8) befinden sich bei der N-Düngung auf einem ähnlichen Niveau zwischen 400 und 565 kg N/ha. Deutlich darüber liegt die Stickstoffdüngung bei den Fruchtfolgen 1 und 2 mit 608 bzw. 656 kg N/ha.

Bei der Düngebedarfermittlung wurde der pflanzenverfügbare Stickstoff im Boden mit berücksichtigt. Der N_{min}-Gehalt lag zu Beginn des Versuches (2005) bei 41 kg N/ha. Die N-Bilanz ist für die Fruchtfolgen überwiegend negativ. Vor allem in der Fruchtfolge 4 bei konventioneller Bodenbearbeitung (-411 kg N/ha), gefolgt von dem dreijährigen Maisanbau mit (-328 kg N/ha / -287 kg N/ha) und dem dreijährigen Topinamburanbau (-439 kg N/ha).

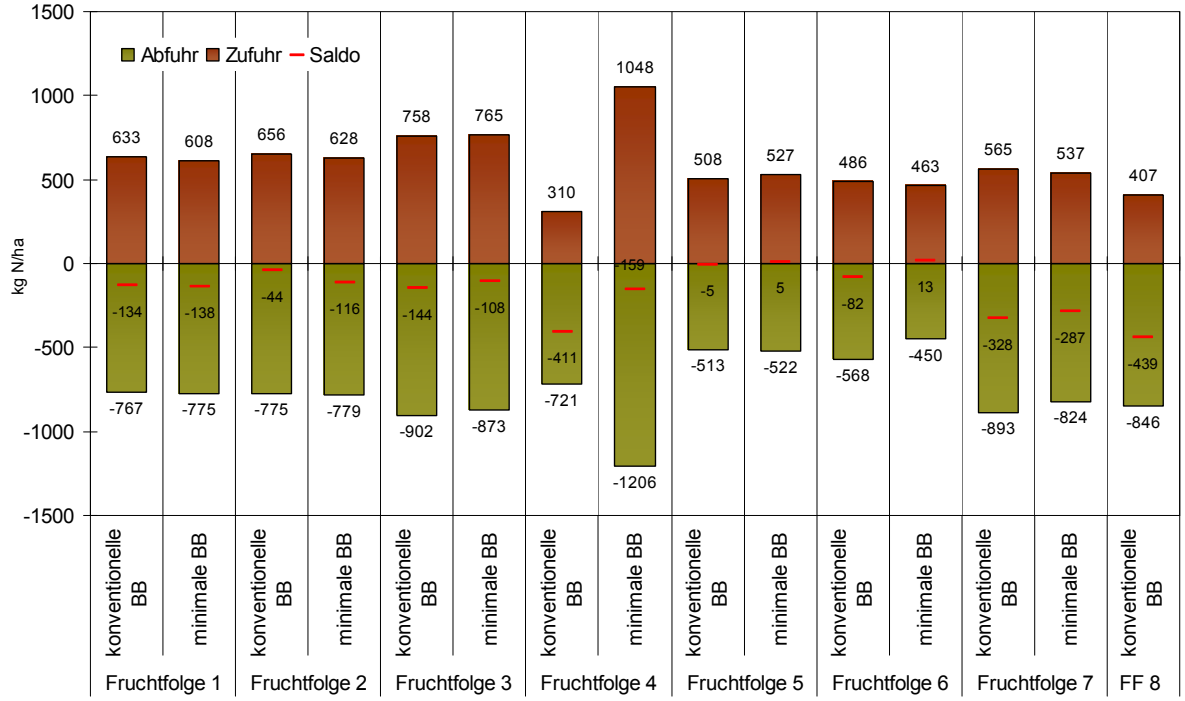


Abbildung 5: Stickstoffbilanz der einzelnen Fruchtfolgen summiert über die Jahre 2005 bis 2008, Anlage I, Vergleich konventioneller zu minimaler Bodenbearbeitung. Bei der Fruchtfolge 4 - minimale Bodenbearbeitung ist die N_2-Fixierung der Luzerne als Zufuhr mit dargestellt.

N-Verwertung der Fruchtfolgen

Die Stickstoffverwertung wird als Quotient zwischen kumuliertem Trockenmasseertrag und kumulierter N-Düngung dargestellt (Tabelle 2). Es wurden Werte zwischen 0,36 dt TM/kg N und 1,16 dt TM/kg N ermittelt. Anhand der Werte wird ersichtlich, dass die N-Verwertung als Bewertungsparameter nur eingeschränkt interpretierbar ist, da z. B. bei der Fruchtfolge 4 eine hohe Stickstoffverwertung berechnet wurde, obwohl der Ertrag bei hoher N-Düngung relativ niedrig ausgefallen ist.

Tabelle 2: Stickstoffverwertung der Fruchtfolgen

Fruchtfolge	Bodenbe-arbeitung	1	2	3	4	5	6	7	8
TM-Ertrag	Pflug	450	431	488	290	265	262	522	473
(dt TM/ha)	Minimal	445	419	472	382	242	239	523	
Düngung	Pflug	633	656	758	310	508	486	565	407
(kg N/ha)	Minimal	608	628	765	1048	527	463	537	
Stickstoff-Verwertung	Pflug	0,71	0,66	0,64	0,94	0,52	0,54	0,92	1,16
(dt TM/kg) N)	Minimal	0,73	0,67	0,62	0,36	0,46	0,52	0,97	

Phosphorbilanz

Die P-Zufuhr lag bei den einzelnen Fruchtarten zu Versuchsbeginn bei (2005) bei 40 kg P/ha. Im Versuchsjahr 2007 wurde entsprechend der Bodenuntersuchung nochmals eine P-Düngung vorgenommen, welche im Bereich von 18-31 kg P/ha lag. Die geringste P-Zufuhr erfolgte bei der Sommergerste mit Untersaat Luzernegras (FF 4) und beim dreijährigen Topinamburanbau. Die Fruchtfolgen 1 (getreide-mais betont) bzw. die Fruchtfolgen 5, 6 (getreide-raps-betont) und 7 befinden sich auf einem ähnlichen Niveau. Hier wurden zwischen 60 kg P/ha und 79 kg P/ha gedüngt. Die P-Bilanz fällt durchweg negativ aus. Den höchsten Saldo erreichten der dreijährige Topinamburanbau (FF 8) und die sudangras-mais betonte Fruchtfolge 3. Pro Jahr macht dies durchschnittlich einen Wert von -29 kg P/ha bzw. -28 kg P/ha aus. Bei dem dreijährigen Maisanbau liegt der Saldo bei -95 kg P/ha bzw. -77 kg P/ha und ist vergleichbar mit den getreide-mais-betonten Fruchtfolgen 1 (-90 kg P/ha / -84 kg P/ha) und 2 (- 85 kg P/ha / -97 kg P/ha) (Abbildung 6).

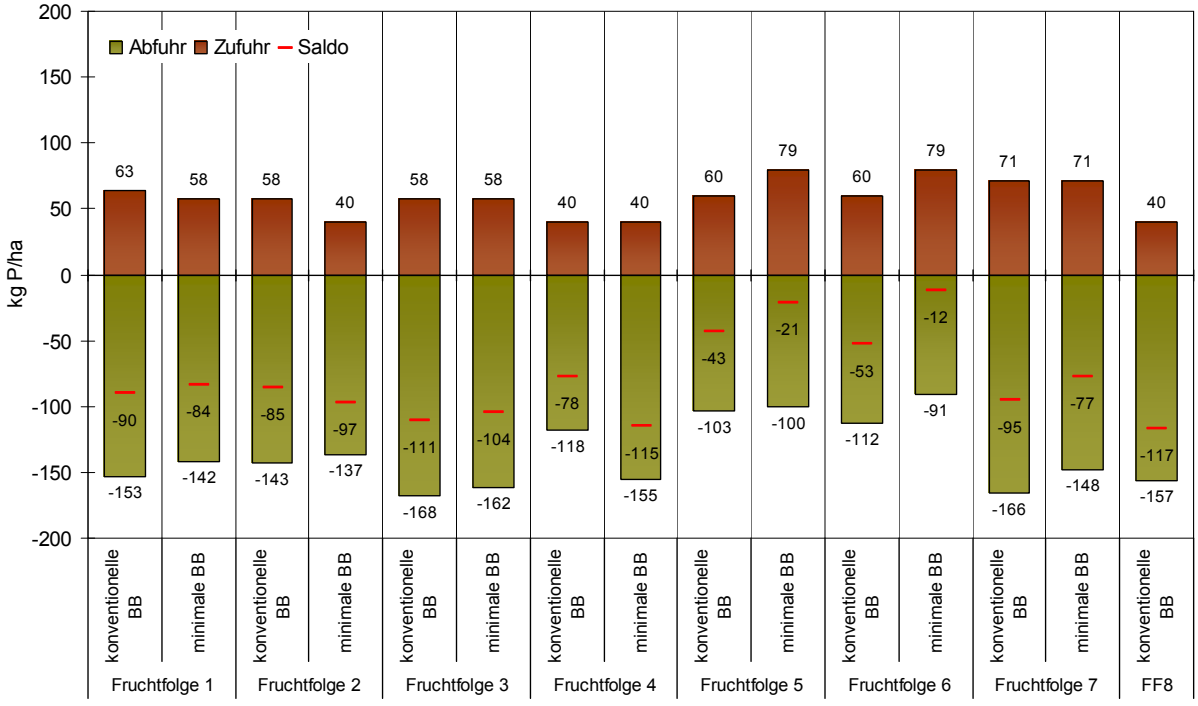


Abbildung 6: Phosphorbilanz der einzelnen Fruchtfolgen summiert über die Jahre 2005 bis 2008, Anlage I, Vergleich konventioneller zu minimaler Bodenbearbeitung.

Kaliumbilanz

Die höchste Kaliumdünung wurde bei Topinambur mit 368 kg K/ha vorgenommen. Darauf folgt der dreijährige Maisanbau mit 314 kg K/ha bzw. 280 kg K/ha. Die getreide-mais-betonten Fruchtfolgen 1 und 2 bzw. die sudangras-mais-betonte Fruchtfolge 3 befinden sich auf einem ähnlichen Niveau. Es wurde zwischen 203 und 223 kg K/ha gedüngt. Die niedrigste Kaliumdüngung erfolgte in der Fruchtfolge 4 mit 65 kg K/ha.

Anhand der Bilanz wird ersichtlich, dass der mehrjährige Topinamburanbau den höchsten negativen Saldo (-1106 kg K/ha) aufweist, gefolgt vom mehrjährigen Luzernegras (minimale Bodenbearbeitung) und der sudangras-mais betonten Fruchtfolge 3 mit -708 kg K/ha (Abbildung 7).

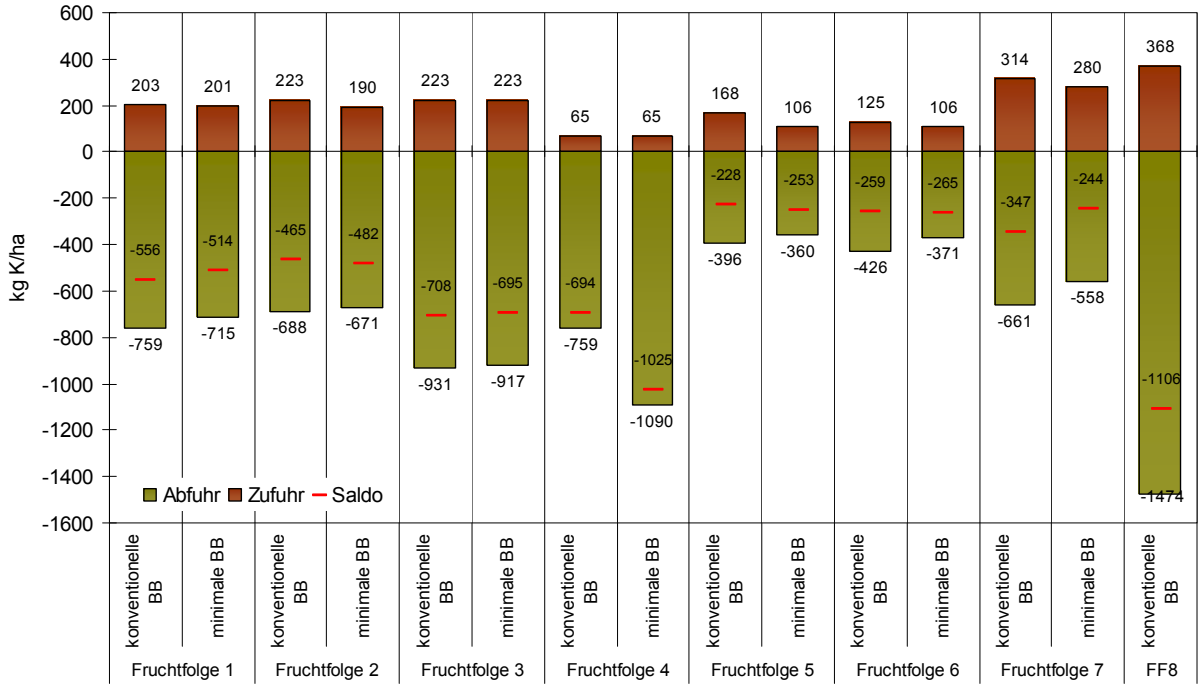


Abbildung 7: Kaliumbilanz der einzelnen Fruchtfolgen summiert über die Jahre 2005 bis 2008, Anlage I, Vergleich konventioneller zu minimaler Bodenbearbeitung.

Fazit:

Eine Nährstoffbilanz ist ein Kontrollinstrument zur Überprüfung der Düngung. Der jeweilige Standort und die Nutzung der Kultur muss dabei berücksichtigt werden. Viele Faktoren, wie gasförmige Ein- und Austräge sowie Nährstoffverlust durch Bodenerosion können dabei oft, wie in diesem Versuch, nicht berücksichtigt werden. Bei der Düngung muss beachtet werden, dass nicht nur der Düngebedarf des Erntegutes gedeckt werden soll, sondern auch der nicht verwertbaren Pflanzenteile, die nach der Ernte auf dem Feld verbleiben (SCHUMANN ET AL. 1997).

Bei einer Stickstoffbilanz darf der zulässige N-Saldo für das 3-jährige Mittel einen Wert von 90 kg N/ha von 2006 bis 2008 nicht überschritten werden (HEß, ZORN 2008). Es wird vermutet, dass ohne Überschreiten dieses Wertes Ausbringungszeitpunkt und die Ausbringungsmenge so gewählt wurden, dass verfügbar oder verfügbar werdende Nährstoffe den Pflanzen weitest möglich zeitgerecht in einer dem Nährstoffbedarf der Pflanzen entsprechenden Menge zur Verfügung stehen. Der Nährstoffbedarf einer Kulturpflanze ist die Nährstoffmenge, die zur Erzielung eines bestimmten Ertrages oder Qualität notwendig ist. Bei diesen Versuchsergebnissen lag kein N-Saldo über dem kritischen Wert von 90 kg N/ha*a.

Am Versuchsstandort Dornburg wurden in den vier Versuchsjahren standortsspezifische Erträge erreicht. Eine N-Düngung nach Entzug konnte mit dem SBA-Sollwertprinzip gewährleistet werden. Topinambur war die einzige Fruchtart, bei der der N-Sollwert zu niedrig angesetzt wurde. Der N-Entzug von Topinambur wurde unterschätzt.

Der P-Saldo darf im sechsjährigen Mittel nicht 8,7 kg P/ha*a überschreiten. In dem betrachteten Versuch war dies nicht der Fall. Zu Beginn des Versuches 2005 befanden sich alle Prüfglieder in der Gehaltsklasse D und somit lag ein hoher Gehalt an pflanzenverfügbarem Phosphat im Boden vor. Eine P-Düngung wirkt sich in Gehaltsklasse D nicht auf den Ertrag aus (KERSCHBERGER, FRANKE 2001). Anzustreben ist die Gehaltsklasse C, bei der eine P-Düngung im Bereich des P-Entzugs empfohlen wird. Durch eine verminderte P-Düngung in Gehaltsklasse D soll der P-Gehalt langsam sinken. Der Düngungsabschlag liegt bei 4 - 8 kg P/ha. Bei den meisten Prüfgliedern blieb die Gehaltsklasse trotz negativer Salden weitgehend unverändert. Insgesamt sind abnehmende P-Gehalte im Boden zu beobachten.

Bei Kalium befanden sich die meisten Prüfglieder 2005 in der Gehaltsklasse D. Das Gehaltsklassenprinzip für Kalium ähnelt dem für Phosphor. Auch hier ist die Gehaltsklasse C anzustreben. Bei der vorherrschenden Bodenart ist ein Düngungsabschlag von 40-80 kg/ha bei Gehaltsklasse D vorgesehen. Bei Gehaltsklasse C wird eine Düngung nach Entzug empfohlen.

In allen Fruchtfolgen waren die K-Salden negativ. Folglich nahmen die K-Gehalte im Boden und damit auch die Gehaltsklassen ab, so dass im Versuchsjahr 2007 eine Düngung nach Entzug erfolgte. Bei Topinambur ging der K-Gehalt soweit zurück, dass dort die Bodengehaltsklasse B vorlag. Bodengehaltsklasse B bedeutet, dass ein niedriger K-Gehalt im Boden vorliegt und eine erhöhte Düngung gegenüber Gehaltsklasse C stattfinden muss, um den K-Gehalt wieder anzuheben (KERSCHBERGER, FRANKE 2001). Ingesamt konnte festgestellt werden, dass der K-Entzug des Topinamburs und des Luzernegrases unterschätzt wurde. Bei den in Gehaltsklasse C befindlichen Prüfgliedern sollte zukünftig eine Düngung nach Entzug durchgeführt werden.

3.4 Humusbilanz

Die Humusbilanz wurde in Zusammenarbeit mit dem ZALF Müncheberg erarbeitet. Dabei werden zwei Szenarien unterstellt, zum einen die Humusbilanz ohne Rückführung von Gärresten und zum anderen wurde theoretisch angenommen, dass Gärreste in die Fruchtfolge zurückgeführt werden. Bei der Berechnung wurde unterstellt, dass Ölrettich als Gründüngung auf der Fläche verbleibt. Das Getreidestroh (Wintertriticale, Winterweizen) wurde mit einem Reproduktionsfaktor von 100 kg Humus-C pro t Substrat bei 86 % TS in die

Berechnung einbezogen. Die Winterzwischenfrucht Futterroggen wird nach CC positiv bewertet mit 120 kg Humus-C pro ha/Jahr. Eine Trennung zwischen den Nutzungsrichtungen Ganzpflanzengetreide und Korn ist aus methodischen Gründen nicht möglich, deshalb wurde für beide Nutzungsrichtungen ein Wert von -280 kg Humus-C pro ha/Jahr unterstellt.

Zur Bewertung der Humussalden wurde auf den VDLUFA-Standpunkt Tabelle 5 zurückgegriffen. Der ermittelte Saldo spiegelt den Zeitraum von 2005 bis 2008 wider. Über folgende Parameter wurde auf die anfallenden Gärrestmengen geschlossen: Trockenmasseertrag, Silagetrockenmasseertrag und Biogasausbeute. Des Weiteren fließen in die Berechnung 15 % Silierverluste und 15 % Ausbringungsverluste ein.

Für den Fall ohne Rückführung von Gärresten wiesen außer Fruchtfolge 2 (D-hoch) und 4 bei minimaler Bodenbearbeitung alle einen negativen Saldo auf (Abbildung 8/9). Der hohe Saldo in Fruchtfolge 2 ist auf den hohen Stroheintrag von Wintertriticale und Winterweizen zurückzuführen. Beim dreijährigen Topinamburanbau wurde ein sehr niedriger Saldo ermittelt, somit ist mit einer ungünstigen Beeinflussung der Bodenfunktion und Ertragsleistung zu rechnen. Die übrigen Fruchtfolgen wiesen einen niedrigen Saldo (B) auf.

Für den theoretischen Fall der Rückführung von Gärresten ergab sich für alle Fruchtfolgen ein positiver Saldo (Abbildung 8). Die Fruchtfolgen befanden sich alle in der Gruppe D, wobei die Fruchtfolge 2 den höchsten Saldo erreichte, dicht gefolgt von den Fruchtfolgen 3, 4 und 5.

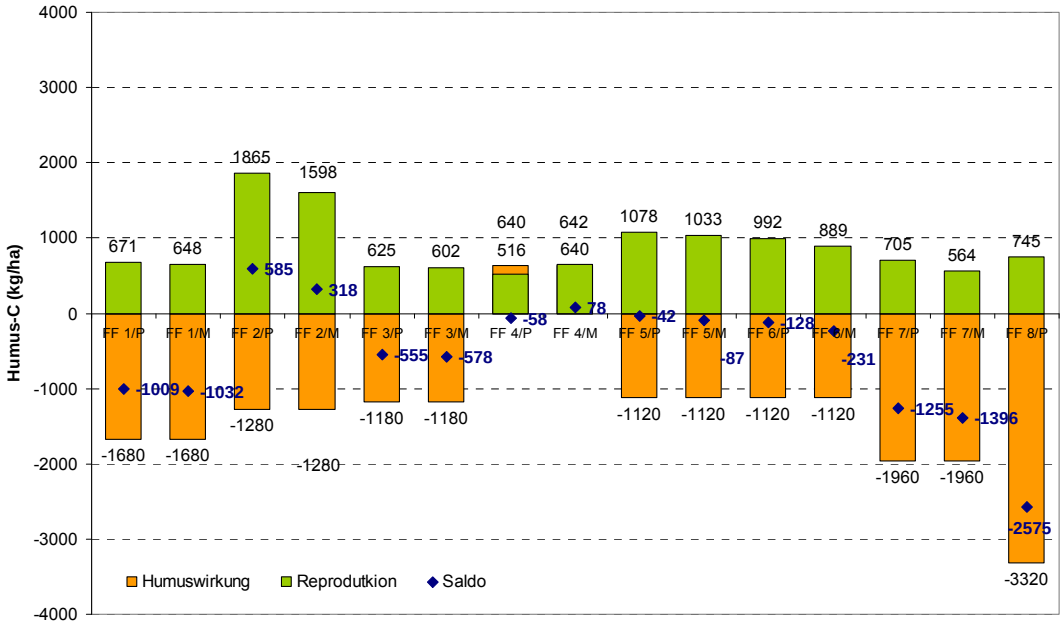


Abbildung 8: Humusbilanz, Anlage I, Vergleich konventionelle (P) und minimale (M) Bodenbearbeitung, 2005 bis 2008 ohne Rückführung des Gärrestes.

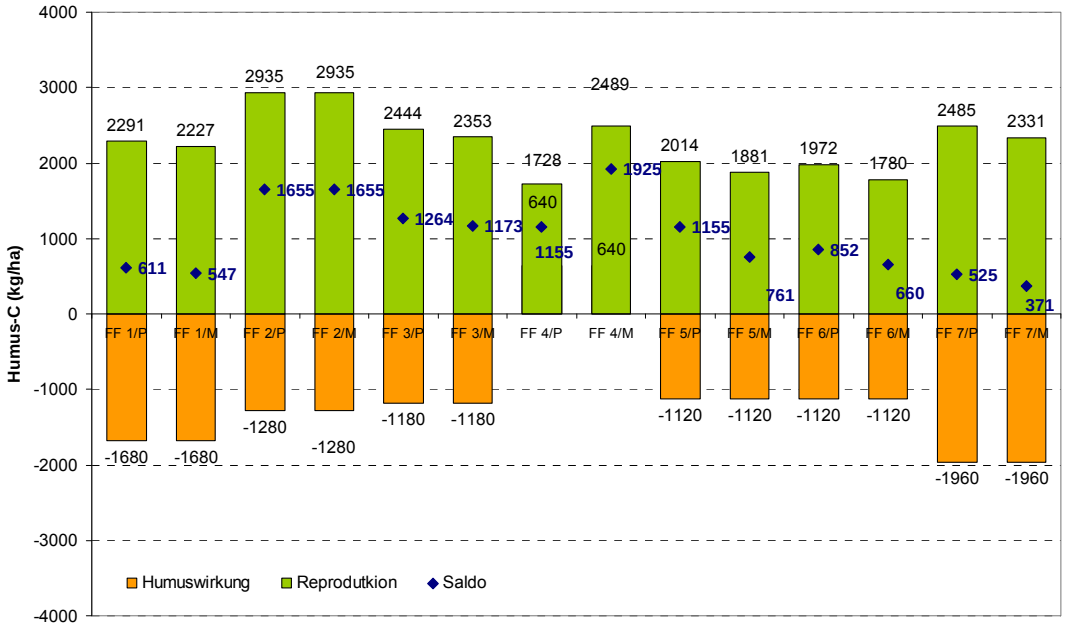


Abbildung 9: Humusbilanz, Anlage I, Vergleich konventionelle (P) und minimale (M) Bodenbearbeitung, 2005 bis 2008 mit Rückführung des Gärrestes.

3.5 Theoretische Biogas- und Methangasausbeute

Zunächst werden die spezifischen Methanerträge in m³/ha der einzelnen Fruchtarten betrachtet. Hierbei wird deutlich, dass zwischen den Fruchtarten erheblich Unterschiede bestehen. Mais erreichte in Hauptfruchtstellung im Durchschnitt den höchsten Methangasertrag pro Hektar (4.499 m³/ha) gefolgt von Sudangras (HF) mit 3.866 m³/ha, der Artenmischung (WW, WT, WG; 3.677 m³/ha) und Wintertriticale mit 3.579 m³/ha. In der Zweitfruchtstellung erreicht der Mais im Vergleich zum Sudangras ebenfalls den höheren Methanertrag pro Hektar (3.180 m³/ha vs. 1.857 m³/ha). Mit den Zwischenfrüchten Futterroggen und Zuckerhirse wurden Methangaserträge von 1.299 m³/ha und 1.875 m³/ha erzielt. Mit den Sommergetreidearten sind im Vergleich zum Wintergetreide geringere Methangaserträge realisiert wurden (2.188 m³/ha vs. 3.628 m³/ha).

Die Berechnung des Methanertrages der einzelnen Fruchtarten bildet die Grundlage für die in Abbildung 10 dargestellten kumulierten Methanerträge der einzelnen Fruchtfolgen. Bei den Fruchtfolgen ist an dieser Stelle wieder das Verhältnis von Fruchtarten zur Biogasnutzung und Kornnutzung zu beachten. Mit den reinen Energiefruchtfolgen 1, 3 und 7 konnten die höchsten Methanerträge, im Bereich von 11.700 m³/ha bis 14.900 m³/ha, realisiert werden. Wesentlich wird diese Fruchtfolgeleistung durch den Maisanbau bestimmt. Auch mit den Fruchtfolgen 2, 4 (Minimalbodenbearbeitung) und 8 (nur oberirdische Biomasse) konnten hohe Methanerträge erwirtschaftet werden. Wobei die Fruchtfolge 2 ein Beispiel dafür ist, dass ein hoher Methanertrag auch bei der Integrierung von Energiepflanzen in Fruchtfolgen zur Marktfruchtproduktion möglich ist. Die Fruchtfolgen 5 und 6 verdeutlichen, dass die Integrierung leistungsschwächerer Energiepflanzen, wie Sommergerste und Hafer, im Vergleich zu Mais und Sudangras in Fruchtfolgen zum Marktfruchtanbau zu einem geringeren Gasertrag führen (Bereich von 5.900 m³/ha bis 7.500 m³/ha).

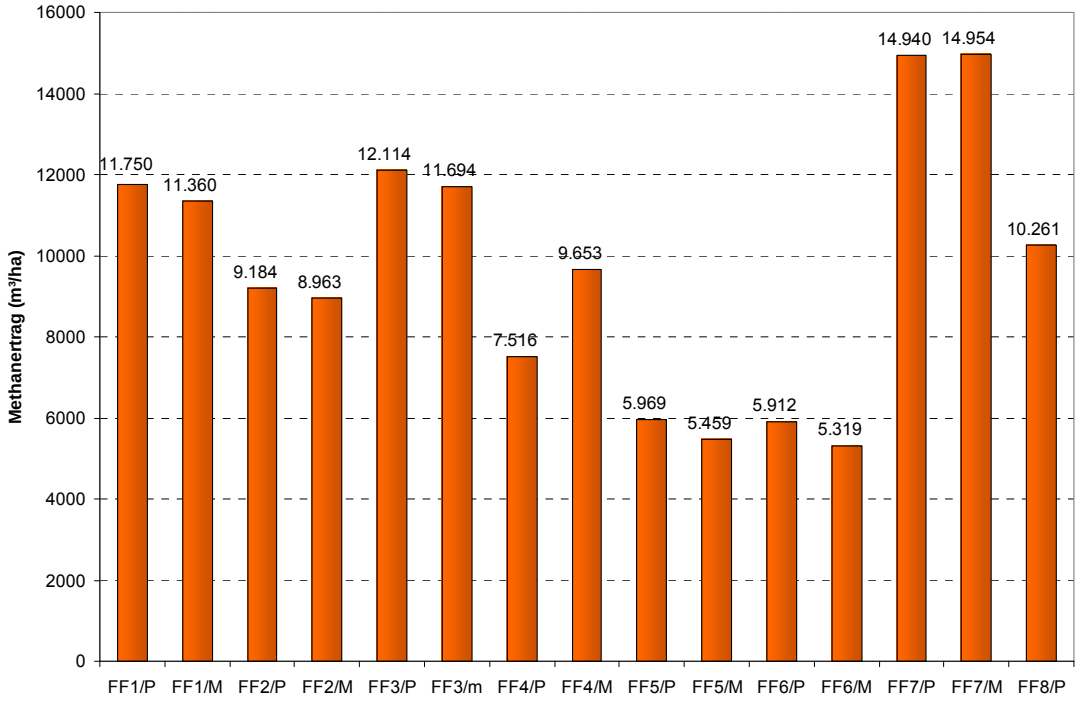


Abbildung 10: Kumulierte Methanerträge der einzelnen Fruchtfolgen, Anlage I, Vergleich konventionelle und minimale Bodenbearbeitung (2005 - 2008)

3.6 Anbauempfehlungen für die Region

Unter der Berücksichtigung ökonomischer und ökologischer Gesichtspunkte können am Standort hohe Erträge erzielt werden. Sinnvoll ist der Anbau fünfgliedriger Fruchtfolgen, wobei sich als ertragsstarke und stabile Energiepflanzen Mais (HF/ZF), Sudangras (HF), Wintertriticale (GP), Artenmischung (GP) und Topinamburkraut bewährt haben. Vorteilhaft bei der Fruchtfolgegestaltung ist die Kombination von leistungsstarken Energiepflanzen und Marktfrüchten. Hohe Methanerträge wurden mit den Fruchtfolgen 7, 3 und 1 erreicht, dicht gefolgt von den Fruchtfolgen 2 und 8.

Auch die Fruchtfolgestellung hat einen wesentlichen Einfluss auf den zu erreichenden Ertrag. Der Mais in Zweitfruchtstellung erreichte in Kombination mit der WZF Futterroggen Erträge, die dem Maisertrag in Hauptfruchtstellung recht nahe kommen. Bei Sudangras in Zweitfruchtstellung konnte in Kombination mit der WZF Futterroggen der Ertrag gesteigert werden.

Die Eingliederung von Luzerne-Gras bietet für den Nährstoff- und Humushaushalt Vorteile. Günstig ist eine zweijährige Nutzung, wobei mit starken Ertragsschwankungen in Abhängigkeit von den jährlichen Aufwuchsbedingungen zu rechnen ist.

Als Zwischenfrüchte wurden Futterroggen, Zuckerhirse, Ölrettich und einjähriges Weidelgras in den Fruchtfolgen angebaut. Für den Zwischenfruchtanbau sind Futterroggen bzw. Zuckerhirse zu empfehlen. Bei der Zuckerhirse waren jedoch hohe witterungsbedingte Ertragsschwankungen zwischen den einzelnen Jahren zu beobachten waren.

Die Berechnungen der Nährstoff- und Humusbilanz belegen, dass durch den Energiepflanzenanbau die Parameter der Bodenfruchtbarkeit (Humus-C, N, P, K) beeinflusst werden.

Zum notwendigen Ausgleich sollten folgende Punkte Berücksichtigung finden:

- Durchführung der Mineraldüngung anhand der Vorgaben zur guten fachlichen Praxis (Stickstoff-SBA-Methode; P, K, Mg nach Entzug)
- Rückführung von Gärresten
- Einbeziehung von Fruchtarten zur Gründüngung (z.B. Ölrettich, Senf)
- Anbau von Marktfrüchten in den Fruchtfolgen und Verbleib der Nebenernteprodukte auf der Fläche.

Die vergleichende Betrachtung der Bodenbearbeitungsvarianten ergab, dass sich die Erträge der Fruchtfolgen bei konventioneller Bodenbearbeitung nicht signifikant von der Minimalbodenbearbeitungsvariante abheben. Für die Praxis kann daraus die Schlussfolgerung gezogen werden, dass im Energiepflanzenanbau mit einer Minimalbodenbearbeitung Kosten gespart werden können und das Verfahren an Effizienz gewinnt.

4 Zusammenfassung

Am Standort Dornburg wurden über den Zeitraum 2005 bis 2008 acht Fruchtfolgesysteme zur Biogasproduktion auf ihre Ertrags- und Biogasleistung untersucht. Hierbei sollte der gewählte Standort die E-Weizen-Standorte der trockenen Lößackerebenen vertreten. In die Fruchtfolgen wurden sowohl traditionelle Fruchtarten, wie Mais und Ganzpflanzengetreide, als auch neue Pflanzen (Sorghumhybriden) aufgenommen. Sie wurden je nach Fruchtfolgestellung in Haupt- und Zweitfruchtstellung angebaut und mit Zwischenfrüchten, wie Futterroggen, Ölrettich und einjährigem Weidelgras kombiniert. Abgeschlossen wurden die Fruchtfolgen mit Winterweizen als Marktfrucht.

Die Ergebnisse verdeutlichen, dass unter diesen Standortbedingungen die leistungsfähigsten Fruchtfolgevarianten kumulierte Trockenmasseerträge von 431 bis 522 dt TM/ha erreichten. Mit diesen Anbausystemen sind Methangaserträge von 9.100 bis 14.900 m³/ha realisierbar. Die Fruchtfolgeglieder Mais, Wintertriticale, Sudangras und Topinamburkraut bestimmen dabei wesentlich den Gesamtertrag. Sinnvoll ist es, Mais und Sudangras sowohl in Haupt- als auch in Zweitfruchtstellung in die Fruchtfolge zu integrieren.

Bei der Eingliederung von Ganzpflanzengetreide in die Energiepflanzenfruchtfolgen sind die Wintergetreidearten (Wintertriticale, Winterroggen, Artenmischung) den Sommergetreidearten (Sommergerste, Hafer) vorzuziehen.

Für den Zwischenfruchtanbau sind sowohl Futterroggen als auch Zuckerhirse in Betracht zu ziehen.

Im Versuchsjahr 2008 wurden alle Fruchtfolgen mit Winterweizen abgeschlossen. Es wurden standorttypische Erträge erreicht, jedoch konnte auch ein Einfluss der Vorfrucht auf den Ertrag beobachtet werden. Die Bestände sind in einigen Fruchtfolgen schneller abgereift und es ist davon auszugehen, dass von Wintertriticale (Korn) eine Krankheitsübertragung (Ährenfusarium) auf den Weizen stattgefunden hat. Eine positive Vorfruchtwirkung des Luzernegrases konnte nicht herausgestellt werden.

Die Berechnung der Humus- und Nährstoffbilanz lässt erkennen, dass der Boden durch den Energiepflanzenanbau beeinflusst wird. Zur Erhaltung der Bodenfruchtbarkeit und Sicherung eines ausgeglichenen Saldos ist es angebracht die Gärreste zurückzuführen, Nebenernteprodukte teilweise auf der Fläche zu belassen bzw. Pflanzen zur Gründüngung mit in die Fruchtfolge einzubeziehen.

5 Literatur

Bühl, A., Zöfel, P. (2002): SPSS 11-Einführung in die moderne Datenanalyse unter Windows. 8. Auflage. Pearson Studium

Heß, H., Zorn, W. (2008): Betriebsbezogene handschriftliche Nährstoffbilanz gemäß Düngeverordnung (DüV) 2007

Hösel, K. (2008): Verdunstung als Term der Wasserbilanz. Proseminar: Hydrologie/Glaziologie. Ludwig-Maximilian-Universität München

DLG (1997): Futterwerttabelle für Wiederkäuer

FNR (2005): Handreichung „Biogasgewinnung und -nutzung“

Munzert, M. (1992): Einführung in das pflanzenbauliche Versuchswesen. Verlag Paul Parey. Berlin und Hamburg

Schumann et al. (1997): Fallstudien und Konzepte zur Einführung bilanzorientierter Düngung in der deutschen Landwirtschaft. Landbauforschung Völkenrode. Sonderheft 180

Zorn, W., Heß, H., Albert, E., Kolbe, H., Kerschberger, M., Franke, G. (2007): Düngung in Thüringen 2007 nach „Guter fachlicher Praxis“. Schriftenreihe Landwirtschaft und Landschaftspflege in Thüringen. Heft 7/2007

Landesamt für Verbraucherschutz, Landwirtschaft und Flurneuordnung Brandenburg
Abteilung Landwirtschaft und Gartenbau
Referat Ackerbau und Grünland

Ergebnis-Endbericht - Erntezeitpunkte

Berichtszeitraum März 2005 bis Dezember 2008

Thema: Entwicklung und Vergleich von optimierten Anbausystemen für die landwirtschaftliche Produktion von Energiepflanzen unter den verschiedenen Standortbedingungen Deutschlands (Verbundprojekt)

Teilprojekt 1: Entwicklung und Optimierung von standortangepassten Anbausystemen für Energiepflanzen im Fruchtfolgeregime (Land Brandenburg) – Bericht Erntezeitpunkte

Laufzeit: 03/2005 – 01/2009 (Antrag vom 14.03.2005)

Förderkennzeichen: 22002305

Zuwendungsgeber: Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz

Projektträger: Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. Gülzow

Projektleiter: Dr. Lothar Adam (bis 31.12.2007)
Dr. Gert Barthelmes (ab 01.01.2008)

wissenschaftlicher Bearbeiter: Dr. Gunter Ebel

Versuchstechniker(in): Frau Kerstin Kläring (Juli 2005 bis Mai 2007)
Herr Rainer Piontek (ab Mai 2007)

Techniker: Herr Björn Silber (Juli 2005 bis April 2007)
Herr Meik Schmidt (ab Mai 2007)

Güterfelde, den

Dr. G. Barthelmes
Projektleiter

Dr. G. Ebel
wiss. Bearbeiter

Inhaltsverzeichnis

1	**Ziel**	**308**
2	**Ergebnisse - Erntezeitpunkte**	**308**
2.1	**Ganzpflanzen-Trockenmasseerträge und -gehalte - Vergleich Erntezeitpunkte**	**308**
2.2	**Satellitenversuch Getreideganzpflanzen**	**313**
2.3	**Theoretische Methangasausbeute und -ertrag - Erntezeitpunkte**	**316**
3	**Zusammenfassung und Fazit**	**318**

1 Ziel

Mit dem Ziel, maximale Methanerträge zu erreichen, wurde der Fruchtfolgeversuch am Standort Güterfelde zusätzlich unter dem Aspekt der Optimierung des Erntezeitpunktes betrachtet (vgl. Bericht Güterfelde - Abschnitt 2.3; Anhang 4). In Abhängigkeit vom BBCH-Stadium und dem TM-Gehalt der einzelnen Fruchtarten sowie der Witterungssituation wurde zu zwei verschiedenen Terminen geerntet. Neben dem im Projekt üblichen Standardtermin erfolgte eine um etwa 7-14 Tage vorfristige Ernte (vgl. Anhang 5). Grund für die Prüfung eines vorverlegten Erntetermins waren die nach dem Kenntnisstand zu Projektbeginn erwarteten höheren spezifischen Methangasausbeuten (z. B. LINKE et al. 2003; HEIERMANN & PLÖCHEL 2004; LINKE 2004; ANONYMUS 2005). Wichtige Versuchsfragen waren:

das Erreichen von Trockenmassegehalten zur optimalen Silierung von 28-35% und eine Optimierung von Methanausbeuten

Ertragsverhalten in Abhängigkeit von der TM-Entwicklung bei vorfristiger und Standardernte

Einfluss des Erntezeitpunktes auf die Nachfrucht.

2 Ergebnisse - Erntezeitpunkte

2.1 Ganzpflanzen-Trockenmasseerträge und -gehalte - Vergleich Erntezeitpunkte

Die **Ertragszuwächse** zwischen den beiden Terminen fielen bei den Fruchtarten unterschiedlich aus (Tab. 1; vgl. Abb. 1 bis Abb. 3) und waren beim Luzernegras 2007 mit ca. 40 dt TM ha^{-1} innerhalb von 10 Tagen am deutlichsten. Bei den meisten Fruchtarten traten jahresabhängige Ertragsunterschiede zu beiden Ernteterminen auf (Tab. 1; vgl. Bericht Güterfelde - Abschnitte 2.2. und 3.1).

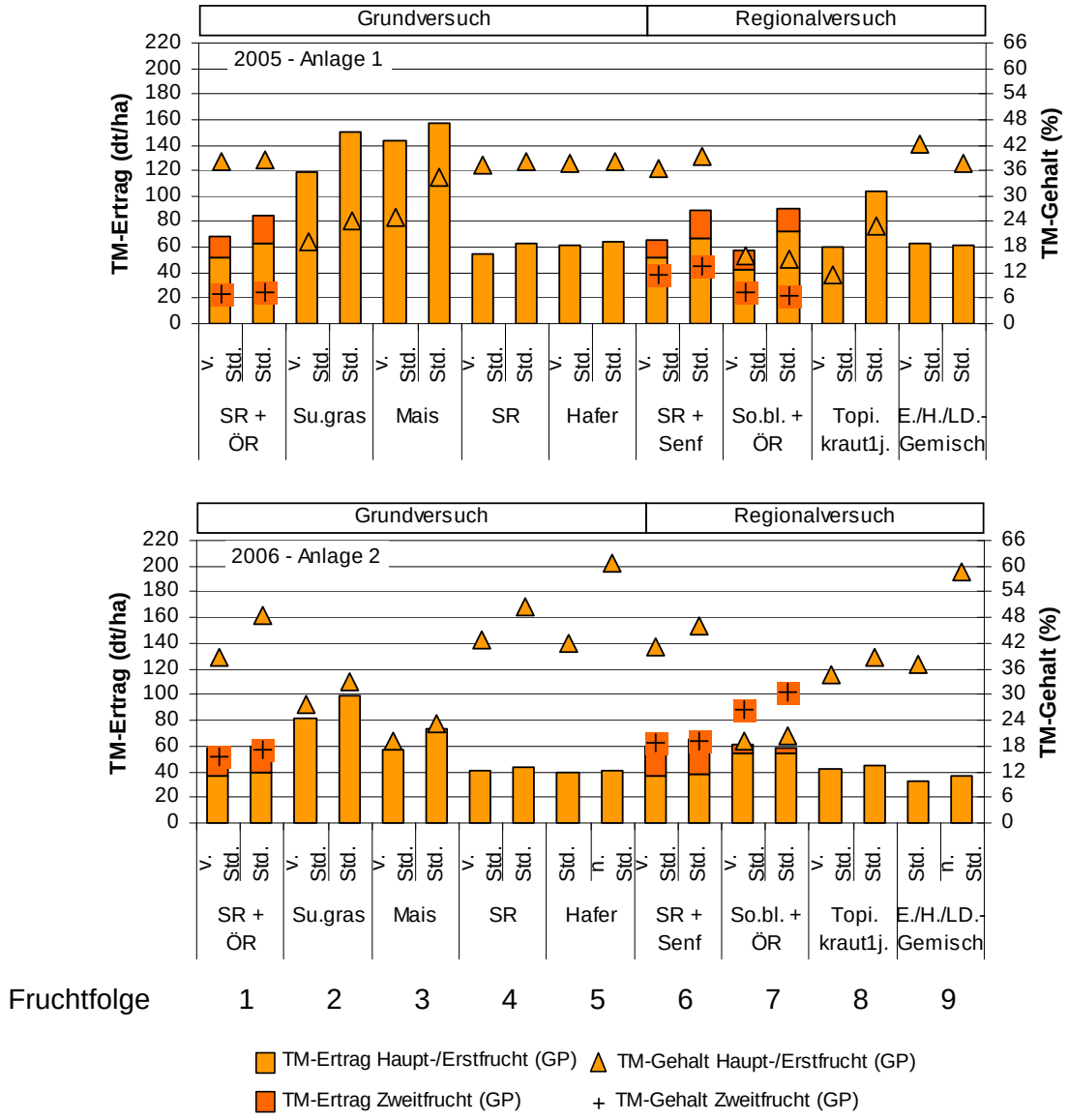


Abbildung 1: Ganzpflanzen-Trockenmasseertrag (dt ha^{-1}) und Trockenmassegehalt (%) der Fruchtfolgeglieder zu unterschiedlichen Erntezeitpunkten am Standort Güterfelde (2005 und 2006)

Hinweis: Sorten, Erntedatum und Entwicklungsstadium vgl. Anhang 7; SR = Sommerroggen, Su. gras = Sudangras, ÖR = Ölrettich, So.bl. = Sonnenblume, E./H./LD. = Erbse/Hafer/ Leindotter Gemisch, Topi.kraut = 1 x jährliche Topinamburkrauternte nach 1jähriger Standdauer
v. Std. = Ernte vor Standardtermin, Std. = Ernte zum Standardtermin

Das Einhalten der optimalen **TM-Gehalte** zur Ganzpflanzenernte wird ebenfalls wesentlich von der Jahreswitterung beeinflusst. So konnte durch Niederschläge in der generativen Phase 2007 die für eine Silierung optimale Spanne von 28-35 % eher erreicht werden, als in den mit extremer Trockenheit in diesem Zeitraum geprägten Jahren 2006 und 2008 (Tab. 1)[1].

[1] Im Jahr 2006 wurden witterungsbedingt trotz der Einhaltung der BBCH Termine zum 2. Erntezeitpunkt (lt. Planung Standard) in drei Fällen der Trockenmassegehaltsbereich für eine qualitätsgerechte Silierung überschritten. Die extreme Trockenheit im Juni und Juli 2006 förderte innerhalb weniger Tage eine rasche Abreife. Hier ist in Kombination der Bewertung des BBCH Stadiums und des TM-Gehaltes der frühere Erntezeitpunkt als Standardtermin zu bewerten.

Tabelle 1: Vergleich der Erntezeitpunkte am Standort Güterfelde[2]

Kulturart	Jahr	vor(nach)fristiger Termin			Standardtermin			Differenz Ertrag (dt TM ha^{-1})	Differenz Tage	Zunahme Ertrag je Tag (dt TM ha^{-1})
		BBCH	Ertrag (dt TM ha^{-1})	TM-Gehalt (%)	BBCH	Ertrag (dt TM ha^{-1})	TM-Gehalt (%)			
Sommerroggen	2005	75	52	38	83	64	38	12	12	1,0
	2006	71	38	40	83	40	48	2	12	0,2
Hafer	2005	71	62	38	81	64	38	2	12	0,2
	(2006**)	87	41	61	71	40	42	(-1)	(-12)	0,1
Hafer-Erbse-Leindotter-Gemisch	2005	71	63	42	83	62	38	-1	12	-0,1
	(2006**)	87	37	59	71	33	37	(-4)	(-12)	0,3
Winterroggen	2007	73	62	25	81	68	28	6	6	1,0
	2008	71	105	38	77	108	46	3	6	0,5
Wintertriticale	2006	71	50	36	83	64	56	14	13	1,1
	2007	75	59	27	81	65	28	6	6	1,0
	2008	71	77	40	75	82	45	5	5	1,0
Mais Hauptfrucht	2005	77	144	25	85	158	35	14	15	0,9
	2006	(vgl. Abschnitt 3.1.1)			85	85	25	15	14	1,1
	2007	83	179	27	85	192	32	13	7	1,9
Mais Zweitfrucht	2006	85	75	28	87	79	35	4	7	0,6
	2007	83	145	30	85	148	30	3	5	0,6
Sudangras-Hybride HF *Susu*	2005	69	119	20	83	150	25	31	15	2,1
	2006	75	81	28	83	99	33	18	13	1,4
Sudangras-Hybride ZF *Susu* (nach Grünschnittroggen)	2006	71	58	26	77	53	26	-5	13	-0,4
	2007	75	120	20	81	120	21	0	13	0,0
Sudangras-Hybride ZF *Lussi* (nach Grünschnittroggen)	2007	73	131	28	75	153	29	22	13	1,7
	2008	83	74	27	85	83	30	9	8	1,2
Zuckerhirse (SZF) (nach Ganzpflanzengetreide)	2007	53	74	17	59	89	20	15	7	2,1
	2008[+]	32	21	16	34	22	16	1	7	0,2
Grünschnittroggen**	2006	59	37	19	49	29	14	(-8)	(-6)	1,3
	2007	59	53	20	49	42	20	(-11)	(-8)	1,4
	2008	59	62	17	53	50	16	(-12)	(-4)	3,0
Kleegras*	2006	+	33	18	+	46	20	13	14	0,9
	2007	+	56	18	+	82	17	26	9	2,9
Luzernegras*	2007	+	75	18	+	114	17	39	9	4,3
	2008	+	70	24	+	98	26	28	14	2,0
Weidelgras SZF (nach Ganzpflanzengetreide)	2007	59	23	13	65	38	19	15	9	1,6
	2008	61	9	20	61	9	20	0	0	0,0
Sonnenblume	2005	61	43	16	77	72	15	29	18	1,6
	2006	71	54	19	83	55	20	1	11	0,1
Topinamburkraut 1j	2005	39	61	11	59	104	23	43	42	1,0
Topinamburkraut 2j	2006	45	44	40	57	50	36	6	13	0,5
Topinamburkraut 3j	2007	39	75	25	39	87	24	12	13	0,9
Wi.Raps	2006	75	27	16	81	57	23	30	23	1,3
	2007	75	90	16	81	94	18	4	13	0,3
Ölrettich (SZF)	2005	59	17	7	67	21	7	4	18	0,2
	2006	51	18	18	61	17	20	-1	8	-0,2
Senf (SZF)	2005	59	13	11	67	23	14	10	26	0,4
	2006	63	23	19	65	27	19	4	13	0,3

[2] * Grünschnittroggen und Ackerfutter sind verfahrensbedingt anzuwelken, TM-Gehalte beziehen sich hier auf das Ausgangssubstrat; + je 4 Aufwüchse zu unterschiedlichen Entwicklungsstadien genutzt; Bewertung von TM-Gehalt und Ertragszuwachs: grün = positiv; rot = negativ

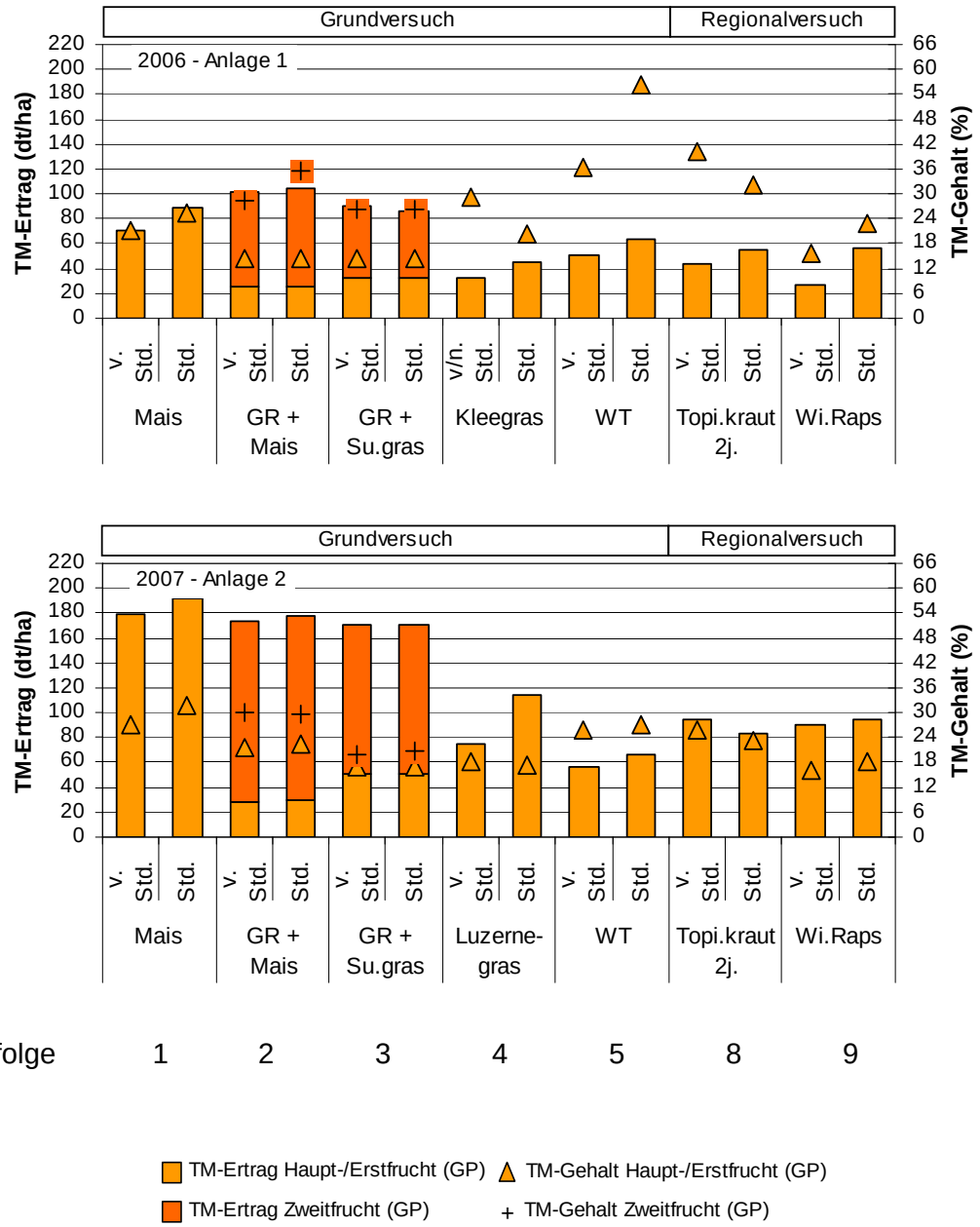


Abbildung 2: Ganzpflanzen-Trockenmasseertrag (dt ha^{-1}) und Trockenmassegehalt (%) der Fruchtfolgeglieder zu unterschiedlichen Erntezeitpunkten am Standort Güterfelde (2006 und 2007)

Hinweis: Sorten, Erntedatum und Entwicklungsstadium vgl. Anhang 7; WR = Winterroggen, WT = Wintertriticale, GR = Grünschnittroggen, ZH = Zuckerhirse, Su. gras = Sudangras, Topi.kraut = 1 x jährliche Topinamburkrauternte nach 2 jähriger Standdauer
v. Std. = Ernte vor Standardtermin, Std. = Ernte zum Standardtermin

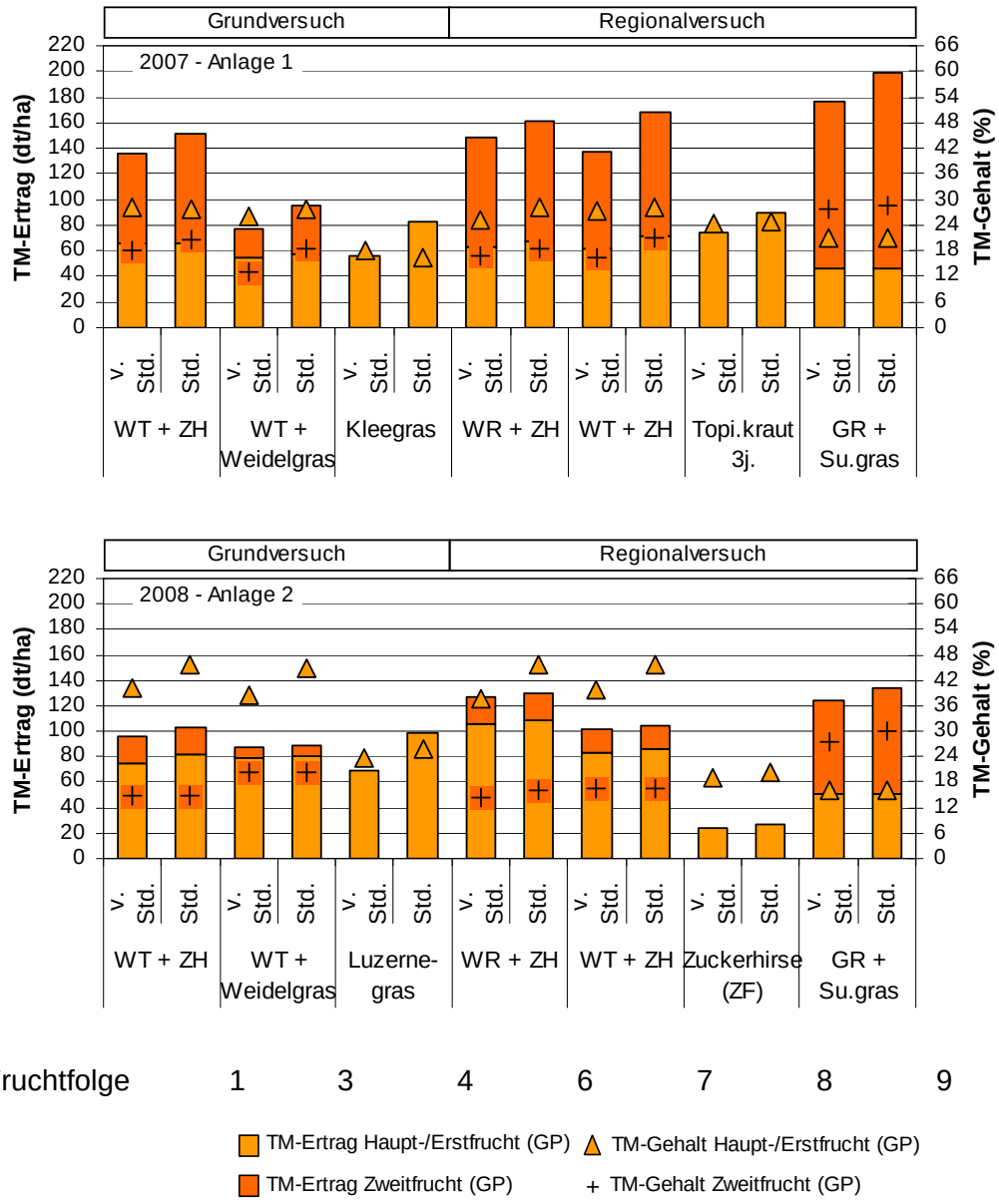


Abbildung 3: Ganzpflanzen-Trockenmasseertrag (dt ha^{-1}) und Trockenmassegehalt (%) der Fruchtfolgeglieder zu unterschiedlichen Erntezeitpunkten am Standort Güterfelde (2007 und 2008)

Hinweis: Sorten, Erntedatum und Entwicklungsstadium vgl. Anhang 7; WR = Winterroggen, WT = Wintertriticale, GR = Grünschnittroggen, ZH = Zuckerhirse, Su. gras = Sudangras, Topi.kraut = 1 x jährliche Topinamburkrauternte nach 3jähriger Standdauer; 2008 – Anlage 2 keine Topinamburkrauternte vgl. Bericht Güterfelde - Abschnitte 3.1 und 3.2
v. Std. = Ernte vor Standardtermin, Std. = Ernte zum Standardtermin

Vor allem bei **Ganzpflanzengetreide** unterscheidet sich das Abreifeverhalten in den einzelnen Jahren (vgl. Tab. 1, Abb. 1 bis 4[3]). Beispielhaft sind für 2007 bei Wintertriticale TM-Gehalte von 28 % gegenüber 56 % (2006) bzw. 45 % (2008) zu benennen. Die Trockenheit in der generativen

[3] In den Abbildung 1-3 wurde für den Grünschnittroggen (GR) zum vorfristigen Erntezeitpunkt (v. Std. = vor Standard) hier der Ertrag des Standardtermins (Std.) angenommen. Eine vorfristige Ernte wird bei Grünschnittroggen nicht ausgeführt (vgl. Bericht Güterfelde - Anhang 7; Abschnitt 2.3).

Phase (2006 und 2008) verursachte innerhalb von 5 bis 7 Tagen Anstiege der TM-Gehalte um mehr als 10% auf > 40 % (Tab. 1).

Ein Zusammenhang zwischen den BBCH-Stadien und dem Trockenmassegehalt, wie von KARPENSTEIN-MACHAN (2005) beschrieben (TM-Gehalte zwischen 28 und 33% zum Stadium der Milch- bis beginnenden Teigreife Ende Juni / Anfang Juli), kann für trockenheitsgeprägte Standorte mit leichten Böden daher nicht bestätigt werden (vgl. Bericht Güterfelde - Abschnitt 3.1). Am Standort Güterfelde wurde der optimale TM-Gehaltsbereich 2007 bereits in der ersten Junidekade nach mildem Winter, extrem trockenem April und niederschlagsreichem Mai erreicht.

2.2 Satellitenversuch Getreideganzpflanzen

Um diese Problematik näher zu untersuchen, wurden in den Versuchsjahren 2006/07 und 2007/08 jeweils in einem Satellitenversuch verschiedene Sorten in Wechselwirkung mit dem Faktor Erntezeitpunkt (sowie dem Zusatzprüfglied Fungizidbehandlung) geprüft (Abb. 4; Tab. 2). Im Hinblick auf das Abreifeverhalten existierten zwischen Roggen und Triticale Unterschiede in der Trockenstressausprägung (vgl. Bericht Güterfelde - Abschnitt 3.1). Die Sortenunterschiede im TM-Gehalt (ca. 3 %) wiesen jedoch in den Jahren keine Tendenzen auf, da der Einfluss des Jahreswitterungsverlaufs dominierend war. Mit dem Fungizideinsatz 2007 war offenbar eine gleichmäßige, aber spätere Abreife verbunden (vgl. Tab. 2).

Tabelle 2: Ganzpflanzenerträge 2007 verschiedener Roggensorten am Standort Güterfelde – Vergleich Fungizidbehandlungen (Ergebnisse aus dem Satellitenversuch Getreideganzpflanzen)

Sorte	Termin	BBCH	ohne Fungizid		mit Fungizid	
			TS %	TM-Ertrag dt ha^{-1}	TS %	TM-Ertrag dt ha^{-1}
Fugato	02.05.07	49	20,20	29,63	*19,70*	26,27
	16.05.07	61	21,80	44,33	*21,10*	**47,30**
	29.05.07	73	29,00	63,19	*27,94*	**70,78**
	07.06.07	81	33,71	76,55	*31,80*	**80,02**
Rasant	03.05.07	49	17,80	30,76	18,00	**31,78**
	16.05.07	61	22,20	45,05	*21,50*	**49,09**
	30.05.07	73	30,65	58,11	*29,35*	**66,72**
	07.06.07	81	34,52	69,32	*32,15*	**84,14**
Vitallo	26.04.07	49	24,60	50,45	24,90	50,61
	02.05.07	59	21,20	49,73	21,60	49,23
	22.05.07	71	33,40	85,17	*30,40*	77,77
	29.05.07	81	31,23	75,47	*30,57*	**85,20**
	07.06.07	85	35,66	93,31	35,29	**96,76**
perennierender Roggen	16.05.07	59	18,40	38,79	*17,20*	**40,21**
	22.05.07	61	22,40	51,43	*20,70*	**62,53**
	31.05.07	71	27,82	58,42	27,50	**67,37**
	07.06.07	71	32,76	62,79	*31,02*	**79,75**

In dem **Satellitenversuch „Getreideganzpflanzen“** sind in der Variante ohne Fungizideinsatz bei verschiedenen Roggensorten 70 bis 80 dt TM ha^{-1} 2007 geerntet worden (Abb. 4; vgl. Abschnitt 3.1). Der in diesem Versuch geprüfte Grünschnittroggen „Vitallo“ erzielte zwar die höchsten Erträge im Stadium der Milch- bis Teigreife, ist allerdings auf Grund des Züchtungsziels Grünschnittnutzung zum Ährenschieben in diesem späten Erntestadium für die Praxis nur bedingt geeignet (sortenbedingte Lagergefahr bei Ernte zu diesem Zeitpunkt). In den zeitigeren, für „Vitallo“ typischen Nutzungsvarianten (BBCH 49...BBCH 59) wurde 2007 ein bis zu 60 % höherer Ertrag mit einer 7...14 Tage früheren Ernte als bei den Sorten Rasant und Fugato erzielt (Abb. 4). 2008 sind in einem weiteren Getreideganzpflanzenversuch im Vergleich zu drei Triticalesorten (82...94 dt TM ha^{-1}) vom Winterroggen ca. 110 dt TM ha^{-1} im Stadium späte Milchreife / frühe Teigreife geerntet worden. Das entspricht gegenüber 2007 (vgl. Bericht Güterfelde - Abschnitte 2.2. und 3.1) Relativerträgen von 112 % („Vitallo“), 130 % („Rasant“) sowie 135 % („Fugato“). Die bisher am Standort Güterfelde höchsten ermittelten Getreideganzpflanzenerträge von 110 dt TM ha^{-1} („Fugato“, „Vitallo“) liegen allerdings deutlich unter denen anderer Standorte mit günstigeren Boden- und Niederschlagsverhältnissen (vgl. Abschnitt 3.1).

Innerhalb des Satellitenversuches war es weiterhin das Ziel, die Wirkung einer standortangepassten, ortsüblichen Fungizidapplikation auf den zu unterschiedlichen Terminen ermittelten Biomasseertrag verschiedener Roggen- und Triticalesorten zu prüfen. Die Ergebnisse 2007 bestätigen die aus der Kornerzeugung bekannten Ertragseffekte (Tab. 2), die sich auch auf die Methangaserträge auswirkten (Abschnitt 2.3).

Durch eine aufwandsreduzierte Fungizidbehandlung[4] 2007 konnte eine geringere Befallsintensität beim Braunrost (*Puccinia recondita*) festgestellt werden. Sortenabhängig wurde mit einer Behandlung ein sehr geringer Befall (Ausprägungsstufe 2 - Sorten: „Benetto“, „Rasant“ und perennierender Roggen) bis mittlerer Befall (Ausprägungsstufe 5 – Sorten „Fugato“ und „Vitallo“) bonitiert. Dagegen ist ohne Behandlungsmaßnahme in „Benetto“ und dem perennierenden Roggen ein geringer bis mittlerer Braunrostbefall und in „Amilo“, „Rasant“, „Fugato“ und „Vitallo“ ein starker Befall (Ausprägungsstufe 6 bis 8) aufgetreten. Insbesondere wurde durch den verminderten Braunrostbefall bei einer Fungizidbehandlung ein Pflanzenbestand mit einer etwas späteren Abreife (vgl. kursive TM-Gehalte) gegenüber der unbehandelten Variante erreicht. Die verbesserte Blattgesundheit wirkte sich mit zunehmender Wachstumsdauer deutlich positiv auf die Erträge aus (Tab. 2 - fett).

2008 wurden ähnliche Roggenganzpflanzenerträge im Vergleich der Sorten, allerdings bei einem insgesamt höheren Niveau (Abb. 4; s.o.) als 2007 ermittelt. Die Wintertriticalesorte „Benetto“ fällt im Ertrag gegenüber der Roggenhybride „Fugato“ sowie auch zur Populationssorte „Amilo“ ab (vgl. Bericht Güterfelde - Abschnitt 3.1). Eine Ertragsdifferenzierung nach dem Fungizideinsatz wie 2007 wurde nicht festgestellt. Das lässt sich auf die unterschiedliche Witterung in den Jahren zurückführen. Während die Witterung 2007 (sehr trockener April / feuchter Mai) Wachstumsdepressionen während der Schossphase und später einen starken Braunrostbefall verursachte, wurde 2008 das Längenwachstum durch überdurchschnittliche Aprilniederschläge gefördert. Der Krankheitsbefall in den oberen Blattetagen war jedoch durch die lange extreme Trockenheit im Mai/Juni geringer als 2007 einzuschätzen (vgl. Bericht Güterfelde - Abschnitte 2.2. und 3.1).

[4] Juwel Top: 0,75 l ha^{-1} = ¾ der zugelassenen Aufwandmenge; Behandlungszeitpunkt BBCH 37

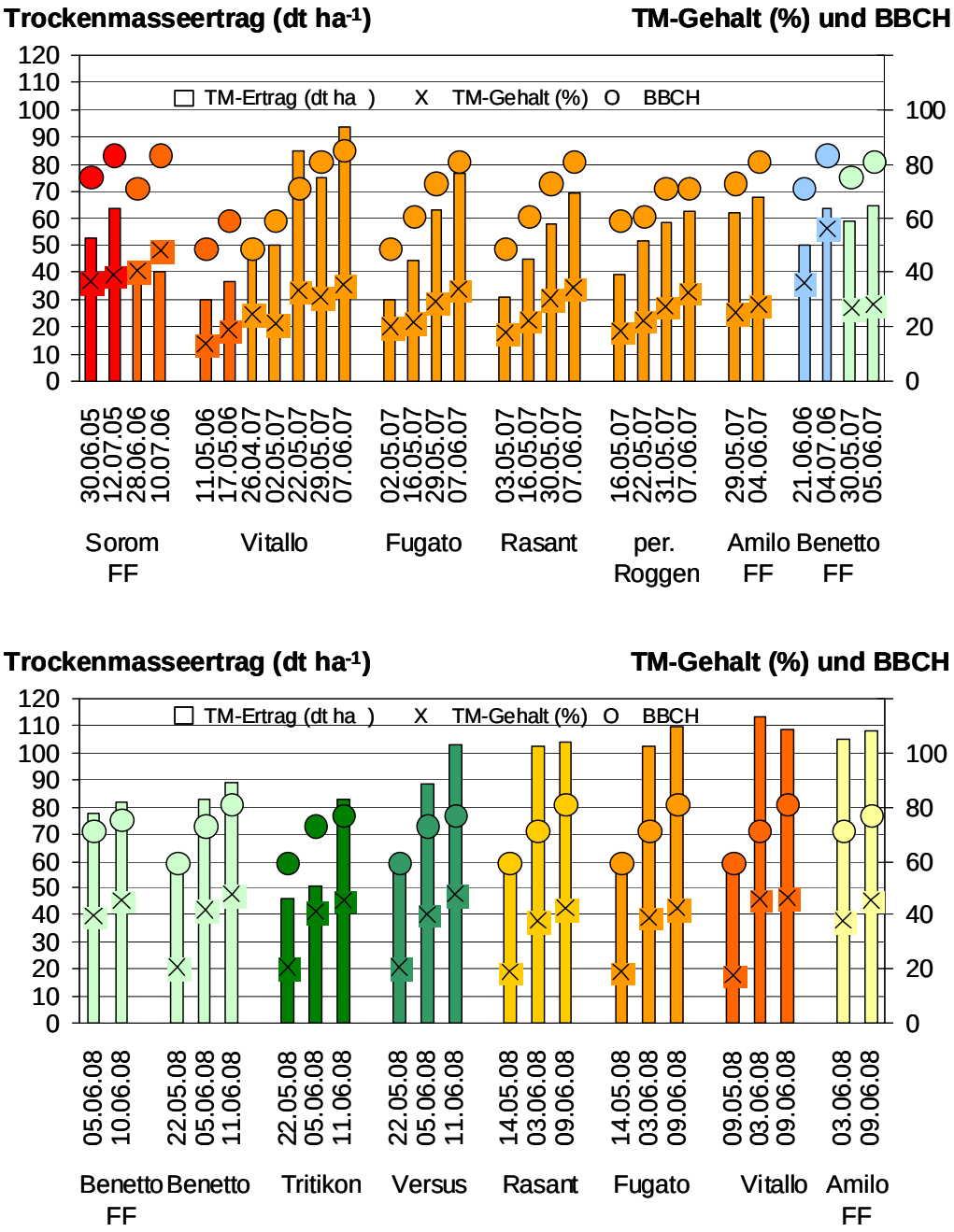


Abbildung 4: Getreide-Ganzpflanzenertrag (dt TM ha^{-1}); Trockenmassegehalt (%) und Entwicklungsstadium (BBCH) von verschiedenen Roggen- und Triticalesorten bei unterschiedlichen Erntezeitpunkten (ohne Fungizidbehandlung) am Standort Güterfelde oben) 2005 bis 2007; unten) 2008[5]

[5] Ergebnisse aus dem Satellitenversuch „Getreideganzpflanze“ 2007 mit den Arten Winterroggen für die Grünschnittnutzung (Sorte Vitallo); Winterroggen (Sorten: Fugato und Rasant) sowie einem perennierenden Roggen (Herkunft Hohenheim) im Vergleich zu den Erträgen aus dem Fruchtfolgeversuch 2005 bis 2007 der Arten Sommerroggen (Sorom), Wintertriticale (Benetto), Winterroggen (Amilo – 2007) und Grünschnittroggen (Vitallo - 2006). Abbildung unten: Vergleich der Ergebnisse aus dem Satellitenversuch „Getreideganzpflanze“ 2008 zusätzlich mit den Triticalesorten (Benetto, Tritikon und Versus).

Fazit - Satellitenversuch Getreideganzpflanzen: Mit einer Fungizidbehandlung sind höhere TM-Erträge je Hektar möglich. Der Behandlungs- und Ertragseffekt wird jedoch entscheidend von der Jahreswitterung bzw. der Befallsintensität beeinflusst. Weitere Versuche mit den Faktoren Sorten, Erntezeitpunkt sowie Fungizid- / Herbizidbehandlungen sind für eine Optimierung der standortgerechten Sortenwahl und Produktionstechnik notwendig. Der Einfluss der Befallsintensität auf die Gasausbeute ist in Gärtests zu prüfen. Auch aus Sicht einer alternativen Körnernutzung des Getreides besitzt der Fungizideinsatz Relevanz. Für eine ökonomische Bewertung des Fungizideinsatzes in der Getreideganzpflanzenproduktion sind weitere Untersuchungen unabdingbar.

2.3 Theoretische Methangasausbeute und -ertrag - Erntezeitpunkte

Die bei einer zeitigeren Ernte im Vergleich zum Standardtermin zu erwartenden höheren spezifischen Biogasausbeuten (z. B. LINKE et al., 2003; HEIERMANN & PLÖCHEL, 2004; LINKE, 2004; ANONYMUS, 2005) sind über den theoretischen Ansatz nach SCHATTAUER & WEILAND (2006) im Fruchtfolgeversuch am Standort Güterfelde nur zum Teil ermittelt worden (Tab. 3; vgl. Bericht Güterfelde - Abschnitte 2.4.3 und 3.3).

Im Satellitenversuch „Getreideganzpflanzen“ betrugen die Ausbeuten ca. 610 $l_N\ kg^{-1}$ Biogas oTS bzw. 340 $l_N\ kg^{-1}$ CH_4 oTS bei einem frühen Erntetermin zum Zeitpunkt des Ährenschiebens. Mit fortschreitender Pflanzenentwicklung verringerten sich die Ausbeuten auf 540 $l_N\ kg^{-1}$ Biogas oTS bzw. 300 $l_N\ kg^{-1}$ CH_4 oTS. Zwischen den Sorten und den Fungizidbehandlungsstufen bestanden nach diesem Ansatz keine Unterschiede in den Gasausbeuten.

Im Satellitenversuch „Getreideganzpflanzen“ sind bis zu 2700 $m^3\ ha^{-1}$ Methanertrag für 2007 geschätzt worden. Dieser Relativertrag von 140 % gegenüber der Winterroggenpopulationssorte „Amilo“ im Fruchtfolgeversuch (ca. 1900 $m^3\ CH_4\ ha^{-1}$; Tab. 3) wurde 2007 u. a. durch den Sortentyp (Hybrid- bzw. Populationssorte) und den Fungizideinsatz bedingt (vgl. Abb. 4 und Tab. 2). 2008 wurden nach dem theoretischen Ansatz unterschiedliche Methanerträge zwischen Winterroggen und Wintertriticale mit deutlichen Vorteilen für Roggen, jedoch kaum zwischen den Sorten einer Art und den Fungizidstrategien ausgewiesen.

Tabelle 3: Gasausbeuten (Potenzial errechnet nach SCHATTAUER & WEILAND, 2006) und Methanerträge am Standort Güterfelde; Gärsubstrate 2005 - 2008; Vergleich der Erntezeitpunkte

Fruchtart	Jahr	vor(nach)fristiger Erntetermin				Standardernte			
		BBCH	(Nl kg^{-1} oTS) Biogas	(Nl kg^{-1} oTS) CH_4-Ausbeute	(m³ CH_4 ha^{-1}) CH_4-Ertrag	BBCH	(Nl kg^{-1} oTS) Biogas	(Nl kg^{-1} oTS) CH_4-Ausbeute	(m³ CH_4 ha^{-1}) CH_4-Ertrag
Sommerroggen	2005	75	542	293	1453	83	516	279	1706
	2006	71	540	296	1056	83	515	281	1075
Hafer	2005	71	471	258	1497	81	472	258	1559
	2006*	(87)	533	292	1128	71	469	260	975
Hafer-Erbse-Leindotter-Gemisch	2005	71	527	288	1693	83	530	291	1686
	2006*	(87)	529	288	1017	71	470	261	797
Winterroggen	2007	73	502	276	1621	81	539	295	1888
	2008	71	542	293	**2934**	77	516	279	**2861**
Wintertriticale	2006	71	515	282	1360	83	519	282	1733
	2007	73	499	275	1610	81	514	282	1741
	2008	71	516	280	2064	75	519	281	2206
Mais	2005	77	539	293	4037	85	556	303	4598
	2006	77	528	288	1853	83	536	293	2383
	2007	83	539	292	5007	85	544	294	**5409**
Mais (ZF) (nach Grünschnittroggen)	2006	85	537	294	2107	87	549	299	2252
	2007	83	542	293	4062	85	547	295	**4188**
Sudangras	2005	69	507	275	3101	83	451	243	**3489**
	2006	75	449	243	1867	83	451	244	2296
Sudangras (ZF) (nach Grünschnittroggen)	2006	71	448	243	1336	77	450	243	1226
	2007	74	451	244	2921	77	449	244	**3176**
	2008	83	449	244	1716	85	450	245	1933
Zuckerhirse (SZF) (nach GP-Getreide)	2007	53	544	298	2067	59	506	275	**2299**
	2008	32	526	300	568	34	511	297	595
Grünschnitt-roggen (WZF)*	2006	(59)	574	318	1107	49	**609**	**340**	909
	2007	(58)	575	317	1319	51	**599**	**331**	1291
	2008	(59)	575	316	1818	53	**611**	**338**	1566
Kleegras	2006	+	530	299	857	61	516	288	1194
	2007	+	512	290	1448	62	504	287	**2126**
Luzernegras	2007	+	501	281	1892	61	499	283	**2907**
	2008	+	504	286	1815	61	497	286	2462
Weidelgras (SZF) (nach GP-Getreide)	2007	59	**605**	**341**	691	65	555	309	1050
	2008	61	552	311	238	61	551	311	234
Sonnenblumen	2005	61	519	286	1097	77	511	280	1842
	2006	71	509	282	1377	83	520	295	1449
Topinambur-kraut	2005	39	495	275	1457	59	507	275	**2613**
	2006	45	502	277	1057	57	499	275	1217
-kraut	2007	39	508	274	2099	39	507	276	2103
-knolle		39	643	345	240	39	**653**	**349**	323
Wi.Raps	2006	75	499	279	690	81	512	294	1526
	2007	75	511	286	2333	81	516	295	**2468**
Ölrettich (SZF)	2005	59	581	340	460	67	580	332	584
	2006	30-51	n.u.	n.u.	n.u.	30-61	n.u.	n.u.	n.u.
Senf (SZF)	2005	59	530	306	358	67	525	297	612
	2006	63	n.u.	n.u.	n.u.	65	n.u.	n.u.	n.u.

* für Hafer und das Hafer-Erbsen-Leindottergemisch (2006) sowie generell für den Grünschnittroggen erfolgte neben dem Standardtermin zusätzlich eine „nachfristige“ Ernte; n.u. – nicht untersucht; + 2006 = 2 Aufwüchse und 2007 = 4 Aufwüchse und dabei der vorfristige Termin plangemäß zu unterschiedlichen Entwicklungsstadien genutzt

3 Zusammenfassung und Fazit

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 Arbeitzeitspitzen, kleinräumige Witterungsextreme und Handlungsflexibilität bei schwankenden Preisen für Marktfrüchte und Energiesubstrate zu berücksichtigen.

Witterungsbedingt konnten im Jahr 2007 die optimalen Trockenmassegehalte zur Ernte eher eingehalten werden als in den durch Trockenheit geprägten Jahren 2006 und 2008. Besonders für Jahre mit anhaltender Trockenheit zur Blüte und Fruchtentwicklung ist der in anderen Regionen Deutschlands ermittelte Zusammenhang zwischen Entwicklungsstadien und TM-Gehaltsverlauf für Standorte mit leichten Böden in Ostdeutschland (Ackerzahlen < 35) zu präzisieren.

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.

Beim **Klee- bzw. Luzernegras** (Fruchtfolge 4) ist in der Summe aller vier Aufwüchse in der Variante mit der Nutzung des 1. Aufwuchses zum Ähren-/Rispenschieben/Knospenstadium ein deutlicher Mehrertrag gegenüber der vorfristigen Ernte auffällig. Die Ertragssteigerung zwischen dem vorfristigen Erntezeitpunkt und dem Termin der Standardernte fällt von den geprüften Pflanzenarten bei Luzernegras mit ca. 40 dt TM ha^{-1} am deutlichsten aus. Bei vorfristiger Ernte glichen die Folgeaufwüchse diesen Minderertrag nicht aus, was zu geringeren Gesamterträgen führte. Die Anzahl der genutzten Aufwüchse war in beiden Varianten identisch[6].

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.

[6] 2006 - zwei Aufwüchse auf Grund der Trockenheit, 2007 - vier Aufwüchse, 2008 – drei Aufwüchse (vgl. Anhang 7)

Technologie- und Förderzentrum

Abschlussbericht 2008

Entwicklung und Optimierung von standortangepassten Anbausystemen für Energiepflanzen im Fruchtfolgeregime

-Teilprojekt-

Mischfruchtanbau

Bearbeiter: Matthias Dietze,
Landesforschungsanstalt für Landwirtschaft und Fischerei, Mecklenburg-Vorpommern

Dr. Maendy Fritz und Dr. Kathrin Deiglmayr,
Technologie- und Förderzentrum (TFZ) im
Kompetenzzentrum für Nachwachsende Rohstoffe, Bayern

Das Projekt wird mit Mitteln des Bundesministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (BMELV) gefördert und von der Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR) betreut.

Inhaltsverzeichnis **Seite**

1	**Einleitung und Zielstellung**	**321**
2	**Material und Methoden**	**324**
2.1	Standortbeschreibung	324
2.1.1	Versuchsstandort Gülzow in Mecklenburg-Vorpommern	324
2.1.2	Versuchsstandorte Ascha und Aholfing in Bayern	325
2.2	Wetterdaten	325
2.2.1	Wetterdaten am Versuchsstandort Gülzow	325
2.2.2	Wetterdaten der Versuchsstandorte Ascha und Aholfing	327
2.3	Versuchsaufbau des Mischkulturversuchs	327
2.3.1	Versuchsaufbau in Gülzow	328
2.3.2	Versuchsaufbau in Ascha und Aholfing	331
2.4	Datenerhebung und Berechnung der Biogaserträge	333
3	**Ergebnisse und Diskussion**	**334**
3.1	Ergebnisse der Standorte in Mecklenburg-Vorpommern	334
3.1.1	Winterkulturen in Gülzow	334
3.1.2	Sommerkulturen in Gülzow	340
3.1.3	Gärversuch von ausgewählten Kulturen	344
3.2	Ergebnisse der Standorte in Bayern	346
3.2.1	Winterkulturen in Aholfing und Ascha	346
3.2.2	Sommerkulturen in Aholfing	350
3.2.3	Auswirkungen des Herbizideinsatzes	352
3.2.4	Erntezeitreihen	353
4	**Zusammenfassung**	**356**
5	**Literaturverzeichnis**	**358**
6	**Anhang**	**359**

1 Einleitung und Zielstellung

Im Jahr 2000 wurde das 1990 verabschiedete Stromeinspeisungsgesetz durch das „Deutsche Gesetz für den Vorrang Erneuerbarer Energien“ oder kurz „Erneuerbare-Energien-Gesetz“ (EEG) ersetzt. Erhöhte Fördersätze und festgesetzte Förderzeiträume schufen eine Planungssicherheit für Anlagenbetreiber und Investoren. In der novellierten Fassung des EEG (Juli 2004) wurde die Vergütung von Strom aus Biomasse neu geregelt. Über die Besserstellung kleinerer Anlagen mit einer installierten elektrischen Leistung bis 150 $KW_{el.}$ und die Einführung eines Bonussystems wurden günstige ökonomische Rahmenbedingungen für den Einsatz Nachwachsender Rohstoffe („NawaRo-Bonus“) besonders in landwirtschaftlichen Biogasanlagen geschaffen. Ein hohes Investoreninteresse spiegelte sich in der vom Fachverband Biogas vorgenommenen Prognose wieder. Bis zum Jahr 2010 werden 8000 Anlagen Strom einspeisen (2006 ca. 4000). In einer vom Landwirtschaftsministerium Mecklenburg-Vorpommern herausgegebenen Broschüre (Bio-Energieland M-V, 2006) wird für diesen Zeitraum bis 2010 in Mecklenburg-Vorpommern mit einem Anstieg der elektrischen Anschlussleistung von etwa 110 MW bei einem Flächenbedarf für die Biomasseproduktion von 55.000 Hektar ausgegangen. Für den Zeitraum bis 2020 nennen die Autoren als Zielgröße ein Drittel der Ackerfläche (345.000) für den Anbau von „Energiepflanzen“ für die Biogasproduktion. Die Auswirkungen dieser Entwicklung, die immer auch vor dem Hintergrund einer nachhaltigen Energieversorgung, des Klima-, Natur- und Umweltschutzes diskutiert werden, sind heute kaum prognostizierbar. Die Landwirtschaft steht vor einer großen Herausforderung, die viele Chancen bietet, aber auch Risiken birgt.

In einer Abhandlung zur Biogasgewinnung in der Landwirtschaft aus dem Jahre 1953 (POCH) wird bereits darauf hingewiesen, dass „*wenn wir […] den Weg gehen wollen, aus der ungeheuren großen Menge pflanzlicher Abfallstoffe […] Energie durch die Erzeugung von Methan zu gewinnen, so können wir als Bodenwirte nur folgen, wenn Gewissheit besteht, dass dadurch niemals eine Verschlechterung unserer Humuswirtschaft eintritt […]*“.

In der Bundesrepublik Deutschland wurden im Jahr 2007 auf über 2 Millionen Hektar (17 % der Ackerfläche Deutschlands) Nachwachsende Rohstoffe angebaut. Dabei handelt es sich allerdings um nur wenige Arten. Beispielsweise dominiert Mais bei der Erzeugung von Biogas, ein sehr großer Anteil der Fläche wird allerdings auch mit Raps für die Produktion von Biokraftstoffen belegt. Der einseitige hoch konzentrierte Anbau von leistungsfähigen Feldfrüchten kann bereits nach einem relativ kurzfristigen Rotationsumlauf zu Ertragsbeeinträchtigungen durch so genannte Fruchtfolgekrankheiten führen. Die Anzahl der auf diesen Standorten anbauwürdigen Pflanzen ist jedoch noch so hoch, dass durch eine entsprechende Artenfolge konzentrationsbedingte Krankheiten, sowie die Ausbreitung von Unkräutern und tierischen Schädlingen eingegrenzt werden können. Während auf den mittleren und guten Ackerböden der Erhalt der Bodenfruchtbarkeit trotz hoher Abfuhr von Biomasse gewährleistet werden kann, bereitet die gleiche Produktionsweise auf den grundwasserfernen Sandstandorten erhebliche Probleme. Grundwasserferne Sandböden treten in Deutschland sowohl kleinflächig als auch großflächig auf. Auf diesen Standorten sind nur Roggen, Lupinen und Sommermenggetreide relativ ertragssicher. Silomais, leistungsstarke Futterpflanzen und Kruziferen können nur bei anstehendem Grundwasser angebaut werden. Die Erweiterung des Artenspektrums auf den Sandböden stellt nicht nur aus phytosanitärer Sicht eine zwingende Notwendigkeit dar, sondern ist auch gleichermaßen zum Erhalt der Bodenfruchtbarkeit erforderlich, da der Erhalt des standortspezifischen Humusspiegels nicht nur für die

Steigerung landwirtschaftlicher Erträge, sondern auch als Senke für atmosphärisches Kohlenstoffdioxid eine große Bedeutung hat (REUTER et al., 2007). Die Abfuhr von Biomasse anderer Arten zur Energieerzeugung kann bei dem derzeitigen Anbauverhältnis auch dann nicht befürwortet werden, wenn das gesamte Stroh in den Boden eingearbeitet wird. Die niedrigen Stroherträge und das weite C:N - Verhältnis gewährleisten nicht die einfache Reproduktion der Bodenfruchtbarkeit auf diesen Standorten bei gleichzeitig geringer Tierhaltung. Die Abfuhr von Biomasse würde auf diesen Grenzstandorten in kurzer Zeit zu einem Humus- und Fruchtbarkeitsverlust führen, der eine wirtschaftliche agrarische Produktion ausschließt (MAKOWSKI, 2004).

In Europa geht es zu Beginn des 21. Jahrhunderts nicht nur um die Nahrungsmittelproduktion. Der Landwirt als Energiewirt hat durch umweltgerechte Bewirtschaftungsformen eine neue Perspektive und seine Leistungen werden von der Gesellschaft honoriert. Der Wandel der Ansprüche an die Landwirtschaft erfordert gleichfalls einen Wandel in den Anbausystemen.

Verband sich mit der Novellierung des EEG anfangs noch die Hoffung, die durch Konzentration auf wenige landwirtschaftliche Fruchtarten verarmte Kulturlandschaft durch den vielseitigen Anbau von „Energiepflanzen“ bereichern zu können, wird heute von vielen Seiten - auch auf Grund stark gestiegener Rohstoffpreise - befürchtet, dass diese Entwicklung zu einer Intensivierung der Landwirtschaft insgesamt und zum einseitigen Maisanbau bei der Energiepflanzenproduktion führen wird. Der Mais eignet sich wegen vieler günstiger Eigenschaften zwar sehr gut für die Energiepflanzenerzeugung, aber seine Einordnung in Fruchtfolgen mit hohen Weizenanteilen und sein Anbau auf trockenen Sandböden sind nicht unproblematisch. Neben der ertraglichen und ökonomischen Betrachtung dürfen deshalb folgende, nachstehende Fragestellungen nicht vernachlässigt werden, um eine nachhaltige landwirtschaftliche Energieerzeugung zu gewährleisten:

- Wie wirkt sich der Anbau auf die Biodiversität aus?
- Wie wird die Produktionsintensität gegenüber dem Maisanbau verändert (Energieeffizienz, Klimarelevanz, Nachhaltigkeit)?
- Ist die Ertragssicherheit mit herkömmlicher Anbau- und Erntetechnik gegeben?

Eine stärkere Orientierung zu ökologischen Bewirtschaftungsformen in der Landwirtschaft in den neunziger Jahren des letzten Jahrhunderts und die Notwendigkeit, eine höhere Ertragsstabilität auf den Grenzstandorten zu erreichen, haben zu einer „Wiederentdeckung“ des Mischanbaus im Ackerbau geführt, da durch dieses Anbausystem auch die Anwendung chemischer Pflanzenschutzmittel herabgesetzt bzw. minimiert werden kann. Und das verwundert nicht: waren es im besonderen Maße, unter Einbeziehung der Mineraldüngung, diese Betriebsmittel, die durch eine ständige Weiterentwicklung und Verfügbarkeit eine intensive Bestandesführung von Reinsaaten ermöglichten und den Mischanbau nahezu in Vergessenheit geraten ließen.

Ziel des Mischanbaus ist es, auf weniger ertragreichen Standorten bei einem niedrigeren Intensitätsniveau höhere und vor allem stabilere Erträge als mit Reinsaaten zu erreichen. Dieser Effekt begründet sich mit der ausgeglicheneren Reaktion der Mischsaaten auf die Umwelteinflüsse und der Verringerung der Einflüsse durch Schaderreger und Unkräuter. Im Vergleich zu Reinkulturen bilden Mischkulturen meist etwas dichtere Bestände mit etagenartigem Aufbau und erreichen damit eine sehr gute Unkrautunterdrückung. Sollte ein Mischkul-

turbestand doch Verunkrautung über der Schadschwelle aufweisen, ist eine Herbizidbehandlung nicht leicht durchführbar, da immer die Gefahr besteht, einen der Mischungspartner zusammen mit dem Unkraut zu eliminieren. Im Energiepflanzenanbau für die Produktion von Biogas kann jedoch generell ein höherer Unkrautbesatz toleriert werden, da die hochwachsenden Unkräuter zusammen mit der früh geernteten GPS geräumt werden, bevor sie die Samenreife erlangen. Demzufolge dürfte der Mischfruchtanbau besonders für den ökologischen Landbau und trockene Sandböden („Grenzstandorte“) geeignet sein. In Mecklenburg-Vorpommern werden ca. 27 % der Ackerfläche den so genannten Grenzstandorten zugeordnet.

Unter dem Begriff Grenzstandorte werden diejenigen Ackerbaustandorte zusammengefasst, die bei gegebener Marktlage und unter bestimmten agrarpolitischen Rahmenbedingungen nicht kostendeckend produzieren können. Dabei handelt es sich um die natürlichen Standorteinheiten D1, D2 und grundwasserferne D3-Standorte.

Innerhalb des durch das BMELV finanzierten und durch die Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe (FNR) begleiteten Verbundprojektes „Entwicklung und Optimierung standortangepasster Anbausysteme für Energiepflanzen“ stehen zur Erreichung des genannten Zieles im Teilprojekt „Mischfruchtanbau zur energetischen Nutzung auf sandigen Böden“ an der Landesforschungsanstalt für Landwirtschaft und Fischerei Mecklenburg-Vorpommern (LFA) folgende Aufgaben im Vordergrund:

- Prüfung von Futterpflanzen und Körnerfrüchten auf ihre Eignung für den Mischanbau nach bereits erarbeiteten Kriterien,
- Ermittlung und Vergleich der Leistungen von Futterpflanzen und Körnerfrüchten im Mischanbau und in Reinsaat,
- Erarbeitung von Produktionskennziffern,
- Prüfung „verloren gegangener“ Feldfrüchte mit hoher Biomasseleistung, die auf Grund spezifischer Eigenschaften für Sandböden geeignet waren.

2 Material und Methoden

2.1 Standortbeschreibung

2.1.1 Versuchsstandort Gülzow in Mecklenburg-Vorpommern

Der Mischfruchtanbau wird in Mecklenburg-Vorpommern auf zwei Sandstandorten durchgeführt, die beide zur Landesforschungsanstalt in Gülzow (Kreis Güstrow) gehören. Gülzow befindet sich im Bereich der jungpleistozänen Grundmoränenlandschaft mit Geschiebemergel bzw. Geschiebesanden als Ausgangssubstrat. Untersuchungen zur Charakterisierung der Bodendecke durch MENNING und SCHEIL (1995) in Gülzow spiegeln die für die jungpleistozäne Landschaft Mecklenburg-Vorpommerns typische Substratheterogenität mit höchsten Flächenanteilen von Substrattypen aus sandigen Auflagen und tiefer liegenden lehmigen Substraten wieder. Die Substratverteilung ist in Abhängigkeit vom Relief zu sehen und es finden sich, auch durch die landwirtschaftliche Nutzung beeinflusst, kleinräumig lehmige Kuppen und sandige Kolluvien.

Im Bereich des Oberbodens sind überwiegend schwach lehmige Sande mit einem hohen Anteil an Feinsand festgestellt worden; im Unterboden kann von zunehmenden Tonanteilen ausgegangen werden. Auf Grund der Ungleichförmigkeit des Bodensubstrates mit einem Porenvolumen zwischen 36 und 46 % ist der Boden stark verdichtbar.

Der Standort Gülzow befindet sich im Einzugsgebiet der Nebel, so dass der Unterboden teilweise vom Grundwasser bzw. Stauwasser beeinflusst wird. MENNING und SCHEIL (1995) haben trotz Dränung auf dem „Ökofeld“ Gülzow eine Frühjahrsfeuchte über der Feldkapazität festgestellt.

Tabelle 1: Kennzeichnung der Bedingungen an den Standorten in Gülzow

	Ökofeld	**Grenzstandort**
Höhenlage	5 bis 10 m über NN	
Bodentypen	Gleye, Parabraunerde, Kolluvien	Braunerde
Bodenarten des Oberbodens	schwach-lehmige- bzw. schwach-schluffige Sande	schwach-lehmige- bzw. schwach-schluffige Sande
verbreitete Substrate und Substratgruppen	Sand, Sandlehm, Sandtieflehm	Sand, Sandlehm
Ackerzahl	20 bis 25	20 bis 25
Porenvolumina	36 bis 45 %	nicht bekannt
Humusgehalte	1,36 bis 3,44 %	nicht bekannt

nach Menning und Scheil (1995); Gruber et al. (2004)

2.1.2 Versuchsstandort Ascha und Aholfing in Bayern

Der Versuchsstandort Ascha, ca. 20 km nördlich von Straubing auf 430 m über NN gelegen, repräsentiert die Standorte der Vorgebirgs- und Mittelgebirgsregionen mit schlechten bis mittleren Böden, einer niedrigen Temperatursumme und einer guten bis sehr guten Wasserversorgung. Die durchschnittliche Jahrestemperatur beträgt 7,5 °C bei einer jährlichen Niederschlagssumme von 807 mm. Die Standortbedingungen sind in Tabelle 2 dargestellt. In Ascha kamen die winterannuellen Mischungen zum Anbau.

Sowohl winter- als auch sommerannuelle Mischkulturen wurden in der Donauaue bei Aholfing, ca. 10 km nordwestlich von Straubing, geprüft. Der Standort Aholfing liegt in der Gunstlage des Gäubodens auf 325 m über NN mit einer durchschnittlichen Jahrestemperatur von 8,3 °C und einer jährlichen Niederschlagssumme von 658 mm. Aholfing ist zwar erheblich trockener als Ascha, aufgrund des Temperaturverlaufs lassen sich hier dennoch im Allgemeinen höhere Erträge erzielen.

Tabelle 2: Kennzeichnung der Bedingungen an den Standorten Ascha und Aholfing

	Ascha	**Aholfing**
Höhenlage	43 m über NN	325 m über NN
Bodentypen	Braunerde	Braunerde
Bodenarten des Oberbodens	lehmiger Sand	sandiger Lehm
verbreitetes Ausgangsmaterial	Granite und Gneise mit geringen Lössbeimengungen	nicht bekannt
Ackerzahl	47	40
Humusgehalte	2,2 %	nicht bekannt

2.2 Wetterdaten

2.2.1 Wetterdaten am Versuchsstandort Gülzow

Der Untersuchungsstandort befindet sich im Bützow-Güstrower Becken und ist durch maritimes Binnenklima beeinflusst. Das langjährige Mittel der jährlichen Niederschlagssumme beträgt 542 mm, die mittlere Lufttemperatur liegt bei 8,3°C. Die Monate Juni und Juli weisen im Durchschnitt die höchsten Niederschlagssummen auf.

Das Untersuchungsjahr 2005 war dadurch gekennzeichnet, dass die monatlichen Durchschnittstemperaturen in den Monaten April bis Oktober außer im August durchgehend höher lagen als im langjährigen Mittel (siehe Anhang). Trotz der im Mittel um 1,7 °C höheren Temperaturen hatte auch noch der späte April bemerkenswerte Tagestiefsttemperaturen bis -7°C. Die Niederschlagssumme der Monate Januar bis November wich im Vergleich zum langjährigen Mittel kaum ab, wohl aber die Niederschlagsverteilung. Die Monate März, April, Juni und August 2005 zeigten Niederschlagsdefizite bis zu 38 mm, während der Mai, Juni und September deutlich mehr Regen im Vergleich zum langjährigen Mittel brachte. Dabei ist hervorzuheben, dass es im April 2005 nur ein Niederschlagsereignis mit 12 mm und zwei

weiteren mit Niederschlagsmengen < 1 mm gegeben hat. Ebenso war die zweite Junihälfte bis in den Juli hinein sehr trocken; die Abweichungen zum langjährigen Mittel im Juli lassen sich durch zwei Niederschlagsereignisse erklären. Entsprechend war die klimatische Wasserbilanz zwischen März und August mit Ausnahme des Monats Juli (+1 mm) negativ. Im Juni wurde mit -77 mm das höchste Defizit der klimatischen Wasserbilanz verzeichnet.

Die Winterkulturen wurden in Gülzow Anfang September, in Bandow Mitte September gedrillt. Der späte Termin in Bandow ist durch die windexponierte Lage des Versuchfeldes zu erklären, wodurch die erste Anlage verweht und damit wiederholt angelegt werden musste. Da die Monate September und Oktober mit 2,3 °C bzw. 2,5 °C über dem langjährigen Mittel als mild eingeschätzt werden können und zudem ausreichend Regen fiel, waren die Bedingungen für die Entwicklung der Pflanzen gut.

Die Vegetationsperiode 2005/06 war zunächst durch die überdurchschnittlich warmen Monate September und Oktober gekennzeichnet. Entsprechend üppig gingen die Winterkulturen in die Vegetationsruhe, die Mitte November bei sich dem langjährigen Mittel langsam annähernden Temperaturen einsetzte. Die Dezembertemperaturen waren durchschnittlich. Erste Nachtfröste härteten die Kulturen ab, die zum Jahresausklang durch eine Schneedecke geschützt wurden. Die mittleren monatlichen Niederschläge des letzten Jahresdrittel 2005 bewegten sich mit Ausnahme des Septembers, der die im Vergleich zum langjährigen Mittel 1,5-fache Niederschlagsmenge brachte, im gewohnten Rahmen. Die gemessenen Temperaturen des ersten Quartals 2006 lagen unter denen des langjährigen Mittels; die Vegetationsruhen wurde zwischen Dezember und Februar nicht unterbrochen. Der Januar war vergleichsweise trocken. Die ersten beiden Aprildekaden brachten kühle und unbeständige Witterung, die zum Monatswechsel durch frühlingshafte Temperaturen abgelöst wurde. Die phänologische Entwicklung zu diesem Zeitpunkt kann, gemessen an langjährigen Beobachtungen, als normal eingestuft werden. Ausgehend vom langjährigen Mittel könnten die Maitemperaturen ebenfalls als durchschnittlich eingeschätzt werden, jedoch folgte der ersten, sommerlich warmen Monatshälfte eine zweite, sehr kühle und auch feuchte Hälfte. Die Niederschlagssumme der Monate April und Mai wich im Vergleich zum langjährigen Mittel nach oben ab. Die erste Junidekade war weiterhin kühl; danach folgte ein überdurchschnittliches Wärmeangebot mit deutlich zu geringen Niederschlagssummen bis Ende Juli. Die Augusttemperaturen glichen sich bei fast täglichen, teilweise schauerartigen Regen dem langjährigen Mittel an. Die für den August typischen Niederschlagsmengen von durchschnittlich 50 mm lagen 2006 viermal so hoch.

Die Vegetationsperiode 2006/07 war zur Herbstaussaat bis einschließlich Dezember ebenfalls durch im Vergleich zum langjährigen Mittel höhere durchschnittliche Monatstemperaturen gekennzeichnet. Bis Ende November lag die Tagesdurchschnittstemperatur nur zweimal unter 5 °C, Entsprechend üppig entwickelt gingen die Winterkulturen in die Mitte November einsetzende Vegetationsruhe, die in den warmen Wintermonaten Dezember und Januar immer wieder durchbrochen wurde. Die mittleren monatlichen Niederschläge des letzten Jahresdrittel 2006 bewegten sich mit Ausnahme des Septembers und Dezembers, die im Vergleich zum langjährigen Mittel etwa 75 % der Niederschlagsmenge brachten, im gewohnten Rahmen. Die gemessenen Temperaturen des ersten Quartals 2007 lagen deutlich über denen des langjährigen Mittels, so dass der Vegetationsbeginn bereits Mitte März einsetzte und die Sommerkulturen gedrillt werden konnten. Die Monate Januar verzeichneten mit fast 90 bzw. über 40 mm im Vergleich sehr hohe Niederschläge. Der April und die ersten Maiwochen waren durchweg trocken, so dass die Saat verzögert und nur unvollständig auflief, wäh-

rend für die Winterkulturen auf Grund des ausreichenden Bodenwassers und immer noch überdurchschnittlicher Temperaturen gute Wachstumsbedingungen herrschten. In der Summe brachte der Mai jedoch deutlich mehr Regenwasser, als der langjährige Durchschnitt, ebenso wie die Folgemonate Juni bis August mit sogar außergewöhnlich hohen Niederschlagssummen.

2.2.2 Wetterdaten der Versuchsstandorte Ascha und Aholfing

Die Jahre 2005 bis 2007 waren an den bayerischen Standorten Ascha und Aholfing im Vergleich zum langjährigen Mittel überdurchschnittlich warm und niederschlagsreich (siehe Anhang). Der Herbst 2005 war im Vergleich zum langjährigen Mittel deutlich trockener. Der Winter war außergewöhnlich kalt und anfangs relativ niederschlagsarm. Ab Februar setzten Schnee- und Regenfälle ein, so dass vor Mitte April keine Feldarbeit möglich war. Auch der Mai war niederschlagsreich, ermöglichte aber zusammen mit den idealen Bedingungen im Juni ein optimales Pflanzenwachstum. Der Juli war überdurchschnittlich warm und ausgesprochen trocken und löste bei vielen Kulturen Trockenstress bzw. beschleunigte Abreife aus. Der August 2006 war dagegen sehr feucht und kühl, während die darauf folgenden Herbstmonate insgesamt sehr mild und trocken waren. Der Winter 2006/2007 war zuerst noch recht niederschlagsarm. Die Monate Januar und Februar brachten aber deutlich höhere Niederschläge als im langjährigen Mittel. Zur Aussaat der Sommerkulturen im April 2007 wiederum herrschten sowohl in Ascha als auch in Aholfing sehr trockene Bedingungen. Die Monate Mai bis Juli waren sehr niederschlagsreich und überdurchschnittlich warm. Hingegen waren August und September 2007 etwas kühler als das langjährige Mittel.

Im Vergleich der beiden bayerischen Standorte sind die Monatsmittel der Lufttemperaturen vergleichbar, während die Niederschlagssummen in Ascha im Allgemeinen höher sind als in Aholfing. Normalerweise ist zwischen den beiden Versuchsstandorten Aholfing und Ascha ein deutliches Ertragsgefälle feststellbar, da die eher harschen Winter in Ascha die Bestände beeinträchtigen. Eine Ausnahme stellt der milde Winter 2006/2007 dar. In dieser Vegetationsperiode sind keine Ertragsunterschiede zwischen den Standorten in den Kulturen Wintergerste, Winterroggen und Winterraps zu erkennen.

2.3 Versuchsaufbau der Mischkulturversuche

Im Mischfruchtanbau soll geprüft werden, ob sich über eine höhere Ertragsstabilität, Nutzungselastizität und Unkrauttoleranz als auch eine optimierte Zusammensetzung der Inhaltsstoffe im Vergleich zu Reinkulturen Vorteile für den Energiepflanzenanbau ergeben. Die Artenmischungen sind weder additiv noch substitutiv aufgebaut, sondern wurden, um den Anforderungen der einzelnen Mischungspartner Rechnung zu tragen, individuell modular zusammengestellt. Dabei wurden verschiedene Winterkulturen in Mecklenburg-Vorpommern und in Bayern an jeweils zwei Standorten getestet. Die verschiedenen Reinsaaten und Gemenge der Sommerkulturen wurden in Mecklenburg-Vorpommern ebenso an beiden Standorten, in Bayern jedoch nur an einem Standort getestet. Als zusätzlicher Versuchsfaktor wurde eine Herbizidvariante in die Mischkulturversuche integriert.

2.3.1 Versuchsaufbau Gülzow

Die Versuchsanlage ist eine einfaktoriellen Blockanlage mit vier Wiederholungen. Die Zusammenfassung bestimmter Kulturen und deren Gemenge zu Gruppen haben den Hintergrund, weitestgehend Randeffekte ausschließen zu können, ohne dass der Versuch insgesamt zu breit wird.

Beim Winterroggen und bei der Wintergerste wurde jeweils eine Variante mit und ohne Herbizid angelegt. Die Aussaat erfolgte in Gülzow auf beiden Standorten in der ersten Septemberdekade. Die Sorten und Saatstärken der jeweiligen Kulturen sowie die Menge des ausgebrachten Stickstoffs sind in Tabelle 3 aufgeführt. Der Aussaattermin stellte einen Kompromiss an die unterschiedlichen Ansprüche der geprüften Kulturen dar und ist für die Reinsaaten nicht optimal. Mit Ausnahme des Welschen Weidelgrases gab es für keine andere aufgeführte Kultur eine Zulassung. Bacara wurde mit 0,8 l/ha appliziert.

Die Stickstoffgabe für Winterrübsen in Reinsaat und im Gemenge wurde gesplittet. Die Ernte des Winterroggens und Gemenge erfolgte zum Grannenspitzen. Auf dem Versuchsstandort Gülzow wurden über Biomasseschnitte der genannten Varianten zur Blüte und Teigreife des Winterroggens weitere Ertragsschätzungen vorgenommen. Die Leguminosen wurden in Reinsaat zu Blühbeginn geerntet; die Ernte der Leguminosen im Gemenge richtete sich nach den Mischungspartnern.

Die wesentlichen Informationen zu Sorten, Saatstärken, Nutzungsform und Düngung der Sommerungen sind in Tabelle 4 dargestellt. Für die Körnernutzung der Lupine wurde die Sorte Boruta und für die Ganzpflanzennutzung die großwüchsige Sorte Borlu gewählt. Die Aussaat konnte auf Grund der Witterung Ende März erfolgen.

Bei der Ernte des Mais und der Mais/Bokharaklee - Mischung wurde der Erntetermin auf die Siloreife des Mais gelegt, beim Sudangras und den Sudangrasgemengen war das Ziel, einen Trockensubstanzgehalt von 28 % im Erntegut zu erreichen. Die Getreidearten und die Getreidegemenge wurden zum BBCH 77-83 bei der Ganzpflanzennutzung und zur Körnerreife bei der Körnernutzung geerntet. Der Erntezeitpunkt der Lupine und Saflor in den Mischungen richtete sich nach den Gemengepartnern; die Ernte der Reinsaaten wurde ebenfalls an den jeweiligen Gemengepartnern ausgerichtet. Der Bokharaklee hingegen wurde in Reinsaat erst im September geschnitten, da vorher weder Trockensubstanzgehalt noch Erntemengen für einen früheren Zeitpunkt gesprochen hätten. Zur Ernte der Hafer/Bokharaklee - Mischung wurde jedoch zur Einschätzung der relativen Gesamterträge der Gemenge gegenüber den Reinsaaten ein Biomasseschnitt vorgenommen.

Tabelle 3: Übersicht Winterung: Varianten, Sorten, Saatstärke und Düngung

Reinsaaten				
Nr.	Kultur	Sorte	Saatstärke [kg/ha]	Düngung [kg N/ha]
1	W.Roggen	Avanti	180*	80
2	W.Gerste	Merlot	300*	80
3	W.Weidelgras	Fabio	40	80
4	W.Rübsen	Perko PVH	10	120
5	W.Wicke	Dr. B. Ostsaat	100	0
6	Bokharaklee		25	0
7	Inkarnatklee	Linkarus	30	0
Gemenge				
Nr.	Kulturen	Sorten	Saatstärke [in % der Reinsaat]	Düngung [kg N/ha]
8	Wickroggen	Avanti, Dr. B. Ostsaat	80/50	60
9	W.Roggen + Bokharaklee	Avanti	80/100	60
10	W.Gerste + W.Rübsen	Merlot, Perko PVH	80/60	120
11	W.Gerste + W.Rübsen + W.Wicke	Merlot, Perko PVH, Dr. B. Ostsaat	60/40/30	100
12	W.Weidelgras + Inkarnatklee	Fabio	80/20	60
13	Landsberger Gemenge		75/33/20	60

*keimfähige Körner/m^2

Tabelle 4: Übersicht Sommerung: Varianten, Sorten, Saatstärke und Düngung

Reinsaaten					
Nr.	Kultur	Sorte	Nutzung	Saatstärke [k.f.Kö/m^2]	Düngung [kg N/ha]
1	Mais	Lacta	GPS	8	120
2	Sudangras	Susu	GPS	30*	120
3	S.Roggen	Sorum	GPS	330	80
4	S.Gerste	Djamila	GPS	280	80
5	Hafer	Revisor	GPS	320	80
6	Bokharaklee		GPS	25*	0
7	Lupine	Borlu	GPS	90	0
8	Saflor	Sabina	GPS	30*	80
Gemenge					
Nr.	Kulturen	Sorten	Nutzung	Saatstärke [in % der Reinsaat]	Düngung [kg N/ha]
9	Mais + Bokharaklee		GPS	75/50	80
10	Sudangras + Bokharaklee		GPS	75/50	80
11	Sudangras + Lupine		GPS	75/50	80
12	S.Roggen + S.Gerste + Hafer		GPS	50/50/50	80
13	S.Roggen + Bokharaklee		GPS	75/50	60
14	Lupine + Bokharaklee + S.Gerste		GPS	50/50/50	60
15	Lupine + Saflor + S.Gerste		GPS	50/50/50	60
16	Lupine + S.Gerste		GPS	75/75	60

*[kg/ha]

2.3.2 Versuchsaufbau in Ascha und Aholfing

Die Varianten der Winterungen im Mischkulturversuch stimmen weitgehend mit den in Mecklenburg-Vorpommern getesteten Varianten überein (Tabelle 5). Auf den Standorten in Bayern wurde zusätzlich der Winterraps in Reinsaat und im Gemenge geprüft, dafür auf das Prüfglied Kleegras verzichtet. Ferner wurden Erntezeitpunkte teilweise unterschiedlich festgelegt. Als Versuchsdesign wurde für beide Standorte eine Blockanlage gewählt.

Tabelle 5: Übersicht zu Varianten, Sorten, Saatstärken und Düngung der getesteten Winterungen in Bayern an den Standorten Ascha und Aholfing

Reinsaaten

Nr.	Kultur	Sorte	Saatstärke [kg/ha]	Düngung [kg N/ha]
1	W.Gerste	Merlot	167	130
2	W.Roggen	Pollino	100	130
3	W.Raps	Elektra	4,8	180
4	W.Rübsen	Perko PVH	3,4	180
5	W.Wicken	Dr. B. Ostsaat	50	0
6	Welsches Weidelgras	Taurus	34,8	100
7	Steinklee	Steinklee gelb	25	0
8	Inkarnatklee	Linkarus	30	0

Gemenge

Nr.	Kulturen	Sorten	Saatstärke [in % der Reinsaat]	Düngung [kg N/ha]
9	Wickroggen	Pollino, Dr. B. Ostsaat	80 / 40	105
10	Landsberger Gemenge	Taurus, Dr. B. Ostsaat, Linkarus	85 / 40 / 45	80
11	W.Gerste + W.Rübsen + Wicke	Merlot, Perko PVH, Dr. B. Ostsaat	70 / 40 / 30	150
12	W.Gerste+ W.Rübsen	Merlot, Perko PVH	70 / 50	150
13	W.Roggen + Steinklee	Pollino, Steinklee gelb	80 / 80	105
14	W.Raps + Wicken	Elektra, Dr. B. Ostsaat	60 / 40	110

Insbesondere bei den geprüften Varianten der Sommerkulturen gab es Unterschiede zwischen den Standorten in Mecklenburg-Vorpommern und in Bayern (Tabelle 6). Im Gegensatz zu Gülzow wurde neben der Ganzpflanzenernte keine Körnerernte durchgeführt. Leindotter wurde in Reinsaat und im Gemenge mit Sommergerste und Futtererbse als Ganzpflanze geerntet. Neben Leindotter und Saflor wurde mit Senf in Ascha und Aholfing eine weitere Ölpflanze geprüft. Auf Mais, Sudangras und deren Gemenge wurde verzichtet.

Tabelle 6: Übersicht zu Varianten, Sorten, Saatstärken und Düngung der getesteten Sommerungen in Bayern an dem Standort Aholfing

Reinsaaten

Nr.	Kultur	Sorte	Saatstärke [kg/ha]	Düngung [kg N/ha]
1	S.Gerste	Djamila	156	120
2	Futtererbse	Santana	279	0
3	Blaue Lupine	Boruta	151	0
4	Leindotter	Ligena	5,2	100
5	Senf	Samba	10,5	120
6	Saflor	Sabina	24,4	100

Gemenge

Nr.	Kulturen	Sorten	Saatstärke [in % der Reinsaat]	Düngung [kg N/ha]
7	S.Gerste + Erbse	Djamila, Santana	75 / 75	90
8	S.Gerste + Leindotter	Djamila, Ligena	80 / 50	110
9	S.Gerste + Saflor	Djamila, Sabina	90 / 60	110
10	Erbse + Leindotter	Santana, Ligena	100 / 50	50
11	Lupine + Saflor	Boruta, Sabina	50 / 60	70
12	Lupine + Saflor + S.Gerste	Boruta, Sabina, Djamila	50 / 50 / 50	80
13	S.Gerste + Senf	Djamila, Samba	80 / 50	120
14	S.Gerste + Senf + Erbse	Djamila, Samba, Santana	50 / 50 / 30	80

Wie auch in Mecklenburg-Vorpommern wurde in den Reinsaaten der Winterkulturen (Wintergerste, Winterroggen, Winterraps) sowie der Sommerkulturen (Sommergerste, Futtererbse, Blaue Lupine, Leindotter) eine Herbizidvariante integriert.

Zusätzlich wurde in Bayern in der Vegetationsperiode 2006/2007 ein Versuch zum idealen Erntezeitpunkt in den Mischkulturversuch integriert, da bezüglich des Erntezeitfensters für Ganzpflanzensilagen (GPS) in der Praxis noch viele Fragen offen sind. Eine frühe Räumung der Erstfrucht erlaubt eine längere Kulturdauer der meist ertragreicheren Zweitfrucht (schnell wachsende Kulturen wie Mais, Sonnenblume, Sorghumhirsen oder Futtergräser und deren Mischungen). Daher wird oft eine Ernte des GPS-Getreides zum Grannenspitzen empfohlen. Wird der ersten Kultur eine längere Vegetationszeit eingeräumt, verbessern sich die Silierei-genschaften mit steigendem Trockensubstanzgehalt enorm, ein Anwelken des Schnittgutes mit der Gefahr der Verschmutzung ist nicht mehr nötig und der Trockenmasseertrag sowie der Energiegehalt des Aufwuchses steigen. Kritisch gesehen wird allerdings ein zu starkes Abreifen der Pflanzenbestände über die Teigreife hinaus, da dann der hohe Trockensubstanzgehalt ein verlustarmes Einsilieren verhindert und die Verdaulichkeit des Materials durch die Lignifizierung vermindert wird. Bevor geklärt werden kann, wie die Erntezeitpunkte der Kulturen in einem Anbausystem mit schnell folgender Zweitfrucht gestaltet werden sollten, müssen zuerst die optimalen Erntezeitpunkte der GPS-Kulturen ermittelt werden, an

denen sich Biomassegewinn durch weitere Abreife und Biogasverlust durch verminderte Verdaulichkeit aufheben. Ziel der zusätzlich in die Mischkulturversuche integrierten Erntezeitreihen war eine Ermittlung der Trockenmasseerträge und Trockensubstanzgehalte bedeutender GPS-Kulturen im Reinanbau.

2.4 Datenerhebung und Berechnung der Biogaserträge

Die Datenerfassung erfolgt im Verbundprojekt nach einheitlichen Kriterien. In allen Versuchen wurden zu festgelegten Wuchsstadien Daten zur Bodenbedeckung der Kulturen sowie des Unkrautbesatzes, zum Krankheits- und Schädlingsbefall und zur Bestandeshöhe erhoben und durch regelmäßige Bodenproben sowie Wetterdaten der Region ergänzt. Zur Ernte wurden bei den Gemengen der Mischkulturversuche die einzelnen Massenanteile bestimmt.

Von allen Kulturen wurden Pflanzenproben zur Trockensubstanzbestimmung und zur Analyse der Inhaltsstoffe entnommen. Über die Inhaltsstoffe und die Trockenmasseerträge wird mittels Schätzformeln die Biogas- und Methanausbeute je kg organischer Trockenmasse (im Folgenden je kg oTM), die Biogas- und Methanerträge in Kubikmeter je Hektar und der Heizwert der jeweiligen Kultur bestimmt. Dabei sind für jede Kultur wuchsstadienspezifische Verdaulichkeitskoeffizienten der relevanten Inhaltsstoffe nötig, die hauptsächlich den DLG-Futterwerttabellen Wiederkäuer (1997) entnommen wurden. Bei den Kulturen Leindotter und Inkarnatklee, für die in der Literatur keine Verdaulichkeitskoeffizienten vorliegen, wurden die Verdaulichkeiten von Rübsen und Rotklee zur Berechnung herangezogen. Die errechneten Biogas- und Methanerträge sowie die Heizwerte wurden bisher noch nicht statistisch analysiert. Für die Mischkulturversuche und vereinzelte Varianten aus den Fruchtfolgeversuchen ist mit den errechneten Biogaserträgen generell keine statistische Auswertung in Bezug auf signifikante Unterschiede möglich, da nur prüfgliedweise Proben entnommen wurden.

Neben der Berechnung der Biogaspotentiale wurden zum Vergleich die Proben des Erntejahres 2007 von einem Standort in Gülzow Gärversuchen zugeführt. Denn nicht zu allen geprüften Pflanzen existieren Verdaulichkeitskoeffizienten, die für die Berechnung der Biogaspotentiale notwendig sind. Darüber hinaus handelt es sich bei dem „Mischsubstrat“ um heterogenes Ausgangsmaterial.

3 Ergebnisse und Diskussion

3.1 Ergebnisse der Standorte in Mecklenburg-Vorpommern

3.1.1 Winterkulturen in Gülzow

Die vorwinterliche Entwicklung der einzelnen Kulturen auf dem Standort Gülzow verlief 2005 sehr unterschiedlich. Raps, Bokharaklee und auch der Inkarnatklee bildeten keine Bestände. Das Getreide und auch der Winterrübsen gingen sehr üppig entwickelt in die Vegetationsruhe. Auf dem Versuchsstandort Bandow stellte sich die Situation auf Grund der verspäteten Aussaat anders da. Für das Getreide war der Aussaattermin nahezu optimal, für die übrigen Kulturen jedoch deutlich zu spät. Das zeigte sich auch bei der Bestandesbonitur vor der Winterruhe. Zu Vegetationsbeginn entwickelte sich der Roggen auf beiden Standorten gut, die Gerste in Bandow besser als in Gülzow. Die hohen vorwinterlichen Pflanzenbestände bildeten eine dichte, filzige Auflage auf den Parzellen. Raps und die Rapsgemenge wurden auf beiden Standorten als „ausgewintert“ bonitiert. Ebenso der Weißblühende Bokharaklee in Reinsaat und in der Roggenmischung. Der Inkarnatklee wies ebenfalls Winterschäden auf. In Folge der sommerlichen ersten Maihälfte entwickelten sich die Bestände gut, der Winterrübsen jedoch ging sehr schnell, ohne sich zu verzweigen, von der vegetativen in die generative Phase über. Von den Gras- und Kleegrasvariante waren Folgeschnitte auf Grund der lang anhaltenden Trockenheit nicht möglich.

Die Vegetationsperiode 2006/07 unterschied sich insofern, dass trotz des Kompromisses bezüglich des Aussaattermines (02.09.2006) nicht nur das Wintergetreide und der Winterrübsen eine günstige Entwicklung nahmen, sondern auch die Leguminosen und Ackergrasvarianten in Reinsaat und Mischkultur Bestände etablierten. Anders der Weißblühende Bokharaklee in Reinsaat und in der Roggenmischung, der vor Winter ebenso wie im vorangegangenen Versuchsjahr keine winterharten Bestände entwickeln konnte. Nach bisherigen Erfahrungen mit dem Bokharaklee im Projekt Mischfruchtanbau ist ein Aussaattermin, entgegen der gängigen Empfehlungen in der Literatur im September nicht mehr möglich. Auch die in Bayern durchgeführte Variante, den Bokharaklee im Frühjahr in einen Roggenbestand zu eggen, schlug fehl. Der Inkarnatklee hingegen wies im Gegensatz zum Vorjahr in der Frühjahrsbonitur keine Winterschäden auf. Der frühe Beginn der Vegetationszeit in 2007 wirkte sich positiv auf die nachwinterliche Entwicklung der Varianten aus und ließ eine frühe Ernte zu. Beim Weidelgras, dem Kleegras und dem Landsberger Gemenge waren drei Schnitte möglich, da nach dem trockenen April im weiteren Verlauf der Vegetationszeit die Niederschläge für die wasserzehrenden Varianten ausreichend fielen.

Die Gegenüberstellung der Versuchsjahre 2006 und 2007 auf dem Standort Gülzow -Ökofeld zeigt, dass mit den geprüften Varianten im zweiten Versuchsjahr durchweg höhere Biomasseerträge erzielt wurden (Abbildung 1). Die Ertragsunterschiede der einzelnen Varianten sind dabei sehr differenziert zu betrachten. Während in der Summe aller Varianten 2006 nur 49 % der Biomasseerträge des Erntejahres 2007 erreicht wurde, bleiben die Ertragsunterschiede der Varianten Winterroggen ohne Herbizid (-11 %), Winterroggen mit Herbizid (-3 %) und Wickroggen (-1 %) bzw. Winterroggen + Bokharaklee (+3 %) zwischen den Jahren überschaubar. Die Winterroggenvarianten in Reinsaat und im Gemenge mit Steinklee bzw. Winterwicke wurde zum Grannenspitzen des Winterroggens geerntet. Ebenso wie bei allen anderen Prüfvarianten auch, erfolgte die Ernte 2007 zu einem früheren Zeitpunkt, als im Vorjahr. Die Gemenge aus Wintergerste, Winterrübsen und Winterwicken und auch die Winterrübsen in Reinsaat wurden zur Blüte der Winterrübsen geerntet, wo hingegen die Wintergerste in Reinsaat zur Teigreife vom Versuchsfeld genommen wurde. Die durchschnittlichen Mittelwerte der Wintergerste mit und ohne Herbizid unterscheiden sich im Gegensatz zu den

Winterroggenvarianten für das Erntejahr 2007 signifikant. Der starke Unkrautdruck lässt die Herbizidmaßnahme (0,8 l Bacara/ha) unter diesen Standortbedingungen bei Wintergerste sinnvoll erscheinen.

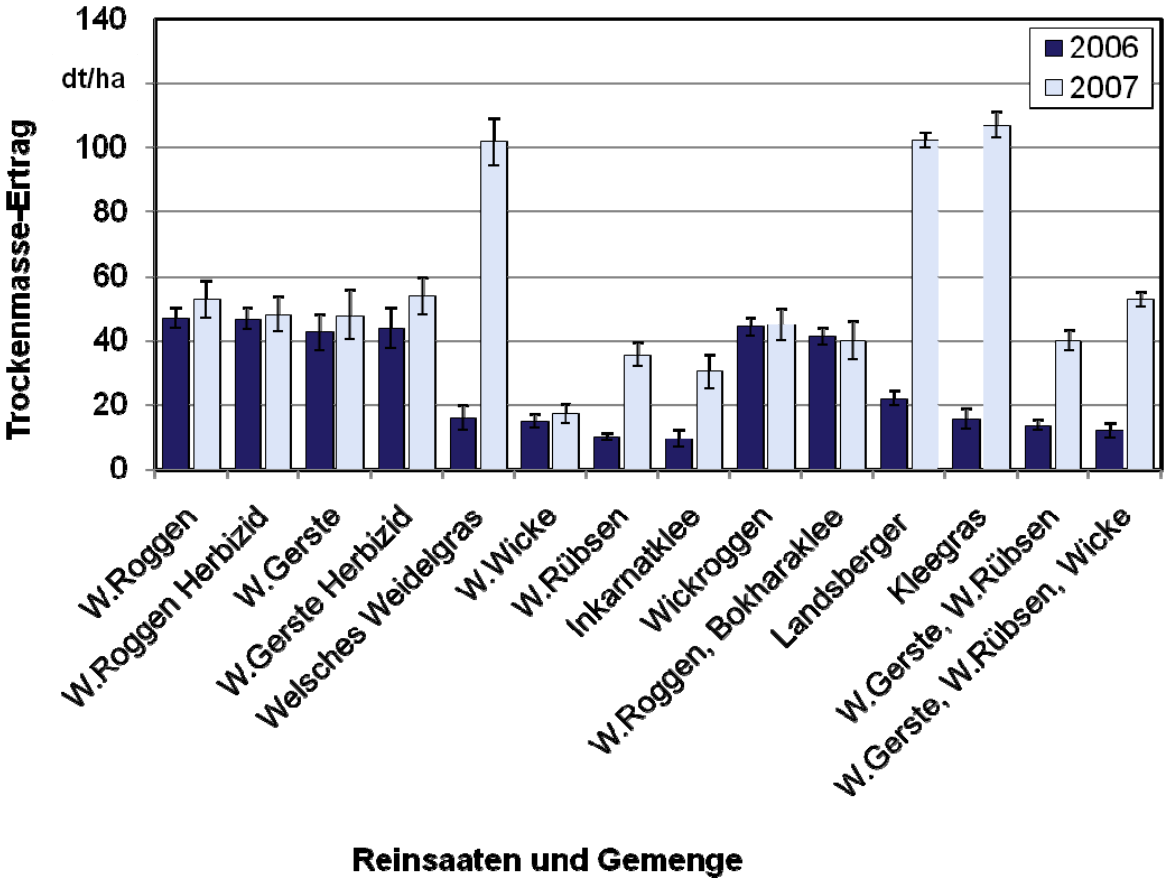


Abbildung 1: Vergleich zwischen den Trockenmasseerträgen der Winterkulturen aus den Erntejahren 2006 und 2007 am Versuchsstandort Gülzow - Ökofeld in Mecklenburg-Vorpommern. Dargestellt sind die arithmetischen Mittelwerte mit n = 4 sowie die Standardfehler.

Für beide Versuchsjahre und alle Varianten gilt, dass ein starker Besatz mit den Leitunkräutern Ackerkrummhals, Kamille und Weißer Gänsefuß festgestellt wurde, der durch ein mehrschnittiges Nutzungsregime in den Kleegrasvarianten 2007 deutlich reduziert werden konnte.

Gegenüber den Winterrübsen in Reinsaat und im Gemenge ist der Jahreseffekt der Varianten Wintergerste mit und ohne Herbizid weniger deutlich ausgeprägt. Zwar besitzt der Winterrübsen eine gegenüber dem Winterraps größere Winterhärte, die sich mit der tieferen Lage des Vegetationskegels erklären lässt, allerdings ist er auf Grund seines früheren Wachstumsbeginn im Frühjahr anfälliger gegenüber Spätfrösten. SEIFFERT (1968) kommt daher zu der Einschätzung, dass die Auswinterungsverluste der Winterrübsen in etwa vergleichbar mit denen des Winterrapses sind. Diese Witterungsbedingungen haben im Erntejahr 2006 große Verluste in den Winterrübsenparzellen bedingt, die auch im Gemenge von den Mischungspartnern Wintergerste und Winterwicke nicht kompensiert werden konnten.

Im Vergleich der Jahre zeigen sich jedoch auf diesem Standort die deutlichsten Effekte bei den Gras- und Kleegrasvarianten. Im Versuchsjahr 2006/2007 erbrachten die Varianten Weidelgras, Kleegras und Landsberger Gemenge mit durchschnittlich über 100 dt TM/ha 2007 in der Summe von drei Schnitten die höchsten Ertragsleistungen auf dem Standort Gülzow Ökofeld. Im Versuchsjahr 2005/2006 war bedingt durch die geringen Niederschläge im Juni und Juli nur ein Schnitt möglich. Aber auch im Vergleich des ersten Aufwuchses, der mit Erträgen von über 50 dt TM/ha im Jahr 2007 in etwa das Ertragsniveau des Wintergetreides hat, zeigt sich ein deutlicher Unterschied gegenüber dem Jahr 2006. An den Folgeaufwüchsen hatten die Mischungspartner Inkarnatklee und Winterwicke keinen Ertragsanteil. Der erste Schnitt erfolgte im zweiten Versuchsjahr am 09. Mai und damit rund zwei Wochen früher, als im Vorjahr. Die Trockensubstanzgehalte dieser Varianten lagen bei ca. 20 %.

Die Ertragsleistung der Prüfglieder Winterwicke und Inkarnatklee fielen erwartungsgemäß hinter den anderen Varianten zurück. Die Winterwicke war in Reinsaat nicht nur auf Grund ihrer niedrigen Ertragsleistung nicht anbauwürdig, sondern auch, weil die Bestände sehr schnell zusammenbrachen und dadurch das Erntegut stark verunreinigt wurde. Der rankende Wuchs der Winterwicke macht diese Kultur allerdings zu einem in vielen Gemengen vertretenen Mischungspartner.

Ein grundsätzlicher Ertragsvorteil der Gemenge gegenüber den entsprechenden Reinsaat lässt sich auf diesem Standort nicht ableiten. Auffallend ist, dass der durchschnittliche Ertrag des Gemenges aus Winterrübsen, Wintergerste und Winterwicke deutlich über der Reinsaat der Winterrübsen lag und mit 52 dt TM/ha im Versuchsjahr 2007 mit der Herbizidvariante der wesentlich später geernteten Wintergerste vergleichbar war.

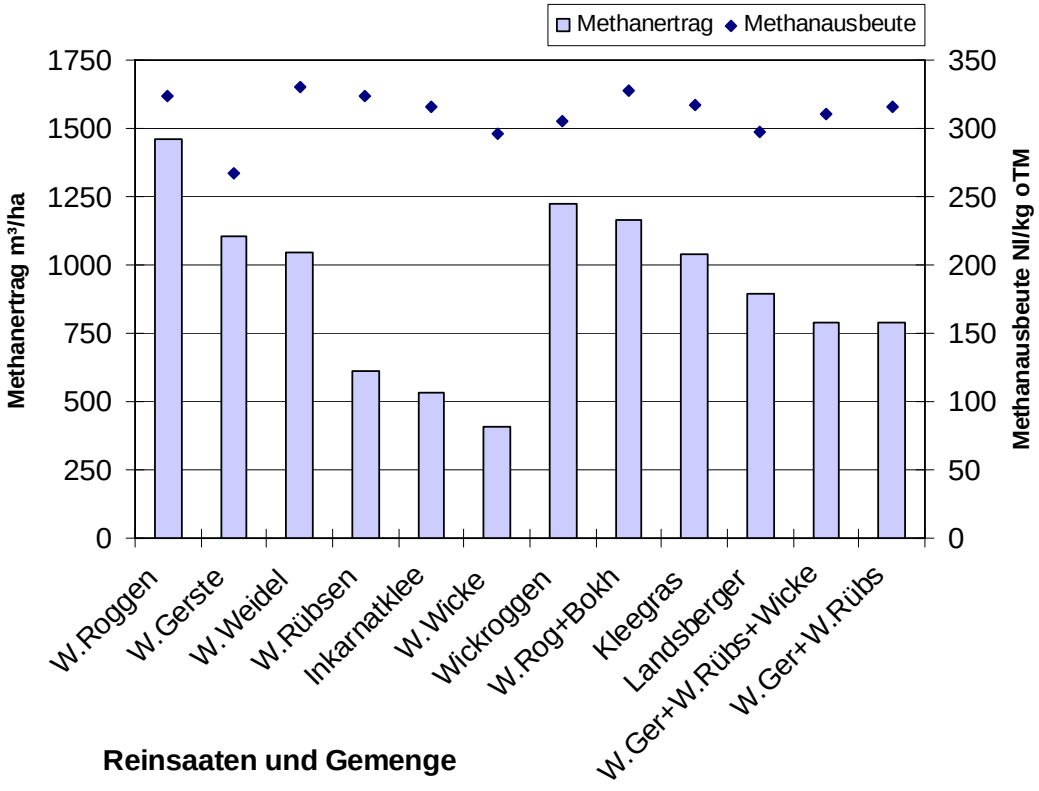


Abbildung 2: Methanerträge im Winterungs-Mischkulturversuch der Versuchsjahre 2006 und 2007(Mittelwerte) am Standort Gülzow - Ökofeld in Mecklenburg-Vorpommern.

Die in Abbildung 2 dargestellten theoretischen Methanerträge in m³/ha bzw. Normalliter/kg organische Trockenmasse wurden mit der bereits erwähnten Rechenformel ermittelt. Zwischen der Variante Winterroggen und der Winterwicke liegen mehr als 1000 m³ Methan/ha. Die in Abbildung 2 nicht dargestellten Methanerträge der Folgeaufwüchse der Gras- und Kleegrasvarianten lagen für den zweiten Schnitt zwischen 600 und 650 m³ Methan/ha bzw. 530 Normalliter Methan/kg oTM und den dritten Aufwuchs zwischen 680 und 760 m³ Methan/ha bzw. 560 Normalliter Methan/kg oTM.

Bezogen auf die organische Trockenmasse wurden durch die Rechenformel Unterschiede von 130 Normalliter/kg oTM oder 20 % zwischen dem Welschen Weidelgras (1. Schnitt) und Wintergerste festgestellt. Die Biomasseerträge der Wintergerste reichten nicht aus, die niedrigeren Methangehalte zu kompensieren, um hohe Methanhektarerträge zu erzielen. Im Vergleich der Reinsaat Winterrübsen bzw. Winterroggen mit den jeweiligen Gemengen, die diese Kulturen als Mischungspartner beinhalten, zeigte sich auch, dass das vermeintliche Argument für den Mischfruchtanbau, durch die Produktion sich qualitativ ergänzender Biomassen höhere Methanausbeuten zu erreichen, durch die rechnerisch ermittelten Methanerträge nicht bestätigt werden konnte.

Auch für den Grenzstandort in Gülzow galt, dass zwischen den Jahren zum Teil erhebliche Unterschiede bezüglich Ernteterminen, Ertrag und Trockensubstanz-gehalten beobachtet werden konnten.

Im Vergleich der Standorte kann festgestellt werden, dass in Gülzow auf dem Versuchsfeld „Grenzstandort“ höhere Erträge erzielt wurden, als auf dem „Ökofeld“. Bei der Betrachtung der durchschnittlichen Erträge aller Varianten auf dem Grenzstandort kann ebenso wie auf dem Ökofeld ein deutlicher Jahreseffekt festgehalten werden. Im Erntejahr 2006 werden sogar nur 40 % der Biomasseerträge des Folgejahres erreicht. Neben den auch für den anderen Standort aufgeführten Gründen kommt hinzu, dass der Versuch zur Anlage Anfang September 2005 durch Winderosion so stark betroffen wurde, dass er Mitte September nochmals angelegt werden musste. Während das Wintergetreide mit dieser Aussaatverzögerung zeitlich näher an den optimalen Aussaattermin gerückt ist, verstärkte dieser Umstand für die übrigen Kulturen, für die auch schon der ursprünglich angedachte Aussaattermin ein Kompromiss dargestellt hat, die schlechten Entwicklungsbedingungen.

Am deutlichsten wird dieser Jahreseffekt wiederum bei den Varianten Gras- und Kleegras sowie Winterrübsen in Reinsaat und im Gemenge. Die summierten Erträge der dreischnittigen Varianten Welsches Weidelgras, Kleegras und Landsberger Gemenge im Versuchsjahr 2006/2007 erzielten auch auf dem Grenzstandort die höchsten Erträge, allerdings auf einem ca. 20 Prozent höheren Ertragsniveau als auf dem Ökofeld. Der Vergleich der beiden ersten Aufwüchse auf dem Grenzstandort zeigte, dass 2006 nur ca. 20 % des Ertragsniveaus des Jahres 2007 erreicht wurde.

Analog zum Ökofeld konnten für die Gemenge aus Winterrübsen, Winterwicke und Wintergerste bzw. Winterrübsen und Wintergerste zwar höhere Erträge als für die Winterrübsen in Reinsaat ausgewiesen werden, aber nur auf dem Grenzstandort und nur im Versuchsjahr 2007 konnten für diese Gemenge Erträge ermittelt werden, die in etwa in Höhe des Versuchsmittels von 64 dt TM/ha lagen. Ebenfalls vergleichbar mit den Ertragsrelationen des anderen Versuchsfeldes war auf dem Grenzstandort die Variante Winterrübsen in Reinsaat. Gegenüber 2006 konnten im Folgejahr zwar deutlich höhere Erträge erzielt werden, die 2007 allerdings auch nur bei 75 % des Versuchsmittels liegen. Das Ertragniveau der Prüfglieder

Winterwicke (25 dt TM/ha) und Inkarnatklee (54 dt TM/ha) war 2007 auf dem Grenzstandort auch deutlich höher als 2006 und ebenso höher als auf dem Standort Ökofeld.

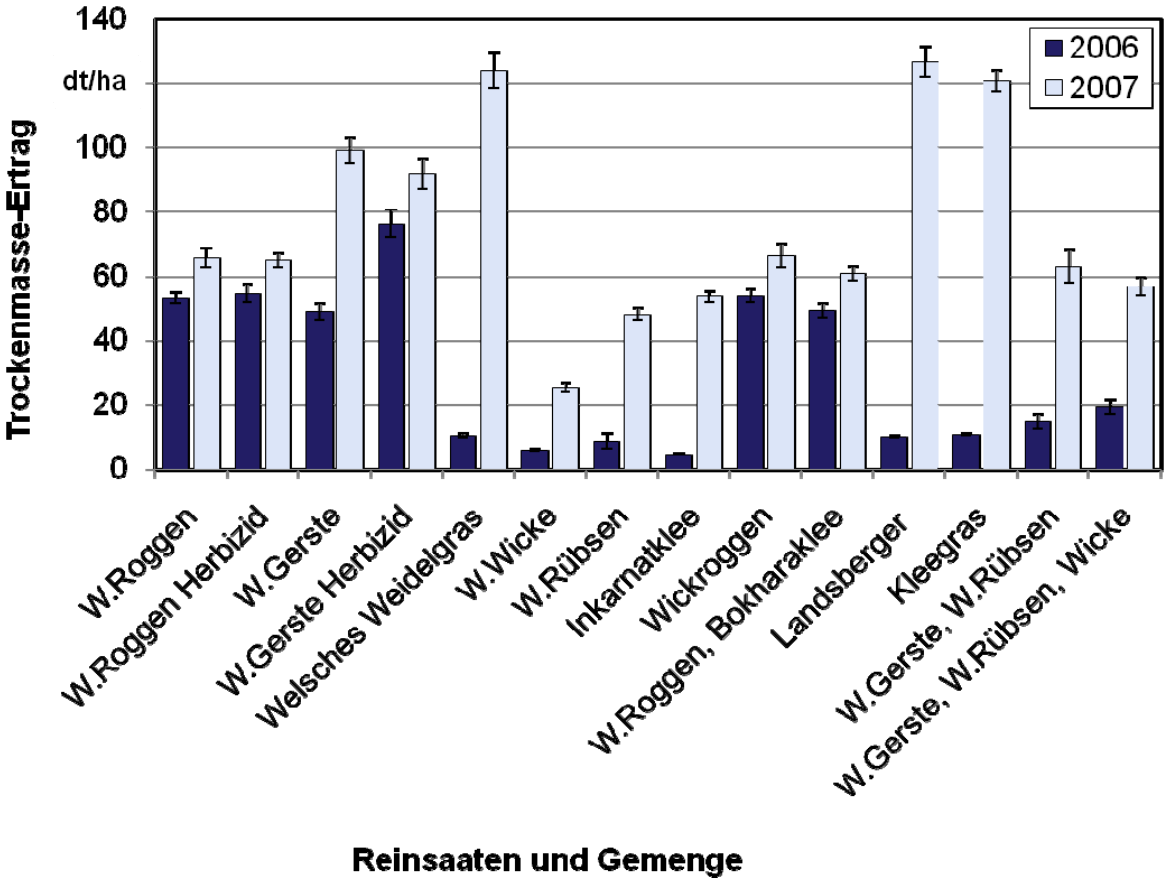


Abbildung 3: Vergleich zwischen den Trockenmasseerträgen der Winterkulturen aus den Erntejahren 2006 und 2007 am Versuchsstandort Gülzow - Grenzstandort in Mecklenburg-Vorpommern. Dargestellt sind die arithmetischen Mittelwerte mit n = 4 sowie die Standardfehler.

Für die Prüfglieder Winterroggen und Winterroggengemenge wurden auf dem Grenzstandort höhere Erträge als auf dem Ökofeld ermittelt. Der Jahresvergleich auf dem Grenzstandort zeigten jedoch in etwa dem anderen Standort vergleichbare Relationen. Verglichen mit dem Standortmitteln wurden mit den Winterroggenvarianten 2006 deutlich höher, 2007 durchschnittliche Erträge erzielt.

Sowohl für das Versuchsjahr 2007, als auch für 2006 konnte festgehalten werden, dass die Wintergerste mit und ohne Herbizid die höchsten Erträge erbrachte. Für die Wintergerste mit Herbizid wurde 2007 ein adjustierter Mittelwert von 91 dt TM/ha, für die extensive Variante ohne Herbizid mit 99 dt TM/ha sogar ein höherer Ertrag gemessen. Ebenso wie auf dem Ökofeld war der Ertragsunterschied zwischen diesen Varianten signifikant, was zu der Aussage führt, das die Entscheidung über einen Herbizideinsatz bei der Getreideganzpflanzenproduktion mit Wintergerste, anders als mit Winterroggen, in Abhängigkeit vom Unkrautbesatz des Standortes getroffen werden muss.

Ertragsvorteile der Gemenge gegenüber der Reinsaat haben sich auch auf dem Grenzstandort nicht ergeben, wenn das Ergebnis des leistungsstärksten Gemengepartners in Reinsaat zu Grunde gelegt wird. Allerdings wurden beispielsweise mit dem Wickroggen der Reinsaat vergleichbare Erträge bei vermindertem Stickstoffeinsatz erzielt.

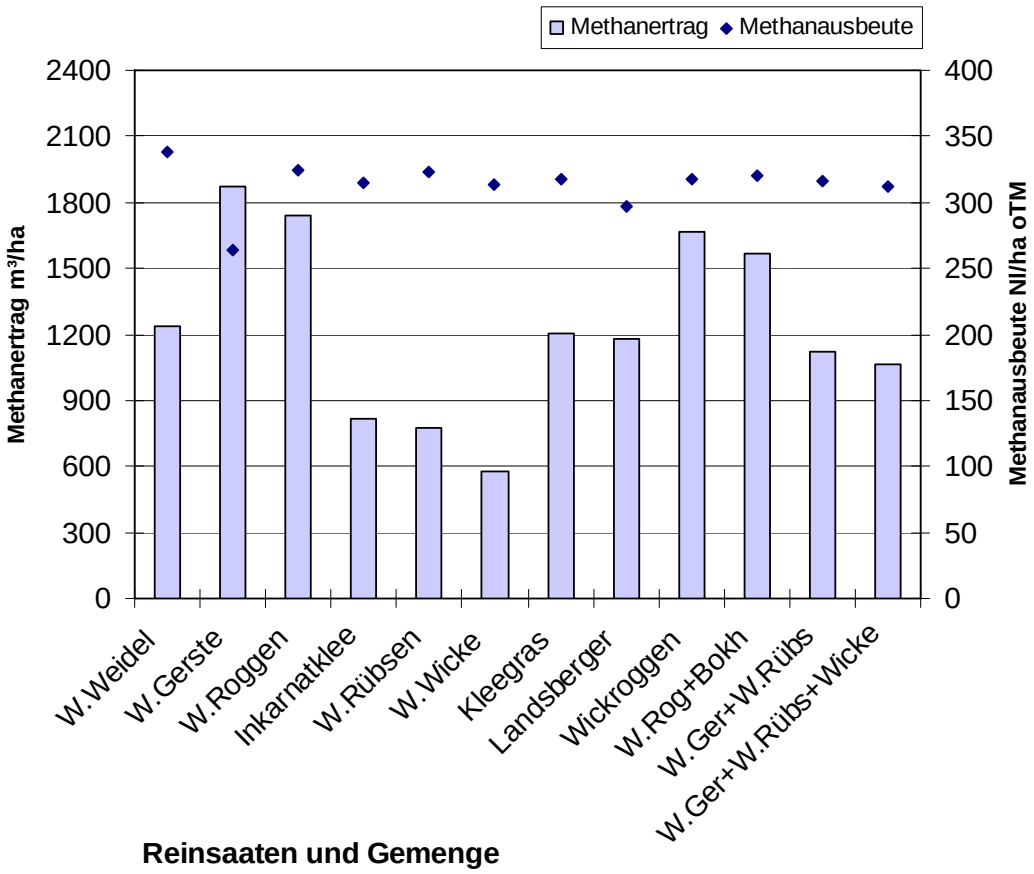


Abbildung 4: Methanerträge im Winterungs-Mischkulturversuch der Versuchsjahre 2006 und 2007 (Mittelwerte) am Standort Gülzow - Grenzstandort in Mecklenburg-Vorpommern.

Die theoretischen Methanausbeuten (Nl/kg oTM) des Weidelgrases lagen auch auf dem Grenzstandort ca. 20 Prozent über denen der Wintergerste. Bei den Methanausbeuten traten zwischen den Standorten, mit Ausnahme des Wickroggens, keine wesentlichen Differenzen auf, was den Rückschluss zulässt, dass die Substrate sich bezüglich ihrer Rohnährstoffgehalte nicht wesentlich unterschieden. Die Methanhektarerträge stiegen auf den Grenzstandorten entsprechend den höheren Biomasseerträgen deutlich. Mit der dreischnittigen Weidelgrasvariante konnten im Versuchsjahr 2007 rechnerisch 3500 m³ Methan/ha produziert werden. Das sind ca. 600 m³ Methan/ha mehr, als im Vergleichszeitraum mit dieser Variante auf dem Ökofeld erzeugt werden konnten.

Die absolut höchsten Erträge wurden ebenso wie auf dem anderen Standort mit Reinsaaten erzielt. Neben dem Winterroggen erwies sich die Variante Wickroggen auf beiden Standorten

über die Jahre als relativ ertragsstabil. Auch was die Methanerträge angeht, ließ sich auf beiden Standorten kein Vorteil der Mischungen gegenüber den Reinsaaten ableiten.

3.1.2 Sommerkulturen in Gülzow

Die warme erste Maihälfte 2006 hat bei dem nicht ausreichend bestockten Sommergetreide zu einem schnellen Schossen und in der Folge zu geringen Bestandesdichten geführt. Das traf insbesondere für die Haferbestände zu. Die kühle zweite Maihälfte hat den Mais im Wachstum stark beeinträchtigt. Das Ende Mai gesäte Sudangras lief auf Grund der kühlen Witterung und wegen eines gewissen Wassermangels nur sehr verzögert auf. Die geringen Niederschläge im Juli konnten die vorangegangen hohen Verdunstungsraten nicht ausgleichen. Beim Mais manifestierten sich Trockenschäden, besonders auf dem „Ökofeld“.

Die Ernte der Ganzpflanze wurde 2006 im Laufe der ersten Julidekade, die Körnerernte in der ersten Augustdekade und die Mais- und Sudangrasernte schließlich in der zweiten Septemberdekade durchgeführt. Die Lupinen konnten auf dem „Ökofeld“ weder in der Variante Ganzpflanze noch in der Variante Körnerernte wegen Fraßschäden durch Hasen geerntet werden. Auch in den Gemengen wurden die Lupinenpflanzen geschädigt, fielen jedoch nicht komplett aus.

Zu den Leitunkräutern auf dem „Grenzstandort“ zählten die Kamille, Acker-Stiefmütterchen, Hirtentäschel, Acker-Hellerkraut, Weißer Gänsefuß und Acker-Krummhals. Auf dem „Ökofeld“ fand sich in etwa dieses Spektrum, allerdings mit einem starken Auftreten der beiden letztgenannten Arten.

Die Aussaat der Sommerkulturen erfolgte auch 2007 Ende März/ Anfang April. Vom Zeitpunkt der Aussaat bis zum 06.05.2007 wurden von der Wetterstation Gülzow nur 3 mm Regenwasser erfasst. Am 07.05.2007 wurde mit 8,9 mm das erste nennenswerte Niederschlagsereignis am 40. Tag nach der Aussaat dokumentiert. In Folge der lang anhaltenden Trockenheit lief die Saat verzögert und sehr ungleichmäßig auf. Der Mais wurde am 27.04.2007 gelegt; in die für das Gemenge aus Mais und Steinklee vorgesehenen Parzellen erfolgte die Aussaat der Leguminose zum Vegetationsstadium 16. Sudangras und die Sudangrasgemenge wurde am 06.06.2007 in den stehenden Versuch gedrillt, was sich als sehr schwierig herausstellte. Infolge unpräziser Tiefenablage des Saatgutes und einer Verschlemmung der Ackerkrume war der Auflauf beim Sudangras nicht zufrieden stellend.

Mit dem Mais wurden im Mittel der Jahre trotz des Standortes und eines ungünstigen Witterungsverlaufes für Ackerfutterpflanzen im Versuchsjahr 2006 die mit Abstand höchsten Erträge auf dem Standort „Ökofeld“ erzielt. Dabei konnten zwischen den Jahren große Unterschiede beobachtet werden. Das Gemenge aus Mais und Steinklee, fiel dahinter deutlich ab. Zwischen den Jahren waren allerdings auf Grund der Witterung große Unterschiede zwischen den Ertragsanteilen des Steinklees in diesem Gemenge zu beobachten. Der durchschnittliche Ertrag dieser Variante ist über beide Versuchsjahre betrachtet konstant, während der Maisertrag auf dem „Ökofeld“ im Jahr 2006 ca. 30 % niedriger lag als 2007.

Außer dem Mais, der auch erst Ende April gelegt wurde, haben im Versuchsjahr 2007 auf Grund der lang anhaltenden Trockenheit alle anderen Varianten auf dem Standort „Ökofeld“ geringere Erträge gebildet, als im Vorjahr. Die durchschnittliche Biomasseproduktion aller Varianten auf diesem Standort weist zwischen den Jahren jedoch nur marginale Unterschiede auf.

Mit dem Getreidegemenge wurden im Mittel der Versuchsjahre annähernd so hohe Naturalerträge erzielt, wie mit der Variante Sommerroggen. Mit allen übrigen Gemengen konnte auf diesem Standort weder im Durchschnitt noch in Einzeljahren Erträge über 50 dt TM/ha erzeugt werden.

Der Steinklee erbrachte in Reinsaat im Vergleich der Jahre 2006 auf dem „Ökofeld“ fast 30% höhere Erträge als 2007. Die deutlichen Ertragsunterschiede zwischen der Reinsaat des Steinklees und den Gemengen mit Steinklee während beider Versuchsjahre lassen sich mit dem Erntetermin und der Schnitthöhe erklären. In Reinsaat erfolgte der Schnitt zur Maisernte; im Gemenge mit Hafer und Sommergerste + Lupine richtete sich der Termin nach der Milch-/Teigreife des Getreides. Zu diesem Zeitpunkt musste der Schnitt höher genommen werden, damit der Steinklee sich regenerieren kann. Zum späten Schnittzeitpunkt der Reinsaat hatten sich bereits Triebe auf der Wurzelkrone gebildet. In einem zweischnittigen, überjährigen Nutzungsregime wurde mit dieser Variante ein Trockenmasseertrag von 180 dt/ha erzielt.

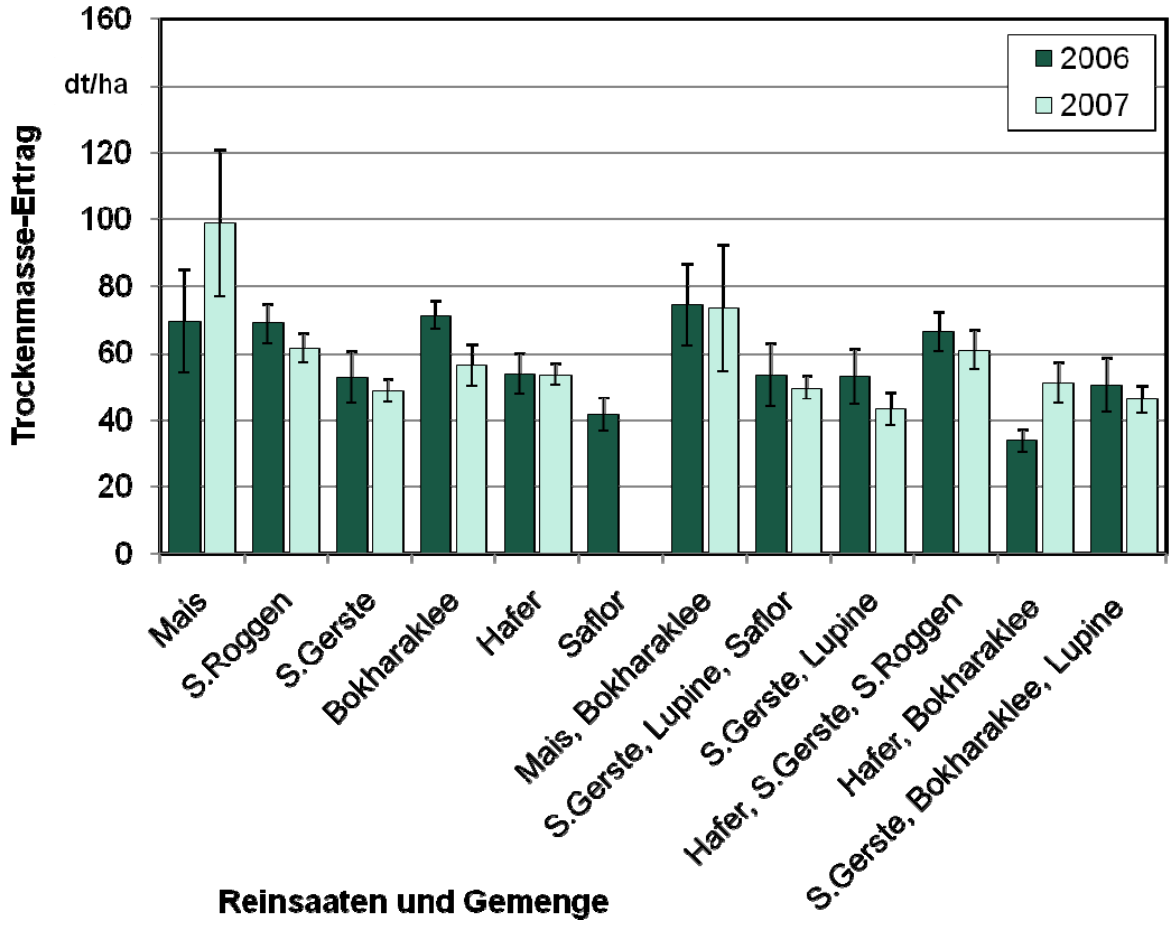


Abbildung 5: Vergleich zwischen den Trockenmasseerträgen der Sommerkulturen aus den Erntejahren 2006 und 2007 am Versuchsstandort Gülzow-Ökofeld in Mecklenburg-Vorpommern. Dargestellt sind die arithmetischen Mittelwerte mit n = 4 sowie die Standardfehler.

Die Schwankungsbreite der theoretischen Biogasausbeuten betrug auf dem Ökofeld zwischen dem Prüfglied Mais mit 560 Nl Biogas/kg oTM und dem Gemenge aus Lupine, Stein-

klee und Saflor mit 460 Nl Biogas/kg oTM ca. 20 Prozent. Die hohen Biogasausbeuten des Gemenges aus Hafer und Steinklee verwunderten, da für den Steinklee nur Biogasausbeuten von 465 Nl/kg oTM und den Hafer 477 Nl/kg oTM errechnet wurden. Das Prüfglied Steinklee Reinsaat wurde allerdings auch erst Mitte September geerntet. Das Gemenge aus Hafer und Steinklee hingegen wurde bereits Anfang Juli geerntet. Zu diesem Zeitpunkt war die Verdaulichkeit der Rohnährstoffe im Steinklee deutlich höher als zu dem späteren Erntetermin. Auch wenn es zum Teil deutliche Unterschiede bezüglich der Biogasausbeuten zwischen den Varianten gab, führte eine Beurteilung der Prüfglieder nach den potentiellen Methanhektarerträgen zu keiner anderen Wertung. Lediglich das Gemenge aus Hafer und Steinklee näherte sich wegen der hohen Biogasausbeuten trotz geringerer Biomasseerträge den Methanhektarerträgen der Sommergerste an.

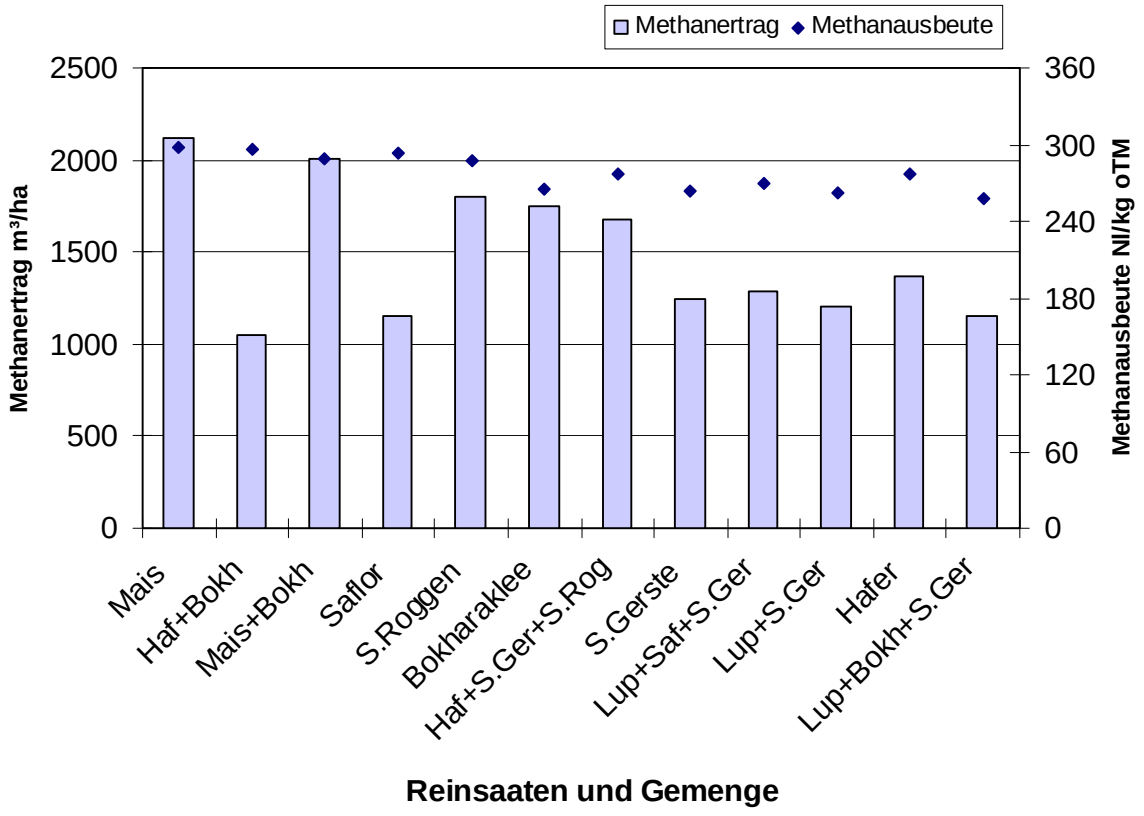


Abbildung 6: Methanerträge im Sommerungs-Mischkulturversuch der Versuchsjahre 2006 und 2007 (Mittelwerte) am Standort Gülzow - Ökofeld in Mecklenburg-Vorpommern.

Der Mais erzielte auch auf dem Grenzstandort die höchsten Biomasseerträge. Steinklee und Mais mit der Steinkleeuntersaat ordneten sich auf einem Ertragsniveau dahinter ein. Ausgehend vom Naturalertrag war auf dem Grenzstandort ein im Vergleich zum Ökofeld gegenläufiges Ergebnis. Der Maisertrag lag 2007 um 30 % tiefer als im Vorjahr. Dies entspricht auch dem Unterschied in den durchschnittlichen jährlichen Biomasseerträgen aller Varianten auf den einzelnen Standorten. Trotzdem stellt der Mais 2007 relativ gesehen mit 190 % zum Versuchsmittel die stärkste Variante aller Standorte und Jahre.

Neben dem Bokharaklee, der das Ertragsniveau des Vorjahres gehalten hat, konnte im Vergleich der einzelnen Varianten über die Jahre auf diesem Standort 2007 lediglich mit dem Prüfglied Saflor höhere Biomasseerträge erzielt werden. Der Saflor, auch als Färberdistel bekannt, gilt als ausgesprochen trockenresistente Pflanze. Mit dem Gemenge aus Lupine, Saflor und Sommergerste konnten auf diesem Standort sowohl im Mittel beider Versuchsjahre als auch in den einzelnen Jahren höhere Erträge erzielt werden, als mit den jeweiligen Mischungspartnern in Reinsaat.

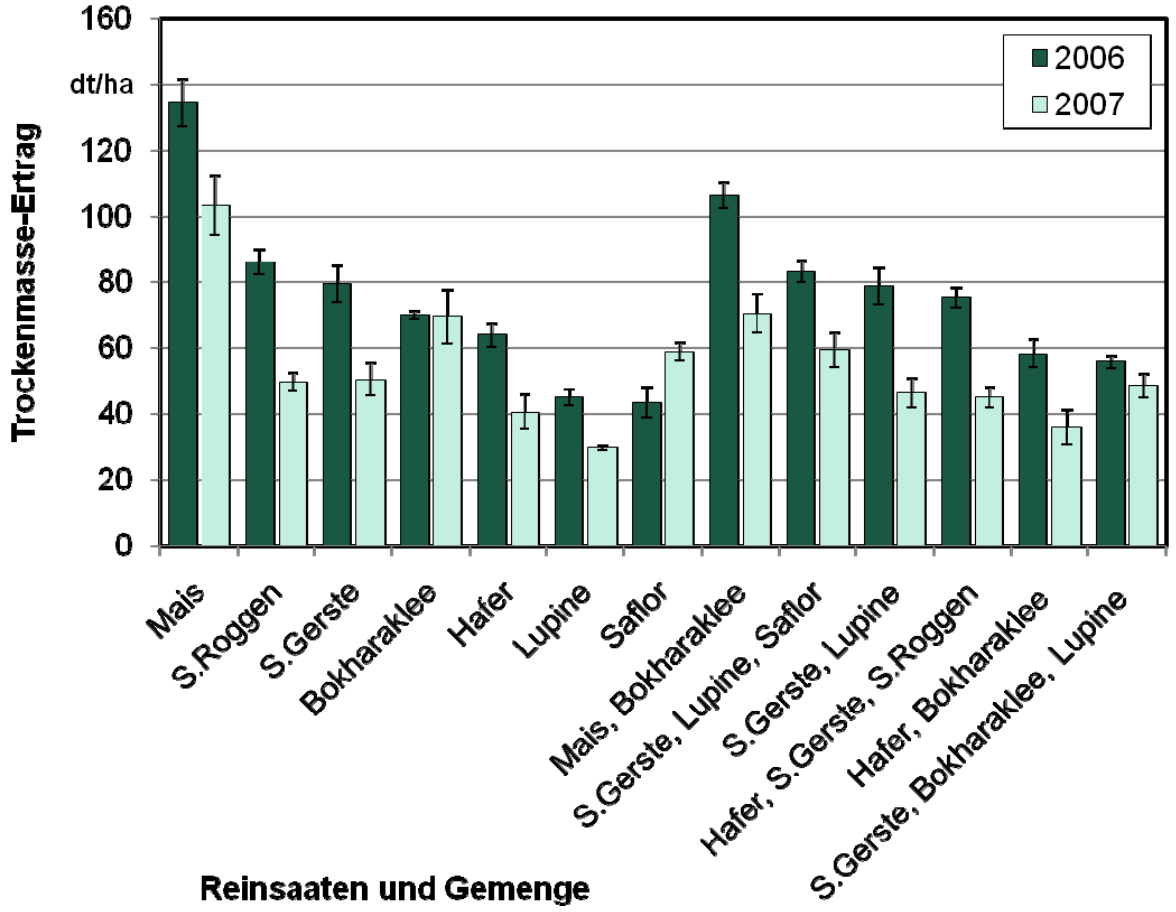


Abbildung 7: Vergleich zwischen den Trockenmasseerträgen der Sommerkulturen aus den Erntejahren 2006 und 2007 am Versuchsstandort Gülzow-Grenzstandort in Mecklenburg-Vorpommern. Dargestellt sind die arithmetischen Mittelwerte mit n = 4 sowie die Standardfehler.

Der Biomasseertrag der Lupine in Reinsaat fällt 2007 deutlich ab, allerdings muss der Ertrag im Vergleich zu den anderen Varianten auch im Versuchsjahr 2006 niedrig eingeschätzt werden. Der Ertragsabfall des Gemenges aus Sommergerste und Lupine 2007 gegenüber dem Vorjahr war ebenso drastisch, wie der der Varianten des Sommergetreides und des Getreidegemenges. Ebenso wie im Winterungsversuch wurde die Stickstoffdüngung in Gemengen mit Leguminosen reduziert.

Die rechnerische Biogasausbeute vom Mais war auch auf dem Grenzstandort, ebenfalls mit 560 Nl/kg oTM am höchsten. Die auf dem Ökofeld ausgefallenen Varianten Saflor und Lupi-

ne trennten auf dem Grenzstandort pro Kilogramm organische Trockensubstanz etwa 90 Normalliter Biogas/kg oTM. Ansonsten entsprachen sich die Biogasausbeuten der Prüfglieder auf beiden Standorten. Die theoretischen Methanhektarerträge lagen im Mittel der Jahre zwischen 850 und 3500 m³/ha bei Lupine bzw. Mais.

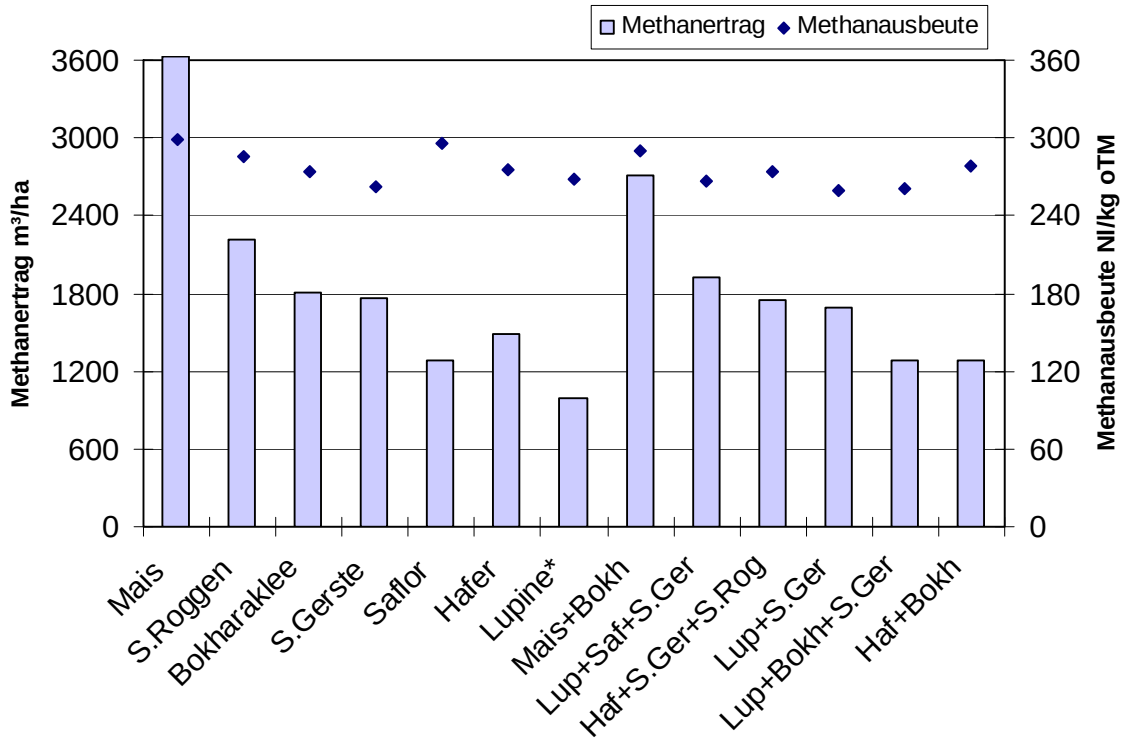


Abbildung 8: Methanerträge im Sommerungs-Mischkulturversuch der Versuchsjahre 2006 und 2007(Mittelwerte) am Standort Gülzow - Grenzstandort in Mecklenburg-Vorpommern.

3.1.3 Gärversuch von ausgewählten Kulturen

Die Abschätzung der Gasausbeute bestimmter Substrate ist für die Biogasanlagendimensionierung von Bedeutung. Darüber hinaus ist es für die Anbauplanung eines landwirtschaftlichen Betriebes ebenso wichtig, potentielle Biogaserträge und benötigte Substratmengen abschätzen zu können. Bei der Ermittlung von Biogaserträgen sind sowohl Rechenmodelle als auch Batchversuche mit Vor- und Nachteilen behaftet. Rechenformeln sind dann einfach anwendbar, wenn Angaben zu den Inhaltsstoffen und deren Verdaulichkeit vorliegen. Zur Überprüfung der Eignung einzelner Substratgruppen und deren Methanbildungsvermögen auch im zeitlichen Verlauf eignen sich Batchversuche, für die die VDI-Richtlinie 4630 gilt (KTBL, 2006).

Die in Tabelle 7 gegenüber gestellten Methanerträge der Winterkulturen in Normalliter/kg oTM zeigen in vielen Fällen Abweichungen und zwar nicht nur bei den Gemengen, sondern

auch bei den Reinsaaten. Differenzen kleiner oder gleich 5 % treten bei den 12 geprüften Varianten dreimal, Differenzen größer oder gleich 10 % achtmal auf. Für die Ermittlung der Biogaserträge von Mischsubstraten stellt sich für Rechenmodelle das Problem, dass die einzelnen Ertragsanteile zur Gewichtung in der Rechenformel nur abgeschätzt werden können. Darüber hinaus enthält die DLG-Futterwerttabelle Wiederkäuer (1997) keine Werte für ältere Kulturpflanzen (Steinklee, Saflor, Zottelwicke, Inkarnatklee). Auch sinken die Verdaulichkeiten mit fortschreitender Vegetationsentwicklung, so dass falsche Wuchsstadien zwangsläufig auch zu einer fehlerhaften Einschätzung der Biogaspotentiale führen.

Eine Tendenz zur Überschätzung oder Unterschätzung der Biogasgehalte mit der einen oder anderen Methode lässt sich nicht feststellen. Die Mittelwerte der Methangehalte Nl/kg oTM aller Prüfglieder weichen nur um 0,4 % voneinander ab.

Tabelle 7: Vergleich der rechnerisch und im Gärversuch ermittelten Methanerträge der Winterkulturen 2007

	Methanerträge					
	rechnerisch			**Gärversuch**		
Reinsaat	**% in Gas**	**Nl/kg oTM**	**in m³/ha**	**% in Gas**	**Nl/kg oTM**	**in m³/ha**
W.Roggen	56	320	1867	54	328	1912
WGerste	54	262	2340	54	304	2708
W.Weidel	55	338	1925	52	288	1643
W.Rübsen	56	324	1301	52	373	1496
Inkarnatklee	57	312	1392	52	345	1540
W.Wicke	59	312	655	58	385	808
Gemenge						
W.Rog+Bokh	56	320	1684	53	254	1335
Wickroggen	57	327	1830	52	344	1926
Kleegras	55	337	1928	51	288	1644
Landsberger	55	295	1726	53	300	1756
W.Ger+W.Rübs	57	346	1856	54	319	1707
W.Ger+W.Rübs+W.Wi	56	341	1637	53	294	1409

Der Vergleich der Methanerträge der Sommerkulturen zeigt ein ähnliches, schwer interpretierbares Bild. Nur für ein Wertepaar kann eine Differenz kleiner oder gleich 5 % beobachtet werden. Erwähnenswert ist, dass es sich hierbei um die Methangehalte des Saflors handelt. Die Verdaulichkeiten zur rechnerischen Ermittlung der theoretischen Methangehalte wurden älterer Literatur entnommen (BECKER & NEHRING, 1969). Eine weitere gute Übereinstimmung lässt sich für den Bokharaklee feststellen. Die für diese Pflanze ausgewiesenen Methangehalte (Nl/kg oTM) in Tabelle 8 unterscheiden sich zwar um 14 %, allerdings kann der Fehler in diesem Beispiel gut nachvollzogen werden. Für die Verdaulichkeit der Rohnährstoffe des Bokharaklees gibt es auch in der älteren Literatur nur Angaben zu den zwei Wuchsstadien „vor Blüte“ und „Blühbeginn“. Obwohl der Steinklee im ersten Anbaujahr gar nicht zur Blüte kommen sollte (Einzelpflanzen blühen trotzdem), ist davon auszugehen, dass die Verdaulichkeit der Rohnährstoffe zum Zeitpunkt der Ernte unter den verfügbaren Werten liegt. Für den ebenfalls 2007 zu „Blühbeginn“ geernteten zweiten Aufwuchs des 2006 gesäten Bokharaklees wurden im Gärversuch 270 Nl Methan/kg oTM festgestellt. Dieser Wert entspricht dem mit den „falschen“ Verdaulichkeitskennziffern berechneten theoretischen Bio-

gasgehalt des Bokharaklees gut. Die meisten der 13 Prüfglieder, nämlich 8, weichen um mehr als 10 % (und davon 4 um mehr als 20 %) voneinander ab. Tendenziell lassen sich über Gärversuche höhere Methanausbeuten (Nl/kg oTM) feststellen.

Tabelle 8: Vergleich der rechnerisch und im Gärversuch ermittelten Methanerträge der Sommerkulturen 2007

	Methanerträge					
	rechnerisch			Gärversuch		
Reinsaat	**% in Gas**	**Nl/kg oTM**	**in m³/ha**	**% in Gas**	**Nl/kg oTM**	**in m³/ha**
Mais	54	297	2935	50	315	3112
S.Roggen	55	294	1382	60	330	1549
S.Gerste	55	262	1227	52	288	1352
Hafer	56	262	974	60	284	1052
Bokharaklee	53	264	1676	50	231	1468
Lupine	57	252	675	55	302	807
Saflor	55	295	1580	49	287	1537
Gemenge						
Mais+Bokh	54	291	1941	52	254	1693
Hafer+S.Ger+S.Rog	55	272	1132	53	225	936
Hafer+Bokh	55	310	1016	51	238	779
Lup+Bokh+S.Ger	55	253	1108	57	369	1613
Lup+Saf+S.Ger	55	265	1454	59	364	1998
Lup+Ger	55	254	1083	51	272	1160

3.2 Ergebnisse der Standorte in Bayern

3.2.1 Winterkulturen in Ascha und Aholfing

Im Vergleich der beiden Versuchsjahre profitierten die Winterkulturen 2006/2007 in Ascha vom milden Winter und erbrachten im Allgemeinen einen höheren Biomasse-Ertrag als die Winterungen 2005/2006 (Abbildung 9). In Aholfing war ein entgegengesetzter Trend zu beobachten (Abbildung 10). Hier beeinträchtigte die Trockenheit im April 2007 die Ertragsleistung der Winterungen teils erheblich. Die höchsten Erträge über die beiden Vegetationsperioden wurden in Ascha mit der Reinsaat Winterroggen und dem Gemenge Wickroggen mit im Mittel 141 dt TM/ha bzw. 125 dt TM/ha (-11 %) erzielt.

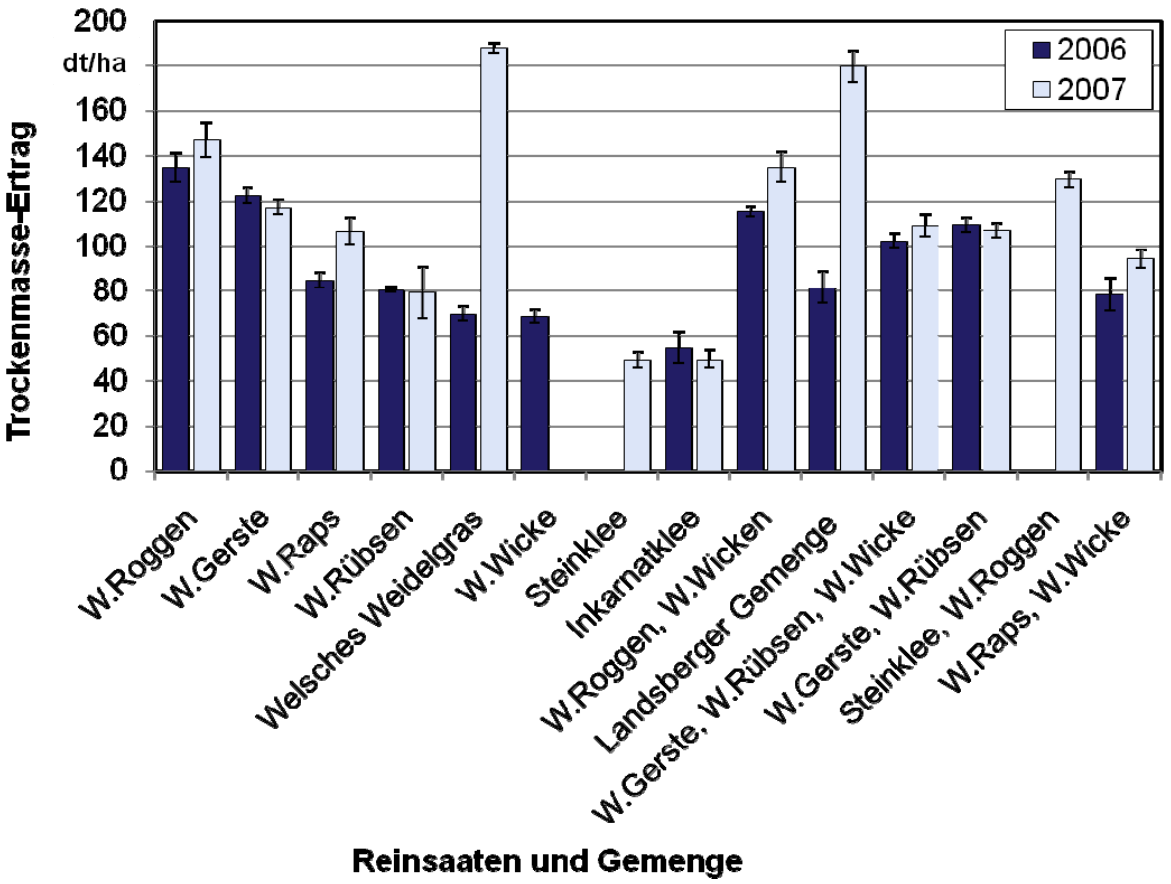


Abbildung 9 : Vergleich zwischen den Trockenmasse-Erträgen der Winterkulturen aus den Erntejahren 2006 und 2007 am Versuchsstandort Ascha in Bayern. Dargestellt sind die arithmetischen Mittelwerte mit n = 4 sowie die Standardfehler.

In Aholfing waren diese beiden Varianten ebenfalls die ertragreichsten Varianten. Aufgrund des besseren Ertragspotentials dieses Standorts konnte im Schnitt sogar 22 dt TM/ha mehr Biomasse geerntet werden. Im Hinblick auf die geringere Ertragsleistung des Gemenges Wickroggen, ist die um 25 kg N/ha reduzierte Stickstoffdüngung zu berücksichtigen.

Noch höhere Erträge von über 180 dt TM/ha wurden 2007 mit Welschem Weidelgras und Landsberger Gemenge erzielt, die an beiden Versuchsstandorten jeweils vier Mal geschnitten wurden. Dies bedeutete eine Änderung gegenüber der Versuchsdurchführung im Vorjahr, erlaubte aber eine Aussage über die maximal möglichen Erträge bei Nutzung als Ackerfutter. Weder zwischen den beiden Varianten noch zwischen den beiden Standorten waren Unterschiede im Gesamtertrag feststellbar. Nach dem ersten Schnitt waren Wicke und Inkarnatklee im Landsberger Gemenge so gut wie nicht mehr feststellbar. Wird nur eine Nutzung als Winterzwischenfrucht angestrebt, können beide Varianten nur einmalig geschnitten und müssen dann umgebrochen werden. Mit dem ersten Schnitt wurden in Aholfing 84 dt TM/ha mit dem Welschen Weidelgras und 78 dt TM/ha mit dem Landsberger Gemenge erzielt. Die Trockensubstanzgehalte lagen bei 19 %, so dass ein Anwelken für verlustarmes Silieren ratsam wäre.

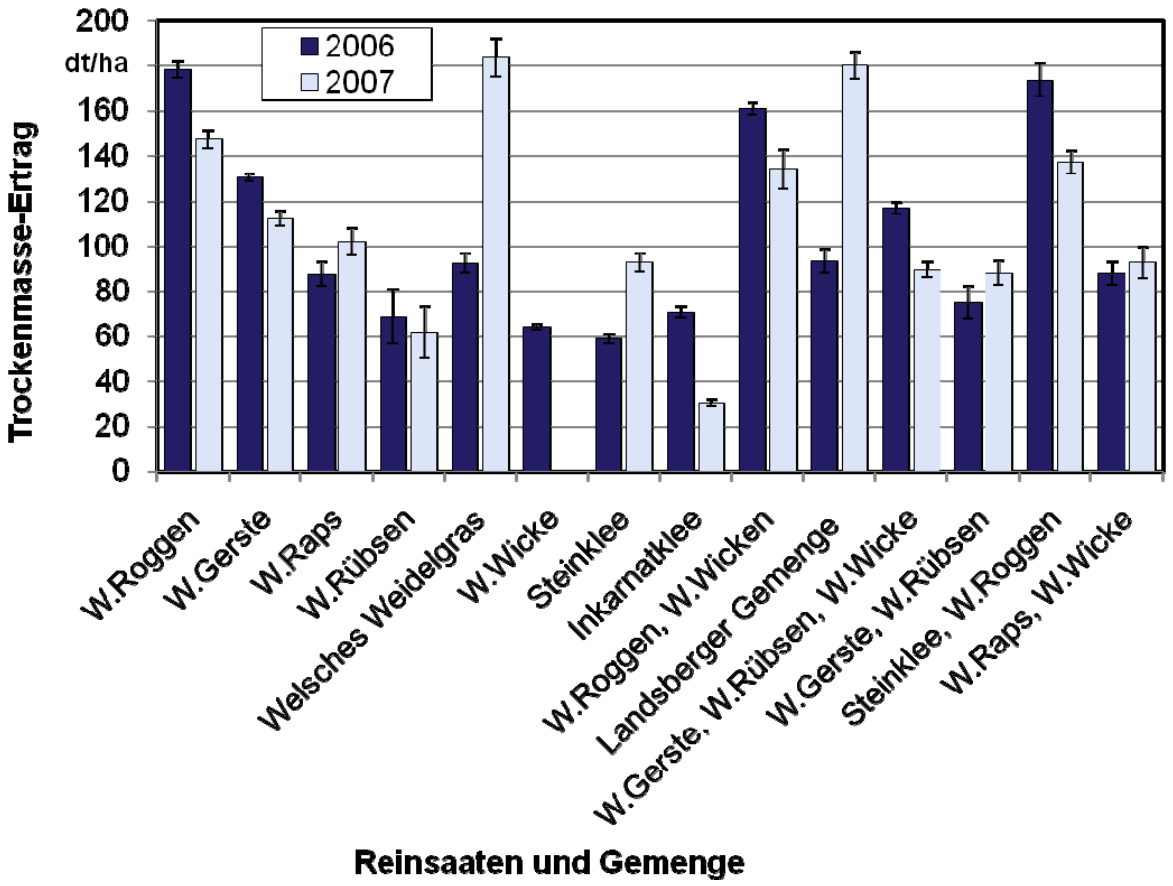


Abbildung 10 : Vergleich zwischen den Trockenmasse-Erträgen der Winterkulturen aus den Erntejahren 2006 und 2007 am Versuchsstandort Aholfing in Bayern. Dargestellt sind die arithmetischen Mittelwerte mit n = 4 sowie die Standardfehler.

In Ascha lagen die Erträge des ersten Schnitts höher, bei 101 dt TM/ha für Welsches Weidelgras und 100 dt TM/ha für das Landsberger Gemenge, mit Trockensubstanzgehalten von 22 %. Die Mehrerträge in Ascha ließen sich damit erklären, dass die dort bessere Wassernachlieferung sehr günstig in der Frühjahrstrockenheit war.

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

Steinklee, der im ersten Versuchsjahr in Ascha komplett ausgefallen war, wurde im zweiten Jahr erst im Frühjahr in den Versuch gedrillt. In Reinsaat erzielte er trotz einer in Folge der zögerlichen Bestandesentwicklung starken Verunkrautung in Aholfing einen Ertrag von

93 dt TM/ha. Der Steinklee in Ascha hingegen etablierte sich sehr schlecht, hier wurden nur 49 dt TM/ha erreicht. Eine mögliche Ursache für dieses schlechte Ergebnis kann in der fehlenden Kalkung des Standortes seit 2005 liegen, da Steinklee auf sauren Boden empfindlich reagiert. Auffällig war, dass sich der Steinklee an beiden Standorten auf den Randparzellen, die von den schon etablierten Beständen links und rechts beschattet wurden, nicht gut entwickelte. Eine genaue Beobachtung des Schattenfalls der Bestände zeigte, dass Steinklee auf Lichtkonkurrenz sehr empfindlich reagierte. Dies könnte auch als Ursache für den abermaligen Ausfall des Steinklees in den Gemengen mit Roggen gesehen werden. Diese Variante müsste als eine Winterroggen-Dünnsaat mit 80 % der normalen Aussaatstärke bezeichnet werden, da der Massenanteil des Steinklees zur Ernte bei unter 1 % lag.

Während Inkarnatklee 2006 in Aholfing immerhin 70 dt TM/ha erzielte, musste er auf Grund der sehr lückigen Bestände sowohl in Aholfing als auch in Ascha 2007 als Ausfall beurteilt werden. Auch die in Reinsaat angebauten Wicken konnten nicht in ausreichender Anzahl etabliert werden. Diese Variante wurde an beiden Standorten schon direkt nach Winter aufgegeben, nicht beerntet und daher nicht in den Abbildungen aufgeführt. Beide Kulturen werden in der Praxis allerdings überhaupt nicht als Reinkulturen angebaut.

Bezüglich ihrer Silierfähigkeit wiesen nur die Varianten Welsches Weidelgras, Inkarnatklee und Landsberger Gemenge mit 19 %, 16 % bzw. 20 % ungenügende TS-Gehalte auf, alle anderen Rein- und Mischkulturen lagen über 30 % TS-Gehalt. Winterroggen und Wintergerste hatten bei der Ernte sogar schon TS-Gehalte von über 40 % erreicht, was bei der Silagebereitung sicherlich Probleme bereitet hätte. Hier würde man in der Praxis die Bestände etwas früher bei einem eventuell etwas geringeren Trockenmasse-Ertrag ernten (siehe dazu auch 4.2.4 Erntezeitreihen).

Im Hinblick auf die theoretisch möglichen Biogaserträge der hier getesteten Varianten erbrachten über alle Jahre und Standorte die Roggen-Reinkulturen den höchsten Methan-Hektarertrag, der sich aus einem hohen Trockenmasse-Ertrag und einem hohen Biogasertrag je kg oTM aus Roggen-GPS zusammensetzt (Tabelle 9). Die Berechnung der sehr hohen Methan-Hektarerträge des Winterroggen-Steinklee-Gemenges (bzw. der Roggen-Dünnsaat) basiert allein auf den Daten von 2007 vom Standort Aholfing, stellt also keinen repräsentativen Wert für diese Variante dar. Das Gemenge Wickroggen lieferte ebenfalls hohe, im Vergleich zum Trockenmasse-Ertrag aber unterproportionale Methan-Hektarerträge. Die Ursache hierfür liegt in den relativ geringen Verdaulichkeitswerten aus den DLG-Futterwerttabellen und der daraus resultierenden geringen spezifischen Biogasausbeute je kg oTM. Hier ist es für die Zukunft notwendig, neue Werte zu ermitteln, die die Verdaulichkeit dieses Gemenges im Hinblick auf die Verwertung in Biogasanlagen besser widerspiegeln. Die Wintergerste erzielte im Mittel nur 72 % des Methan-Hektarertrags von Winterroggen, was neben den etwas geringeren Trockenmasse-Erträgen auch durch die schlechteren Verdaulichkeitswerte dieser Kultur bedingt ist.

Die Kulturen Wicke, Welsches Weidelgras und Landsberger Gemenge wiesen zwar hohe Biogasausbeuten je kg oTM auf, die Trockenmasse-Erträge waren im Vergleich zum Roggen aber zu gering (bei Weidelgras und Landsberger Gemenge wurde jeweils nur der erste Schnitt berücksichtigt).

Tabelle 9: Errechnete Biogas- und Methanausbeuten im Mischkulturversuch der Winterungen im Mittel der Jahre und Standorte Ascha und Aholfing.

Variante	**Biogasausbeute [L kg^{-1} oTM]**	**Biogasertrag [m³ ha^{-1}]**	**Methanertrag [m³ ha^{-1}]**
W.Gerste	477	5653	3065
W.Roggen	536	7824	4281
W.Raps	510	4314	2483
W.Rübsen	512	3421	1940
W.Wicke	525	3215	1805
Welsches Weidelgras	548	4248	2319
Steinklee	447	2632	1470
Inkarnatklee	491	2531	1421
W.Roggen, W.Wicken	502	6433	3527
Landsberger Gemenge	528	4214	2318
W.Gerste, W.Rübsen, W.Wicke	497	4822	2689
W.Gerste, W.Rübsen	498	4400	2464
Steinklee, W.Roggen	532	8757	4722
W.Raps, W.Wicke	522	4232	2421

Um die tatsächlich zu erwartenden Methanhektar-Erträge besser abschätzen zu können, sind Batchversuche in Zukunft unabdingbar, bei denen unter praxisnahen Bedingungen das Pflanzenmaterial fermentiert wird und das entstandene Methan ermittelt wird. Denn die Fermentation in Biogasanlagen unterliegt doch anderen Bedingungen als im Kuhpansen, vor allem die längeren Verweilzeiten könnten hier zu höheren Abbauraten führen.

3.2.2 Sommerkulturen in Aholfing

Zusätzlich zu dem Winterungs-Mischkulturversuch wurde in Aholfing auch ein Versuch mit Sommerungen angelegt. Auch hier sind deutliche Jahreseffekte zu sehen. Während 2006 Sommergerste in Reinkultur mit 123 dt TM/ha die ertragreichste Kultur war, gefolgt von der Mischung Sommergerste-Leindotter (118 dt TM/ha), erzielten 2007 Saflor und Erbse in Reinkultur mit 125 bzw. 111 dt TM/ha die höchsten Erträge (Abbildung 11). Die Reinkulturen Leindotter, Blaue Lupine und Senf zeigten deutlich niedrigere Erträge.

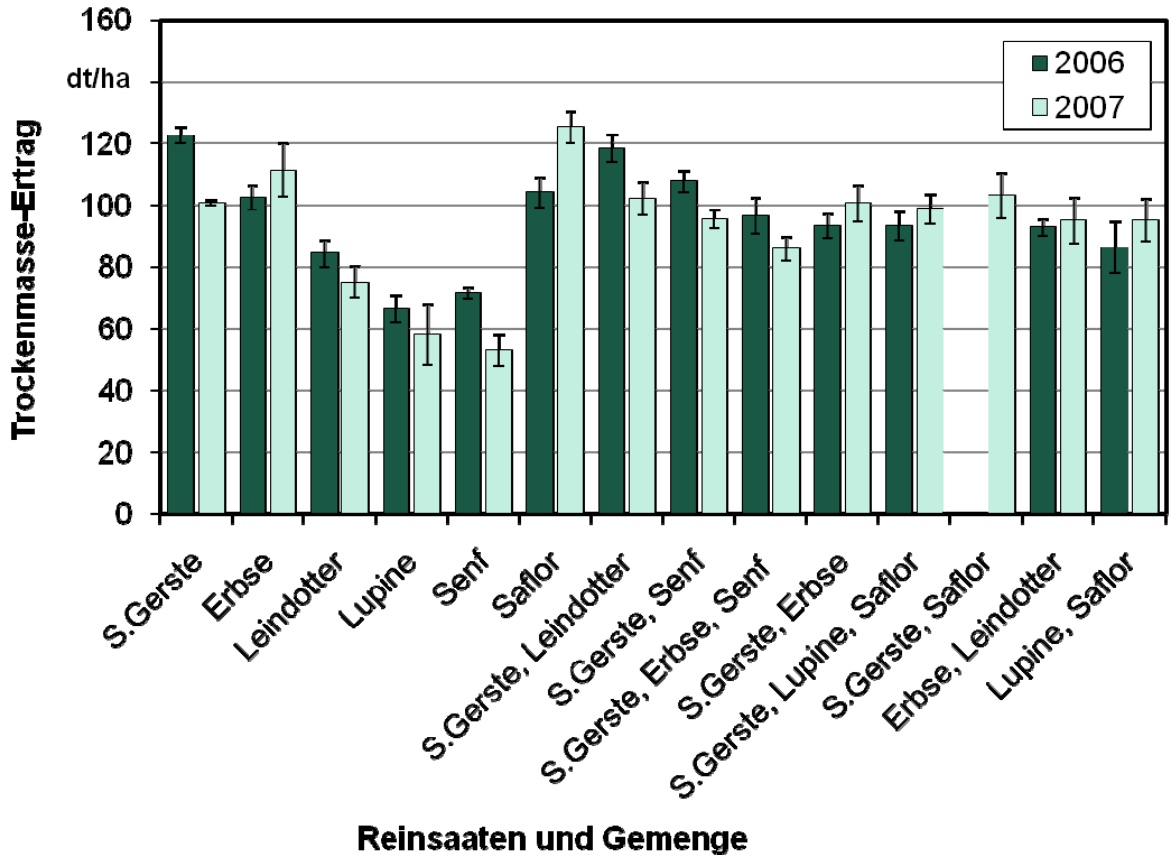


Abbildung 11: Vergleich zwischen den Trockenmasse-Erträgen der Sommerkulturen aus den Erntejahren 2006 und 2007 am Versuchsstandort Aholfing in Bayern. Dargestellt sind die arithmetischen Mittelwerte mit n = 4 sowie die Standardfehler.

Die Mischkulturen erwiesen sich als relativ ertragsstabil mit jeweils etwas niedrigeren Erträgen als der ertragsstärkere Mischungspartner. Nur das Gemenge Sommergerste-Leindotter erreichte in beiden Jahren über 100 dt TM/ha. Alle anderen Gemenge lagen insbesondere 2007 unter dieser Schwelle (Ausnahme Sommergerste-Erbse und Sommergerste-Saflor).

Im Hinblick auf die Trockensubstanzgehalte wurde oft zu spät geerntet, so dass die TS-Gehalte teilweise auf über 50 % anstiegen. In 2006 wurde in den Gemengen nur bei Lupine-Saflor für die Silierung optimale Trockensubstanzgehalte von 36 % TS-Gehalt gemessen, in 2007 bei Lupine-Saflor-Sommergerste (34 %), Lupine-Saflor (29 %) und Sommergerste-Senf-Erbse (36 %). Die Trockensubstanzgehalte aller anderen Gemenge lagen deutlich höher, wodurch Probleme bei dem Einsilieren entstehen können.

Die höchsten Methan-Hektarerträge im Mittel der beiden Versuchsjahre erreichte mit Abstand der Saflor (3077 m^3/ha), der neben einer hohen Biogasausbeute auch hohe Trockenmasse-Erträge brachte. Diese Kultur könnte in Zukunft für den Energiepflanzenanbau eine interessante Alternative zu Sommergetreiden sein. Daneben lagen auch bei Leindotter, Senf und Erbse die Biogasausbeuten je kg oTM sehr hoch, so dass beispielsweise die Mischkultur Sommergerste-Leindotter im Mittel der beiden Versuchsjahre mit 2694 m^3/ha einen etwas höheren Methanertrag je Hektar erzielte als Sommergerste in Reinkultur mit 2633 m^3/ha (Tabelle 10). Die Erbse in Reinkultur, die im Gegensatz zu Saflor, Sommergerste, und dem

Gemenge Sommergerste-Leindotter, keine mineralische Stickstoffdüngung erhielt, lag bei den Methan-Hektarerträgen nur knapp hinter der Sommergerste, und kann damit in Zeiten steigender Düngemittelpreise an Bedeutung gewinnen. Die Gemenge (außer Sommergerste-Leindotter) näherten sich bei den Biogasausbeuten den Werten des stärkeren Mischungspartners an und erzielten im Mittel Methan-Hektarerträge, die zwischen 2451 und 2230 m^3/ha schwankten. Allerdings sind diese errechneten Biogasausbeuten mit einigen Unsicherheiten behaftet, da sich insbesondere die Verdaulichkeit eines Gemenges eventuell anders verhält als die Summe seiner Bestandteile. Für Kulturen wie Leindotter waren zudem keine Verdaulichkeitskoeffizienten bekannt, so dass die von Rübsen zur Berechnung herangezogen werden mussten.

Tabelle 10: Errechnete Biogas- und Methanausbeuten im Mischkulturversuch der Sommerungen im Mittel der Jahre in Aholfing.

Variante	**Biogasausbeute [L kg^{-1} oTM]**	**Biogasertrag [m^3 ha^{-1}]**	**Methanertrag [m^3 ha^{-1}]**
S.Gerste	466	4824	2633
Erbse	504	4464	2476
Lupine	474	2486	1387
Leindotter	556	4018	2251
Senf	530	2985	1658
Saflor	528	5549	3077
S.Gerste, Erbse	477	4304	2359
S.Gerste, Leindotter	482	4956	2694
Erbse, Leindotter	503	4386	2451
Lupine, Saflor	515	4304	2365
S.Gerste, Lupine, Saflor	482	4317	2344
S.Gerste, Senf	473	4417	2421
S.Gerste, Erbse, Senf	484	4086	2230
Sommergerste, Saflor	454	4297	2326

3.2.3 Auswirkungen des Herbizideinsatzes

In die Mischkulturversuche wurden zusätzlich Reinkulturen mit und ohne Herbizideinsatz integriert, damit für die generell unbehandelten Gemenge ein Vergleich mit einer ebenso unbehandelten Reinkultur möglich ist. Ebenso wird aber eine Gegenüberstellung mit Werten aus Landessortenversuchen oder aus der Praxis angestrebt, bei denen eine Herbizidbehandlung zu den Standardpflegemaßnahmen gehört.

Auf beiden Versuchsstandorten in Ascha und Aholfing herrscht kein besonders hoher Unkrautdruck, trotzdem waren einzelne lückige Bestände gravierend verunkrautet. Daher sind die Ergebnisse aus den Herbizidvarianten überraschend, da kaum Mehrerträge durch eine Herbizidbehandlung feststellbar waren (Abbildung 12). Leichte Mehrerträge waren für Wintergerste in Aholfing und in Winterroggen 2007 in Ascha zu verzeichnen, wobei die Unterschiede jedoch nicht signifikant waren. Die Mindererträge in den behandelten Erbsen- und

Leindotterbeständen lassen sich durch Spritzfehler erklären, die Herbizide wurden zu kurz vor dem Auflaufen der Kulturen ausgebracht.

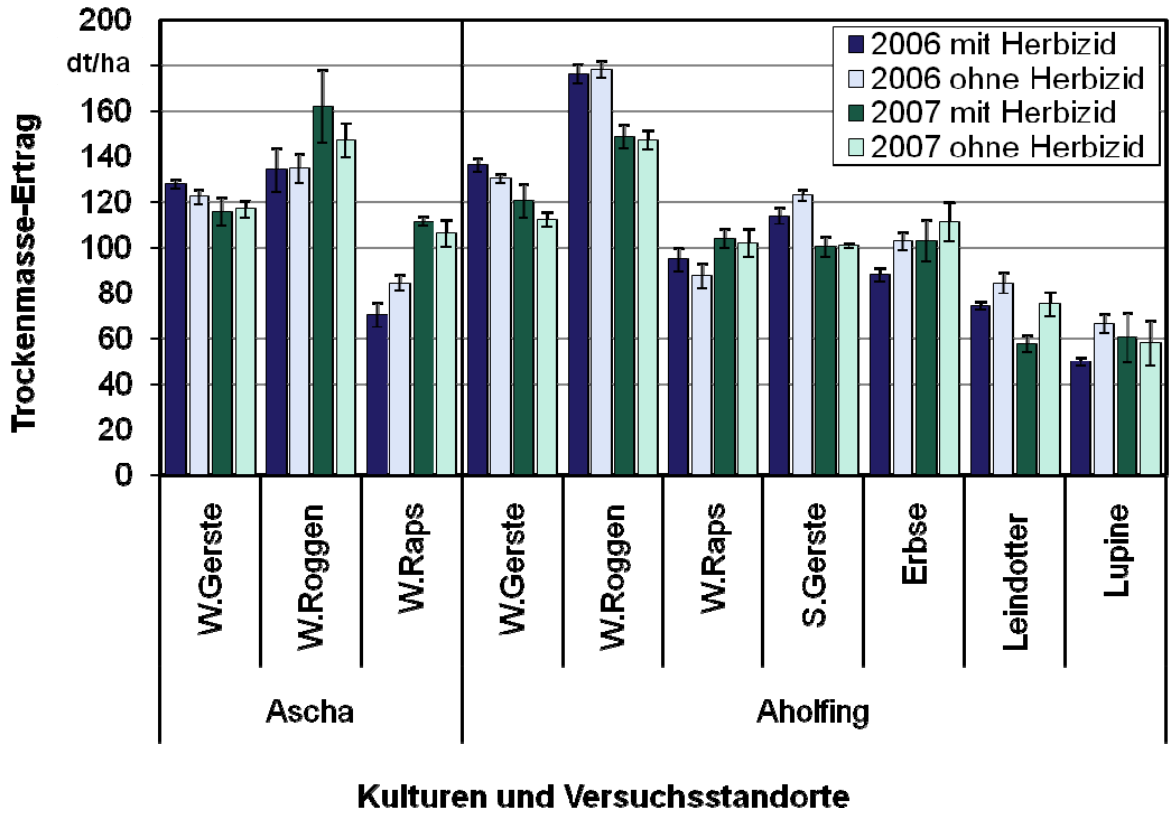


Abbildung 12: Trockenmasseerträge im Herbizidversuch in den Reinbeständen der Mischkulturversuche in Ascha und Aholfing in den Erntejahren 2006 und 2007. Dargestellt sind arithmetische Mittelwerte mit n = 4 und deren Standardfehler.

3.2.4 Erntezeitreihen

In der Praxis sind in Bezug auf die optimalen Erntezeitpunkte von Ganzpflanzensilagen noch viele Fragen offen. Aus Eigenkapazitäten wurden die in den folgenden Abbildungen dargestellten Erntezeitreihen im Versuchsjahr 2006/2007 in die Mischkulturversuche integriert, um die Zeiten höchsten Biomasseertrags und siliergünstiger Trockensubstanzgehalte zu ermitteln.

Am Standort Ascha (Abbildung 13) steigerten sich der Trockenmasseertrag sowie der Trockensubstanzgehalt der Wintergerste von Entwicklungsstadien 51 über 69 bis 75. In der weiteren Abreife bis BBCH-Stadium 83 war kein Ertrags- oder Trockensubstanzzuwachs erkennbar. Im Winterroggen hingegen gab es einen großen Zuwachs beider Merkmale von Stadium 51 auf 69 und eine zweite Ertragssteigerung um über 40 dt TM/ha von Stadium 75 auf 83. Gleichzeitig stieg der Trockensubstanzgehalt um etwa 10 Prozentpunkte auf 40 % an. Eine noch spätere Ernte könnte die Silierfähigkeit und auch die Verdaulichkeit der Biomasse vermindern.

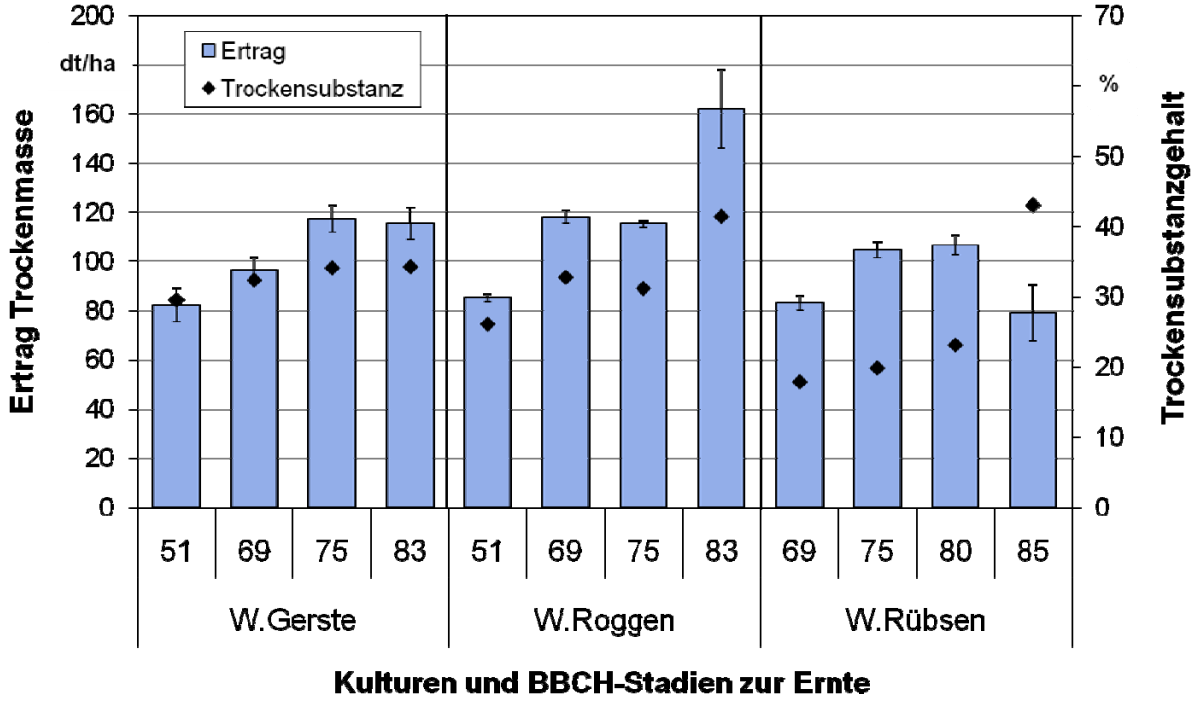


Abbildung 13: Trockenmasseerträge und Trockensubstanzgehalte in den Erntezeitreihen an Kulturen für die Ganzpflanzennutzung am Versuchsstandort Ascha. Dargestellt sind arithmetische Mittelwerte mit n = 4 und deren Standardfehler.

Der Winterrübsen wies in den Entwicklungsstadien 69, 75 und 80 nur sehr geringe Trockensubstanzgehalte von 18 bis 22 % auf, mit denen eine frühe Ernte der Biomasse ein Anwelken zur Verhinderung von Silierverlusten zwingend notwendig machen würde. Zum Stadium 85 stieg der Trockensubstanzgehalt auf über 40 %, der Ertrag sank im Vergleich zum vorangehenden Termin allerdings um über 20 dt TM/ha. Dies führen wir auf Blattverluste sowie hohe Kornverluste durch Ausfall und Vogelfraß zurück.

Die Winterungen in Aholfing (Abbildung 14) zeigten in der Tendenz ähnliche Ergebnisse: mit voranschreitender Abreife stieg im Wintergetreide der Trockenmasse-Ertrag, wobei diese Entwicklung in der Wintergerste von Termin zu Termin gleichmäßiger verlief als im Winterroggen. Im Winterroggen brachte die Entwicklung von Stadium 75 zu Stadium 83 einen hohen Ertragszuwachs und auch eine hohe Steigerung des Trockensubstanzgehaltes. Eine Maximierung des möglichen Ganzpflanzenertrags muss allerdings auch immer die mögliche Verschlechterung der Substratqualität im Hinblick auf Siliereigenschaften und Verdaulichkeit berücksichtigen.

Auch in Aholfing zeigte sich der Winterrübsen als wenig geeignet für die Ganzpflanzennutzung. Die Trockensubstanzgehalte lagen über die ersten drei beernteten Entwicklungsstadium nur knapp über 20 %. Zum letzten Termin in Stadium 85 hingegen wurden nach einer sprunghaften Steigerung über 60 % Trockensubstanzgehalt festgestellt, die für eine Einsilierung viel zu hoch waren. Auch hier kam es wieder zu hohen Ertragsverlusten im Feld.

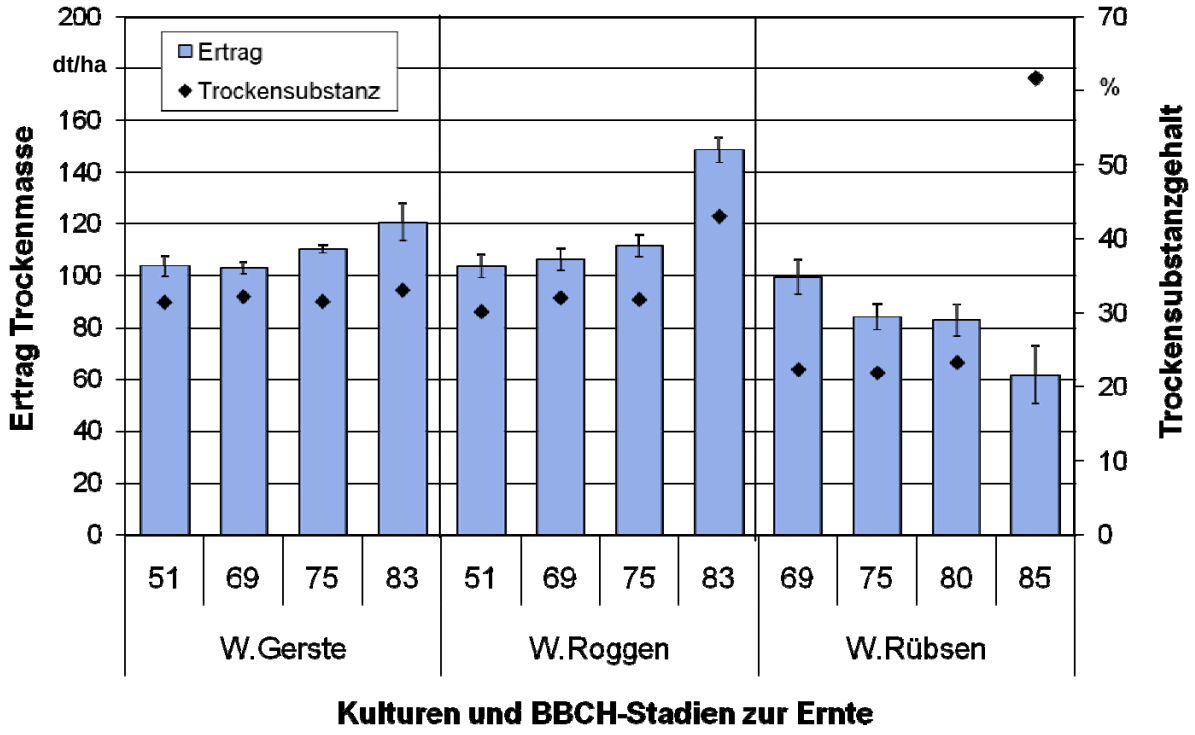


Abbildung 14: Trockenmasseerträge und Trockensubstanzgehalte in den Erntezeitreihen an Kulturen für die Ganzpflanzennutzung am Versuchsstandort Aholfing. Dargestellt sind arithmetische Mittelwerte mit n = 4 und deren Standardfehler.

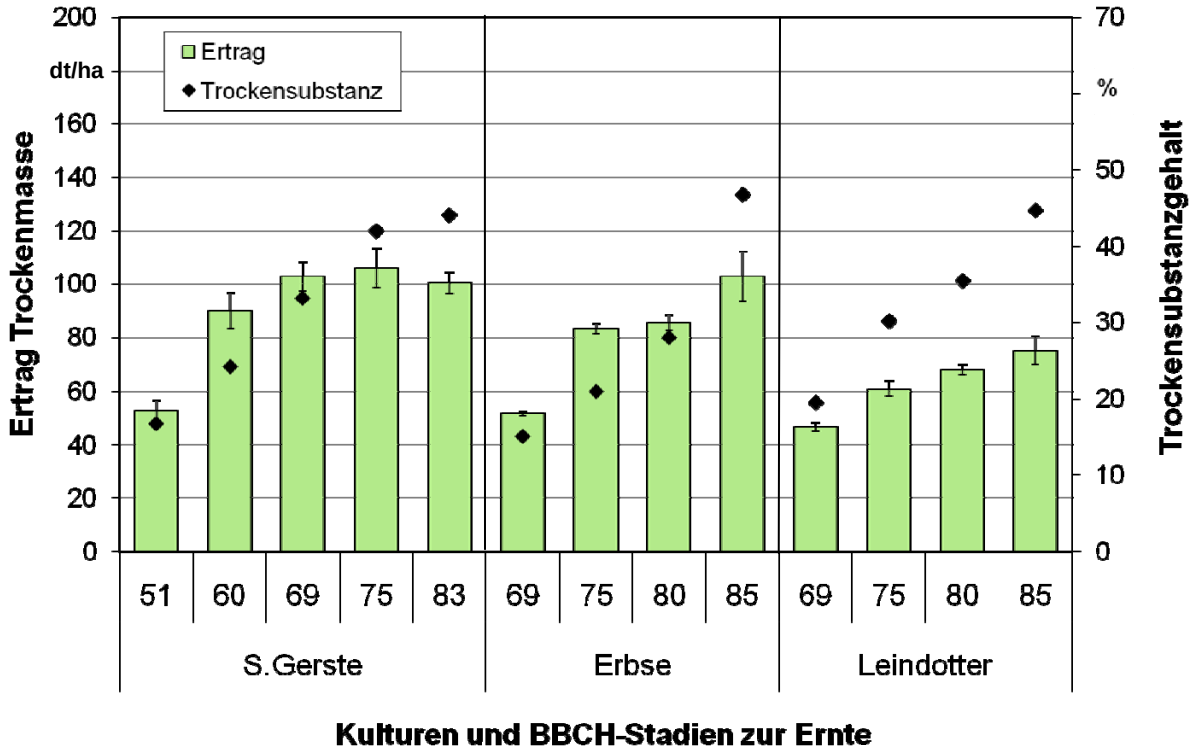


Abbildung 15: Trockenmasseerträge und Trockensubstanzgehalte in den Erntezeitreihen an Kulturen für die Ganzpflanzennutzung am Versuchsstandort Aholfing. Dargestellt sind arithmetische Mittelwerte mit n = 4 und deren Standardfehler.

Die in Aholfing getesteten Sommerungen Sommergerste, Futtererbse und Leindotter wiesen zum letzten Erntetermin Trockensubstanzgehalte von über 40 % bis 50 % auf (Abbildung 15). In der Sommergerste wurde der maximale Trockenmasseertrag schon zu Stadium 69 erreicht und ohne deutliche Reduktion bis zum letzten Erntetermin in Stadium 83 erhalten. Hier erscheint eine Ernte zum BBCH-Stadium 69 bezüglich des Trockenmasse-Ertrags und der Trockensubstanzgehalte empfehlenswert. In Erbsen und Leindotter wurde eine kontinuierliche Steigerung des Ertrags wie auch des Trockensubstanzgehaltes beobachtet.

4 Zusammenfassung

Die Untersuchungen der Mischkulturen erstreckten sich über den Zeitraum von 2005 bis 2007. Auf je zwei Versuchsstandorten in Mecklenburg-Vorpommern und Bayern wurden die Versuche auf Grenzstandorten angelegt. In dem Versuch wurde der Ansatz verfolgt, mit Gemengen aus Getreide, Leguminosen und Ölpflanzen eine größere Ertragssicherheit zu erreichen.

Über alle Jahre und Standorte wiesen die Winterkulturen Wintergerste und Winterroggen sowie das Gemenge Wickroggen und Roggen-Bokharaklee sehr hohe Erträge auf. Dabei zeigte sich die Wintergerste insbesondere auf dem Grenzstandort in Gülzow als ertragreichste Kultur mit den höchsten Methan-Hektarerträgen. Auf den bayerischen Standorten lieferten hingegen Winterroggen und Wickroggen die besseren Ertragsleistungen. Bei den Gemengen Wickroggen und Winterroggen-Bokharaklee ist zu berücksichtigen, dass diese Varianten trotz einer um 20 % verminderten Stickstoffdüngung an die Erträge der Reinsaaten heranreichten. Damit können sie bei steigenden Düngemittelpreisen gegenüber dem Winterroggen in Reinkultur an Vorzüglichkeit gewinnen. Die übrigen Gemenge blieben hinter den Ertragserwartungen zurück und brachten auch im Hinblick auf die Ertragssicherheit keinen Vorteil.

Eine Ausnahme bildeten die Ackerfuttermischungen Landsberger Gemenge und Kleegras, die zusammen mit dem Welschen Weidelgras bei mehrmaliger Schnittnutzung bei hohen Niederschlagssummen 2007 die höchsten Gesamterträge lieferten. In 2006 konnte jedoch aufgrund der Sommertrockenheit nur ein einmaliger Schnitt erfolgen, was insbesondere auf den Standorten in Mecklenburg-Vorpommern zu erheblichen Ertragseinbußen führte. Dennoch sollten diese Kulturen bei der Fruchtfolgeplanung im Energiepflanzenbau stärker Beachtung finden, da sie sowohl die Humusbilanz positiv beeinflussen und eine gute Vorfruchtwirkung besitzen als auch die Biodiversität der Kulturlandschaft erhöhen und ein langes Blütenangebot sichern.

Bei den Sommerkulturen wurden in Mecklenburg-Vorpommern und Bayern eine Vielzahl und je nach Standort unterschiedliche Reinsaaten und Gemenge getestet. Die Ertragsleistungen schwankten dabei stark zwischen den Jahren und den einzelnen Versuchsstandorten. In Mecklenburg-Vorpommern erzielten auf dem Ökofeld über beide Versuchsjahre Mais und das Gemenge Mais-Bokharaklee die höchsten Erträge vor Sommerroggen, Bokharaklee und dem Getreidegemenge Sommerroggen-Sommergerste-Hafer. Dagegen zeigte sich auf dem Grenzstandort auf einem insgesamt höheren Ertragsniveau das Gemenge Sommergerste-Lupine-Saflor nach Mais und Mais-Bokharaklee als relativ ertragsstark, das insbesondere im trockenen Jahr 2007 deutlich besser als die Reinsaat Sommergerste abschnitt. In Bayern wurden die Sommerkulturen nur am Standort Aholfing getestet. Hier zeigte sich 2006 Som-

mergerste und das Gemenge Sommergerste-Leindotter überlegen, wobei letzteres trotz eines etwas geringeren Trockenmasse-Ertrags höhere theoretische Methan-Hektarerträge erbrachte. In 2007 dagegen waren nach der Frühjahrstrockenheit die Reinsaaten Saflor und Futtererbse der Sommergerste überlegen. Insbesondere die hohe Biogasausbeute von Saflor lässt diesen in trockenen Jahren als vorzügliche Alternative zu Sommergetreide erscheinen. Bei der Fruchtfolgeplanung ist jedoch zu berücksichtigen, dass Saflor erst spät das Feld räumt.

Die Ergebnisse des zusätzlich angelegten Versuchs zum Herbizideinsatz waren etwas überraschend, da keine gesicherten Mehrerträge durch die Unkrautbehandlung nachgewiesen werden konnten. In den Kulturen Erbse und Leindotter kam es durch die zu kurzfristig vor dem Auflaufen durchgeführte Herbizidbehandlung zu Spritzschäden, die sich bis zur Ernte an den Pflanzen abzeichneten. Da in den Gemengen im Allgemeinen eine dichte Bestandesstruktur und damit gute Unkrautunterdrückung erreicht wurde, kann auf die problematische Herbizidbehandlung generell verzichtet werden.

Der integrierte Versuch zu Erntezeitpunkten von Ganzpflanzengetreide sowie anderen Ganzpflanzenkulturen wies auf erst spät erfolgende, aber hohe Ertragszuwächse einiger Kulturen wie Winterroggen hin. Gleichzeitig nahmen allerdings die Trockensubstanzgehalte zu, so dass zur Maximierung der Substratqualität sowie zur Sicherstellung guter Siliereigenschaften eine Beerntung vor dem Ertragsmaximum angebracht ist. Winterrübsen ist nicht allein wegen der hohen Produktionsintensität sondern auch wegen der unerwünscht hohen Schwefelgehalten für die Biogasproduktion eher ungeeignet. Die bis zum Entwicklungsstadium 80 sehr niedrigen Trockensubstanzgehalte, die dann sprunghaft viel zu hoch werden, erlauben kaum eine gute Silagebereitung.

Der Mischfruchtanbau ist für die ausschließliche Maximierung der Biomasseerträge nicht das geeignete Instrument. Als Extensivvariante in einseitigen Fruchtfolgen oder auf Grenzstandorten kann er hinsichtlich der Nährstoffversorgung der Folgekultur, der Unterbrechung von Krankheitsketten oder aber auch hinsichtlich der Bodensanierung zur Optimierung des gesamten Systems beitragen. Die Humusbilanz kann er durch sein im Vergleich zur Reinsaat größeres Wurzelwerk positiv beeinflussen. Aus ökologischer Sicht ist neben dem Blütenangebot von Winterwicke, Saflor, Leindotter und anderen Kulturen auch die Erhöhung der Biodiversität in der Kulturlandschaft ein Gewinn. Zudem bietet der Mischfruchtanbau die Möglichkeit, Produktionsmittel und dabei insbesondere energieintensive Stickstoffdüngemittel einzusparen und damit einen positiven Beitrag zum Klimaschutz zu leisten.

5 Literaturverzeichnis

BECKER, M. und NEHRING, K. (1969): Handbuch der Futtermittel. Verlag Paul Parey, Hamburg und Berlin, S. 559.

DLG (1997): DLG-Futterwerttabellen - Wiederkäuer. DLG-Verlag, Frankfurt/Main, 7.Auflage, S. 212.

GRUBER, H. und THAMM, U. (2005): Standortspezifische Auswirkungen einer langjährigen, ökologischen Bewirtschaftung auf acker- und pflanzenbauliche sowie umweltrelevante Parameter. Forschungsbericht (22/04), Landesforschungsanstalt für Landwirtschaft und Fischerei Mecklenburg-Vorpommern, S. 41.

KTBL (2006): Energiepflanzen - Daten für die Planung des Energiepflanzenanbaus. Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e. V. (KTBL), Darmstadt, S. 372.

MAKOWSKI, N. (2004): Getreideanbau auf Sandböden, Getreidemagazin 9, S.180-183.

MENNING, P., SCHEIL, A. (1995): Bodendeckencharakter Ökofeld Gülzow/ Mecklenburg. Mitteilungen der Landesforschungsanstalt für Landwirtschaft und Fischerei Mecklenburg-Vorpommern, Heft 8, S. 1–4.

MINISTERIUM FÜR ERNÄHRUNG, LANDWIRTSCHAFT, FORSTEN UND FISCHEREI MECKLENBURG-VORPOMMERN (2006): (Bio-)Energieland Mecklenburg-Vorpommern, Schwerin, S. 56.

POCH, M. (1953): Biogas - Wege zur zusätzlichen Energiegewinnung in der Landwirtschaft bei gleichzeitiger Verbesserung der Humuswirtschaft. Berlin, Deutscher Bauernverlag, S. 48.

REUTER, G., BÖTTCHER, H., HONERMEIER, B., KOPP, H., LANGE, G., MAKOWSKI, N., MUELLER, K. und K. TELTSCHIK (2007): Diversity of humus stocks in the arable soils of the Late Pleistocene ground morains in Mecklenburg-Vorpommern, West Pomerania, Germany, Archives of Agronomy and Soil Science; 53(2-3), S. 231-240.

SEIFFERT, M. (1968): Landwirtschaftlicher Pflanzenbau, Berlin, 487 S.

6 Anhang

A Witterungsverlauf

Tabelle 1: Mittlere monatliche Lufttemperaturen, Niederschläge und Abweichungen von den langjährigen Monatsmittelwerten (1971 - 2000) am Standort Gülzow

Monat	Gülzow	
	Lufttemperatur (°C)	Niederschlagssumme (mm)
2005		
August	16,3 (-0,7)	40 (-12)
September	15,4 (+2,3)	77 (+28)
Oktober	11,1 (+2,5)	45 (+5)
November	4,4 (+0,4)	33 (-8)
Dezember	1,4 (±0,0)	59 (+10)
2006		
Januar	-2,5 (-2,4)	14 (-25)
Februar	0,3 (-0,2)	28 (+4)
März	0,7 (-2,7)	43 (+6)
April	7,7 (+0,7)	49 (+14)
Mai	12,8 (+0,7)	68 (+21)
Juni	17,1 (+2,0)	57 (-10)
Juli	22,3 (+5,0)	29 (-33)
August	17,1 (+0,1)	203 (+151)
September	17,3 (+4,2)	36 (-14)
Oktober	12,5 (+3,9)	46 (+6)
November	7,3 (+3,3)	50 (+9)
Dezember	6,1 (+4,7)	28 (-21)
2007		
Januar	5,0 (+5,1)	90 (+5)
Februar	2,9 (+2,4)	46 (+18)
März	6,9 (+3,5)	38 (±0)
April	10,4 (+3,4)	2 (-36)
Mai	14,0 (+1,7)	80 (+32)
Juni	17,3 (+2,0)	154 (+84)
Juli	17,3 (-0,1)	94 (+34)
August	17,6 (+0,5)	170 (+109)
September	13,5 (+0,1)	66 (+14)

Tabelle 2: Lufttemperaturen (Monatsmittel) und Niederschläge (Monatssummen) der Wetterstation Steinach (Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, ca. 10 km von Ascha entfernt), in Klammern die Differenz zum langjährigen Mittel (Handaufzeichnung Steinach, pers. Mitteilung Herr Fuchs)

	Ascha	
Monat	**Lufttemperatur (°C)**	**Niederschlagssumme (mm)**
2005		
September	14,5 (1,9)	55 (-9)
Oktober	9,7 (2,5)	32 (-29)
November	2,1 (0,0)	36 (-31)
Dezember	-1,5 (-0,5)	71 (-8)
2006		
Januar	-5,4 (-2,9)	49 (-17)
Februar	-2,7 (-1,5)	96 (+46)
März	0,7 (-2,5)	152 (+97)
April	8,2 (0,9)	57 (+11)
Mai	13,2 (0,4)	117 (+53)
Juni	17,3 (1,8)	79 (-9)
Juli	21,6 (4,3)	77 (-16)
August	14,9 (-2,0)	149 (+73)
September	16,6 (4,0)	17 (-48)
Oktober	11,2 (4,0)	32 (-28)
November	5,3 (3,2)	47 (-20)
Dezember	1,4 (2,4)	58 (-21)
2007		
Januar	2,9 (5,4)	108 (+42)
Februar	3,4 (4,6)	93 (+43)
März	5,7 (2,5)	43 (-12)
April	11,9 (4,6)	3 (-43)
Mai	14,3 (1,5)	151 (+88)
Juni	17,9 (2,4)	114 (+26)
Juli	17,9 (0,5)	147,9 (+54)
August	16,7 (-0,2)	78 (+2)
September	11,6 (-0,9)	119 (+54)

Tabelle 3: Lufttemperaturen (Monatsmittel) und Niederschläge (Monatssummen) der Wetterstation Piering (Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, ca. 10 km von Aholfing entfernt), in Klammern die Differenz zum langjährigen Mittel (Deutscher Wetterdienst)

	Aholfing	
Monat	**Lufttemperatur (°C)**	**Niederschlagssumme (mm)**
2005		
September	15,1 (1,6)	29 (-30)
Oktober	9,6 (1,5)	29 (-15)
November	2,2 (-0,7)	26 (-25)
Dezember	-1,2 (-1,2)	32 (-18)
2006		
Januar	-5,4 (-3,7)	7 (-31)
Februar	-2,2 (-1,8)	45 (+12)
März	1,8 (-2,4)	102 (+61)
April	9,1 (1,0)	78 (+40)
Mai	13,7 (0,2)	85 (+21)
Juni	17,7 (1,7)	97 (+14)
Juli	21,6 (3,8)	58 (-25)
August	15,2 (-2,4)	117 (+44)
September	16,5 (3,0)	56 (-2)
Oktober	10,8 (2,7)	39 (-5)
November	5,3 (2,4)	28 (-22)
Dezember	1,5 (1,5)	39 (-11)
2007		
Januar	3,6 (5,3)	86 (+48)
Februar	4,2 (4,6)	32 (-1)
März	6,1 (1,9)	29 (-12)
April	12,2 (4,1)	1 (-37)
Mai	14,8 (1,3)	164 (+99)
Juni	17,5 (1,5)	87 (+3)
Juli	18,2 (0,4)	139 (+56)
August	17,3 (-0,3)	36 (-38)
September	12,2 (-1,3)	120 (+61)

Endbericht zum Verbundprojekt

Verbund:

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

Teilprojekt Ackerfuttermischungen:

Eignung von Ackerfuttermischungen für die energetische Nutzung

(Kurztitel: Ackerfutter und Biomasse)

Projektpartner:
LWK Niedersachsen (LWK Weser-Ems bis 31.12.2005):
Carsten Rieckmann, Dr. Matthias Benke
LVLF Brandenburg; Humboldt-Universität Berlin (Nachauftragnehmer)
Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft
Förderkennzeichen: 22002305 vom 04.05.2005

1 Einleitung

Ziel des Projektes ist es, die Eignung verschiedener Ackerfutterpflanzen unter den unterschiedlichen regionalen Standortbedingungen in Brandenburg, Thüringen und Niedersachsen für die energetische Nutzung zu ermitteln.

Es wurden mehrjährige Ackergrasmischungen und Leguminosen-Gras-Gemenge hinsichtlich ihrer Eignung für die energetische Nutzung (Biogas, Methan) geprüft. Die Parameter Biomasse-Ertrag, Inhaltsstoffe und Konserviereignung des mehrschnittigen Ackerfutters wurden ausgewertet. Für ausgewählte Mischungen sind Berechnungen zur Ermittlung des Methanbildungsvermögens sowie des Methanertrages durchgeführt worden.

2 Material und Methoden

Die Versuche wurden im Frühjahr 2005 in allen drei Bundesländern als zweifaktorielle Streifenanlage in vier Wiederholungen angelegt. Die Parzellengröße wurde je nach Versuchsstandort unterschiedlich gewählt.

Am Standort Berge in Brandenburg wurden die Ackerfuttermischungen mit dem Saatpartner Sommergerste gedrillt.

Der zweite Brandenburger Versuch in Paulinenaue, sowie die Versuche in Thüringen und Niedersachsen wurden ausschließlich in Blanksaat angelegt.

2.1. Standorte

Die Standorte und die angebauten Mischungen wurden von den jeweilig zuständigen Länderdienststellen in Niedersachsen, Brandenburg und Thüringen ausgewählt (Abbildung 1).

In Niedersachsen repräsentieren die vier Standorte die wichtigsten Standortgruppen im Hinblick auf die Bodenart. So befindet sich der Standort Sophienhof mit einem jungen Seemarschboden in einem maritimen Klimaraum. Der Standort Wehnen charakterisiert die leicht humosen Sandböden in der nordwestdeutschen Tiefebene des Binnenlandes. In südöstlicher Richtung dazu befindet sich der Versuch in Bramstedt auf einem sandigen Lehmboden. Auf einem Übergangsmoor in der nordwestdeutschen Tiefebene unter maritimem Klimaeinfluss liegt der Standort Vreschen-Bokel.

Standorte des Satellitenversuches Ackerfuttermischungen

Anlagejahr 2005

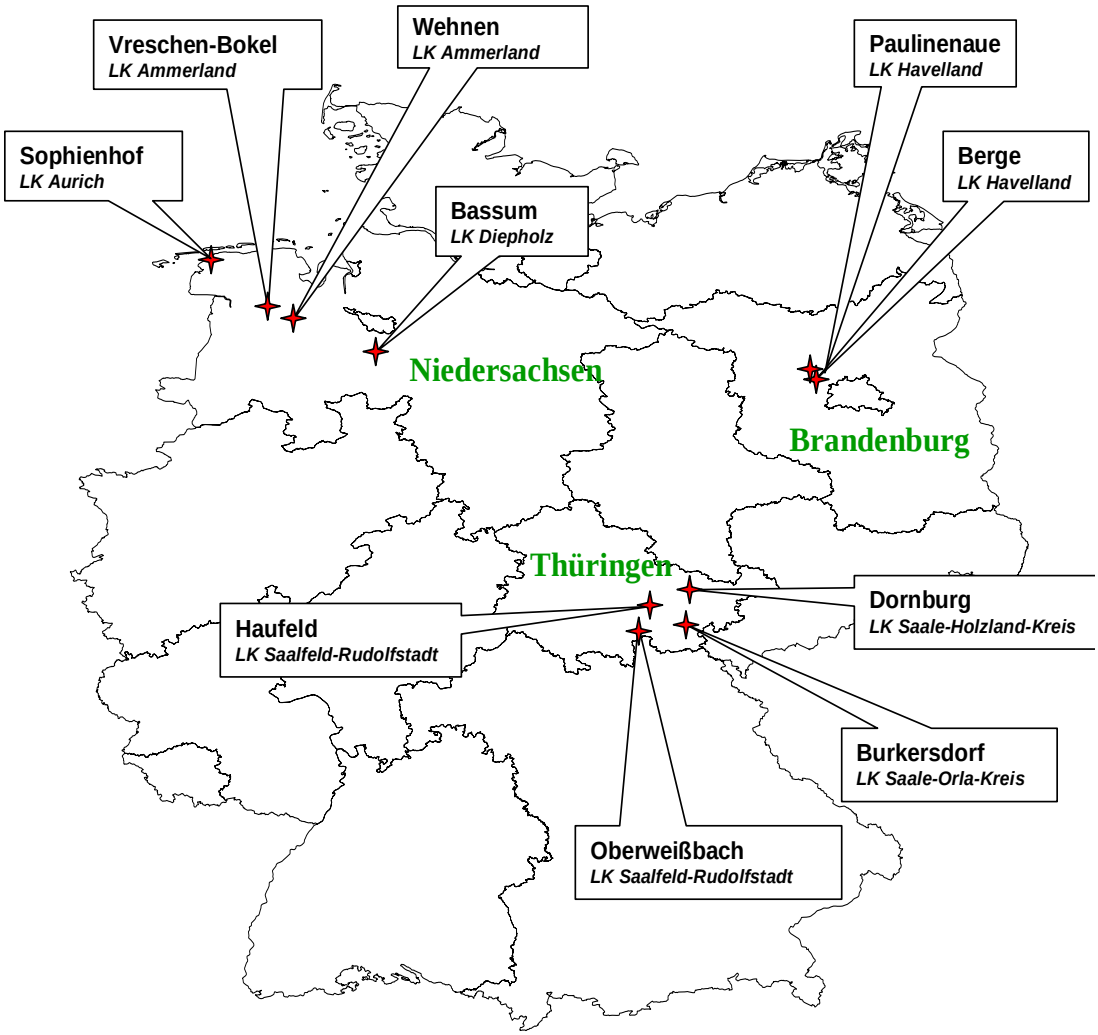


Abbildung 1

Die Standorte in Thüringen repräsentieren die sehr heterogenen Standortbedingungen Thüringens. Der Standort Burkersdorf steht für die günstigen Übergangslagen zum Vorgebirge. Es ist ein futterwüchsiger Standort, auf dem vor allem Rotkleegras Vorteile hat. Bei weidelgrasbetonten Mischungen besteht die Gefahr stärkerer Auswinterung durch Kahlfröste.

Der Standort Dornburg ist ein klassischer Ackerbaustandort im wärmeren Löß-Lehm-Gebiet, auf welchem aus Sicht des Futterbaus der Mais dominiert. Grünland ist in diesen Gebieten nur in sehr schmalen Flusstälern vorhanden. Als sommertrockener, kalkreicher Standort gehört Haufeld zu den klassischen Luzerneanbaugebieten. Grasmischungen haben begründet durch die ausgeprägte Sommertrockenheit vor allem Wachstumsprobleme nach dem ersten Aufwuchs. Der Versuchsstandort Oberweißbach kennzeichnet die niederschlagsreichen Mittelgebirgsstandorte mit Problemen bei der Auswinterung von Gräsern. In diesen Gebieten dominiert das Grünland. Eine Umschichtung der Bestände durch gezielte Nachsaat mit geprüften Mischungen könnte für diese Standorte neue Nutzungsmöglichkeiten erschließen.

In Brandenburg sind die Versuche auf einem grundwasserbeeinflussten humosen Sand (Paulinenaue) und auf einem grundwasserfernen lehmigen Sand (Berge) angelegt worden. Am Standort Paulinenaue dominiert Gleyboden, während es sich am Standort Berge um eine Parabraunerde handelt.

2.2 Prüffaktoren

Folgende Versuchsfrage war zu klären: Welche Ackerfuttermischungen bringen bei unterschiedlicher Schnittfrequenz die höchsten Biomasseerträge und wie wirken sich veränderte Schnittzeitpunkte auf die Gasausbeute des Erntematerials aus?

2.2.1 Nutzungsregime

Ziel der Versuche ist es, das Leistungsvermögen verschiedener Mischungen und Gemenge von langlebigeren, mehrschnittigen Futterpflanzen aus Sicht der Ertragsbildung und Qualitätsentwicklung unter den differenzierten Standortbedingungen bei intensiver früher und bei späterer und verringerter Schnittnutzung zu überprüfen (Tabelle 1).

Tabelle 1: Nutzungsregime

Abstufung	**Schnittzeitpunkt**	**Beschreibung**	**Schnitte je Jahr**
1)	1. Aufwuchs	Beginn Ährenschieben (BBCH 51)	4 bis 5
	Folgeaufwüchse	Ende Schossphase (BBCH 39)	
2)	1. Aufwuchs	Ende Ähren-/Rispenschieben (BBCH 59) bei Gräsern bzw. Ende Knospenbildung bei Leguminosen (BBCH 59)	3 bis 4
	Folgeaufwüchse	Ende der Schossphase / Beginn Ähren/Rispenschieben(ab BBCH 39)	

2.2.2 Ansaatmischungen in den einzelnen Bundesländern

Die Wahl der Mischungspartner erfolgte unter Berücksichtigung der unterschiedlichen Standortansprüche. Da diese regional stark differieren, ist es für die Erstellung von Empfehlungen wichtig, die Unterschiede zwischen den Mischungen unter den einzelnen Standortbedingungen zu quantifizieren.

Dazu wurden in den jeweiligen Bundesländern unterschiedliche Mischungen angesät. Dabei war das Nutzungsregime einheitlich.

Während in Niedersachsen schwerpunktmäßig weidelgrasreiche Mischungen mit vorwiegend kurzlebigen Arten, wie z.B. Welsches Weidelgras ausgewählt wurden, dominieren in Thüringen und Brandenburg ausdauernde Ansaatmischungen. Der Einsatz von Leguminosen beschränkt sich in Niedersachsen auf Rotkleegras, während in den östlichen Bundesländern neben Rotklee- auch Luzernegras für trockenere Standorte eingesetzt wurde.

Als Vergleichsvariante wurde an allen Standorten die Mischung A 3, bestehend aus Welschem Weidelgras, Bastardweidelgras und Deutschem Weidelgras, geprüft. Außerdem wurde das Gemenge aus der A3-Gräsermischung und Rotklee in Niedersachsen und Brandenburg in die Prüfung einbezogen.

Mischungen in Niedersachsen

Insgesamt wurden 9 unterschiedliche Ansaatmischungen geprüft. Sie sind durchweg stark weidelgrasbetont. In den Varianten 7 und 8 ist als Leguminose der Rotklee den Gräsermischungen beigefügt. Die Stickstoffdüngung wurde entsprechend bei diesen Mischungen reduziert.
Die Düngung der Varianten erfolgte in Abhängigkeit von den Mischungspartnern.
Die Aufteilung der N-Düngung zu den einzelnen Schnitten erfolgte für die Mischungen 1 – 6 und 9 folgendermaßen: 100/80/60/40 kg N/ha. Für die Mischung 7 wurde die N-Düngung zu den ersten drei Schnitten 60/40/40 aufgeteilt; und für die Mischung 8 wurde nur zum 1. Schnitt eine Gabe von 40 kg N/ha gedüngt. Im Anlagejahr 2005 wurden aufgrund der sehr wüchsigen Witterungsbedingungen nach einem Schröpfschnitt noch 3 bis 4 Ernteschnitte – je nach Schnittregime – durchgeführt. Bei der Ertragsdarstellung der einzelnen Standorte wurde der Schröpfschnitt in Bramstedt 2005 quantitativ erfasst und mit in die Ertragstabelle aufgenommen.

<u>Mischungen in Brandenburg</u>

Die Auswahl der Mischungen an den Brandenburger Standorten Paulinenaue und Berge war bis auf eine Ausnahme identisch. In Paulinenaue wurde anstelle der Variante 5 (Wiesenschweidel und Wiesenlieschgras mit Luzerne) Rotklee und Bastardweidelgras geprüft.
Die Mischungen in Berge wurden mit dem Saatpartner Sommergerste ausgesät. Die Sommergerste wurde als Ganzpflanze am 19.07. 2005 nach 91 Aufwuchstagen geerntet (Gerstgras, Gerst-Leguminosen-Gras). Im Ansaatjahr wurden die Ackerfuttermischungen anschließend noch einmal am 08.09.2005 genutzt. Gedüngt wurden die Mischungen 2005 wie folgt: Mischung 1 und 2 wurden zu beiden Schnitten mit jeweils 60 kg N/ha und die Mischungen 3 bis 6 nur zum 1. Schnitt mit 60 kg N/ha gedüngt.
In Paulinenaue erhielten alle Varianten eine Startdüngergabe von 40 kg N/ha sowie die Mischungsvarianten 1 und 2 nochmals 60 kg N/ha nach dem 1. Schnitt. Zur Reduzierung des Unkrautbesatzes erfolgte am 02.06. ein Schröpfschnitt aller Varianten.

Mischungen in Thüringen

Rotkleegras:
Diese Mischung gehört zu den bewährten Empfehlungen für die feuchteren Gebiete in den Vorgebirgslagen. Aus Kostengründen wurde bewusst auf eine Vielartenmischung verzichtet, die nach derzeitigem Erkenntnisstand nicht unbedingt zu höheren Erträgen bzw. Qualitäten führen muss.

Luzernegras:
Es stellt eine bewährte Mischung für extrem trockene Standorte dar. Dort liefert dieses Gemisch zumindest noch einen ansprechenden Ertrag. Eine Mischung von Luzerne mit aus Sicht der Fütterung höherwertigen Gräsern verspricht unter diesen Standortverhältnissen wenig Erfolg, da kurzfristig eine Umschichtung zu einem Luzernereinbestand, mit den damit verbundenen Schwierigkeiten für die Silierung, zu befürchten ist.

Luzerne-/Rotkleegras:
Hat in vorausgegangenen Versuchen eine hohe Standortvariabilität und Ertrags- bzw. Qualitätsstabilität nachgewiesen. Eine Quantifizierung der Vor- oder Nachteile gegenüber Mischungen mit nur einem legumen Mischungspartner unter differierenden Standortbedingungen sollte in diesem Versuchsvorhaben überprüft werden.

Weidelgrasmischung (A 3):
Ist die bewährte Standardmischung für alle futterwüchsigen Lagen mit pflügbaren Böden. Die Nutzungsdauer dieser Mischung ist allerdings eingeschränkt.

Gräsermischung:
Sie dient als längerlebige Mischung zum Vergleich zur wahrscheinlich wüchsigeren Mischung A 3. Der vergleichende Anbau sollte die Differenzen im Ertragsaufbau und Ertragsverlauf über die Prüfjahre aufzeigen und Nutzungsmöglichkeiten für das Grünland erschließen.

Tabelle 2: Ackerfuttermischungen

Mischung	Art	Sorte	Saatmenge kg/ha
Brandenburg			
1. Gräsermischung A 2	Wiesenschweidel Welsches Weidelgras	Paulita (t) Fabio (t)	15 20
2. Weidelgrasmischung A 3	Welsches Weidelgras Bastardweidelgras Dt. Weidelgras	Mondora (t) Ibex (t) Twins (t)	10 10 15
3. Weidelgrasmischung A 3 plus Rotklee	Welsches Weidelgras Bastardweidelgras Dt. Weidelgras Rotklee	Mondora (t) Ibex (t) Twins (t) Titus (t)	7,5 7,5 10 10
4. Gräsermischung plus Rotklee	Wiesenschweidel Wiesenschweidel Rotklee	Paulita (t) Liphlea Titus (t)	8 2 12
5. Luzerne plus Gräsermischung (Berge)	Wiesenschweidel Wiesenlieschgras Luzerne	Paulita (t) Liphlea Planet	8 2 18
5. Bastardweidelgras plus Rotklee (Paulinenaue)	Bastardweidelgras t Rotklee	Ibex (t) Temara (t)	15 10
6. Luzerne-Rotklee-Gräsermischung	Wiesenschweidel Wiesenlieschgras Rotklee Luzerne	Paulita (t) Liphlea Titus (t) Planet	8 2 2 12
Thüringen			
1 Rotkleegras	Wiesenschwingel Wiesenlieschgras Rotklee	Lifara Comer Temara (t)	9 3 13
2 Luzernegras	Knaulgras Luzerne	Treposno Planet	2 18
3 Luzerne-/Rotkleegras	Wiesenschwingel Wiesenlieschgras Rotklee Luzerne	Lifara Comer Temara (t) Planet	5 2 6 7
4 Weidelgrasmischung A 3	Welsches Weidelgras Bastardweidelgras Dt. Weidelgras	Taurus (t) Redunca (t) Magyar, Sirius (t)	10 10 15
5 Gräsermischung	Dt. Weidelgras Wiesenschwingel Wiesenlieschgras	Magyar, Sirius (t) Lifara Comer	14 8 3

Fortsetzung Tabelle 2: Ackerfuttermischungen

Mischung	Art	Sorte	Saatmenge kg/ha
Niedersachsen			
1. Weidelgrasmischung A 2	Einj. Weidelgras Welsches Weidelgras	Lemnos (t) Fabio (t), Mondora (t)	15 30
2. Weidelgrasmischung A 1, diploid	Welsches Weidelgras	Zarastro, Alamo	40
3. Weidelgrasmischung A 1, tetraploid	Welsches Weidelgras	Mondora (t), Fabio (t)	50
4. Weidelgrasmischung A 3	Welsches Weidelgras Bastardweidelgras Dt: Weidelgras	Mondora (t) Ibex (t) Twins (t)	10 10 15
5. Bastardweidelgras	Bastardweidelgras	Rusa (t), Ibex (t)	45
6. Weidelgrasmischung A 5	Dt. Weidelgras früh Dt. Weidelgras mfr. Dt. Weidelgras spät	Lacerta (t) M Twins (t), Tivoli (t)	9 12 9
7. Mischung A 3 plus Rotklee	Welsches Weidelgras Bastardweidelgras Dt. Weidelgras Rotklee	Mondora (t) Ibex (t) Twins (t) Temara (t)	7,5 7,5 10 10
8. Bastardweidelgras plus Rotklee	Bastardweidelgras Rotklee	Ibex (t) Temara (t)	15 12
9. Mischung A 1	Welsches Weidelgras	Alamo Fabio (t)	22,5 22,5

2.3. Versuchsdurchführung

Die Erntetermine wurden entsprechend dem bekannten Wissen zur Ertrags- und Qualitätsentwicklung mit dem Ziel einer jeweiligen Maximierung gewählt. Berücksichtigung fand dabei auch die Praktikabilität für die Versuchsdurchführung. Im Anlagejahr 2005 wurde in Thüringen ein Schröpfschnitt durchgeführt. Auf den Standorten in Brandenburg und Niedersachsen erfolgte bereits eine Ertragsermittlung. Für die Ergebnisdarstellung wird allerdings auf die beiden Hauptnutzungsjahre 2006 und 2007 Bezug genommen.

Die N-Düngung wurde, wie zum Teil bereits unter Punkt 2.2.2 erwähnt, in Abhängigkeit von der Schnitthäufigkeit und den einzelnen Mischungen bzw. Standortbedingungen differenziert gestaltet. Daher ist nicht von unterschiedlichen Schnittregimen sondern von unterschiedlichen Nutzungsregimen zu sprechen. Auf den Standorten Berge (BB), Dornburg (TH), Wehnen (NI) und Bramstedt (NI) wurden Zusatzerhebungen bzw. Untersuchungen für das ZALF durchgeführt.

2.4. Witterung 2005 - 2007

Infolge der sehr günstigen Witterungsbedingungen im Ansaatjahr 2005 konnten sich auf allen Standorten die Ansaatmischungen gut etablieren. Durch die optimalen Wachstumsbedingungen bis in den Oktober hinein konnten im Ansaatjahr auf den Standorten in Brandenburg und Niedersachsen nach einem ersten Schröpfschnitt noch Ertragsschnitte durchgeführt werden.

Die Witterung im Jahr 2006 war durch die längeren Frostperioden bis in den März hinein geprägt, die bei den Ackergrasmischungen in Abhängigkeit von den einzelnen Standortgegebenheiten zu unterschiedlichen Auswinterungsschäden führten und einen zum Teil stark verzögerten Wachstumsbeginn verursachten. Entstandene Lücken wurden teilweise durch andere Mischungspartner oder aber durch Unkräuter besetzt. Im Vergleich zu den langjährigen Mittelwerten war die Niederschlagsmenge von Mai bis Juli zu gering. Insbesondere die Monate Juni und Juli führten auf den leichteren und grundwasserfernen Standorten zu einem extremen Wasserdefizit. Bei den überdurchschnittlich hohen Temperaturen im Juli stagnierte das Wachstum bei den Ackergrasmischungen und Leguminosen-Gras-Gemengen und starke Trockenschäden waren die Folge. Teilweise waren die Narben stark geschädigt. Erst die ab August wieder einsetzenden Niederschläge und der ausgesprochen milde und bis in den Dezember andauernde Herbst führten zu einer überraschend guten Regeneration der Bestände.

Die ungewöhnlich milde Witterung im Herbst 2006 setzte sich auch im Jahr 2007 bis in den April hinein fort. Da es praktisch keine nennenswerten Frostperioden gab, wurden Auswinterungsschäden in den einzelnen Mischungen nicht festgestellt. Die überdurchschnittlichen Temperaturen führten bei den Ackerfuttermischungen bei zeitig einsetzender Vegetation und zügigem Wachstum zu einem auf einzelnen Standorten sehr zeitigen ersten Schnitt. Zum Teil musste die Nutzungsfrequenz verändert werden, indem ein zusätzlicher Schnitt durchgeführt wurde. Der April zeichnete sich durch eine lang anhaltende Trockenheit aus, wodurch die Erträge des 1. Schnittes auf einzelnen Standorten beeinflusst wurden. Im weiteren Vegetationsverlauf waren weitgehend kontinuierlich Niederschläge zu verzeichnen, so dass Ertragsausfälle durch Trockenheit nicht auftraten.

2.5. Berechnungsgrundlagen

2.5.1 Nährstoffbilanzierung (N, P, K)

Die Nährstoffbilanzierung wurde für die beiden Hauptnutzungsjahre 2006 und 2007 durchgeführt. Das Anlagejahr 2005 wurde nicht berücksichtigt, da die Vergleichbarkeit der Standorte zwischen den einzelnen Bundesländern aufgrund unterschiedlicher Bewirtschaftung nicht gegeben war.

Die Nährstoffbilanzierung erfolgte an ausgewählten Mischungen und Standorten, weil nur eine begrenzte Anzahl der Aufwüchse auf die Nährstoffe untersucht wurde. Dazu zählen die Standorte Dornburg (TH), Berge (BB), sowie Wehnen, Sophienhof und Bramstedt (alle NI). Neben der generell angebauten A 3 Mischung wurden zusätzlich ausgewählte regionale Mischungen untersucht. Das waren die A 3 plus Rotkleemischung in Berge, Wehnen, Sophienhof und Bramstedt, das Luzerne-Rotkleegras in Berge, die A 1 Mischung in Wehnen, sowie Luzernegras und Luzerne-Rotkleegras in Dornburg. Die Ergebnisse der Standorte Berge, Dornburg und Wehnen sind im Ergebnisteil dargestellt.

Für die Zufuhr wurden mineralische Dünger und die N_2-Fixierung durch Leguminosen *(Literaturquelle 2)* berücksichtigt. Dabei wurde die N-Fixierung durch Rotklee bzw. Luzerne mit einem mittleren Wert 0,027 kg N bzw. 0,03 kg N je Prozentanteil des Trockenmasseertrages der Aufwüchse bewertet. Als Abfuhren bzw. N-Erträge wurden die im Erntegut enthaltenen N-Mengen betrachtet. Somit errechnet sich der Nährstoffsaldo aus Nährstoffzufuhr abzüglich N-Ertrag im Erntegut. Keine Berücksichtigung bei der Nährstoffbilanzierung finden die atmosphärische Deposition, die NO_3-Auswaschung, die N_2-Bindung durch frei lebende Bakterien sowie die N-Zufuhr mit Saatgut (nach WILLMS 2008). Auf eine Nährstoffbilanzierung von Kali und Phosphor wird verzichtet, da in den Hauptnutzungsjahren an einzelnen Orten keine Grunddüngung erfolgte. Erkennbar wurde jedoch, dass auf Standorten mit jährlicher Grunddüngung die P und K Gehalte im Aufwuchs und demzufolge auch bei der Nährstoffabfuhr deutlich höher lagen.

2.5.2 Theoretische Biogas- und Methangasausbeute

Bei der Berechnung der spezifischen Biogasausbeute werden für die Inhaltsstoffe Eiweiß, Fett und Kohlenhydrate potenzielle spezifische Biogas- bzw. Methangehalte verwendet. Die aus den Analysen bekannten Inhaltsstoffe werden hiermit multipliziert. Da davon auszugehen ist, dass keine vollständige Methanisierung erfolgt, wird wie in der Fütterung die Verdaulichkeit nach den DLG – Futterwerttabellen berücksichtigt. Diese richten sich nach den jeweiligen Reifestadien der Aufwüchse.

3 Zusammenfassende Ergebnisse der Jahre (2005) 2006 - 2007

3.1. Brandenburg

Standort Berge

Die mehrschnittigen Ackerfuttermischungen haben mit dem Saatpartner Sommergerste im Ansaatjahr 2005 Trockenmasseerträge von 106 dt/ha erreicht. Die Bestände konnten erfolgreich etabliert werden. Die Leguminosenpartner wiesen nach der Ernte der Sommergerste mit Ausnahme der Mischung 3 (A 3 plus Rotklee) Ertragsanteile von ca. 70 % auf, was unter den bestehenden Standortbedingungen als günstige Bestandeszusammensetzung anzusehen ist.

Im ersten Hauptnutzungsjahr 2006 lag das Ertragsniveau des mehrschnittigen Ackerfutters im Bereich von 87 bis 166 dt/ha Trockenmasse (Abbildung 2). Die Leguminosen-Gras-Gemenge waren den Ackergrasmischungen besonders bei geringerer Schnitthäufigkeit deutlich im Trockenmasseertrag überlegen und damit auch dem nicht bewässerten Silomais auf diesem Standort im Ertrag gleichwertig. Auswinterungsschäden, insbesondere bei den Ansaaten von kurzlebigen Weidelgräsern, führten bei den betroffenen Mischungen vor allem beim 1. Aufwuchs zu Mindererträgen. Mit fortschreitender Vegetationszeit haben sich in den Ackergrasmischungen der Wiesenschweidel bzw. das Deutsche Weidelgras durchgesetzt. Bei den Leguminosen-Gras-Gemengen dominierten die Leguminosenpartner. Vor allem während der Trockenphase setzte sich die Luzerne durch und bildete den Hauptertragsanteil.

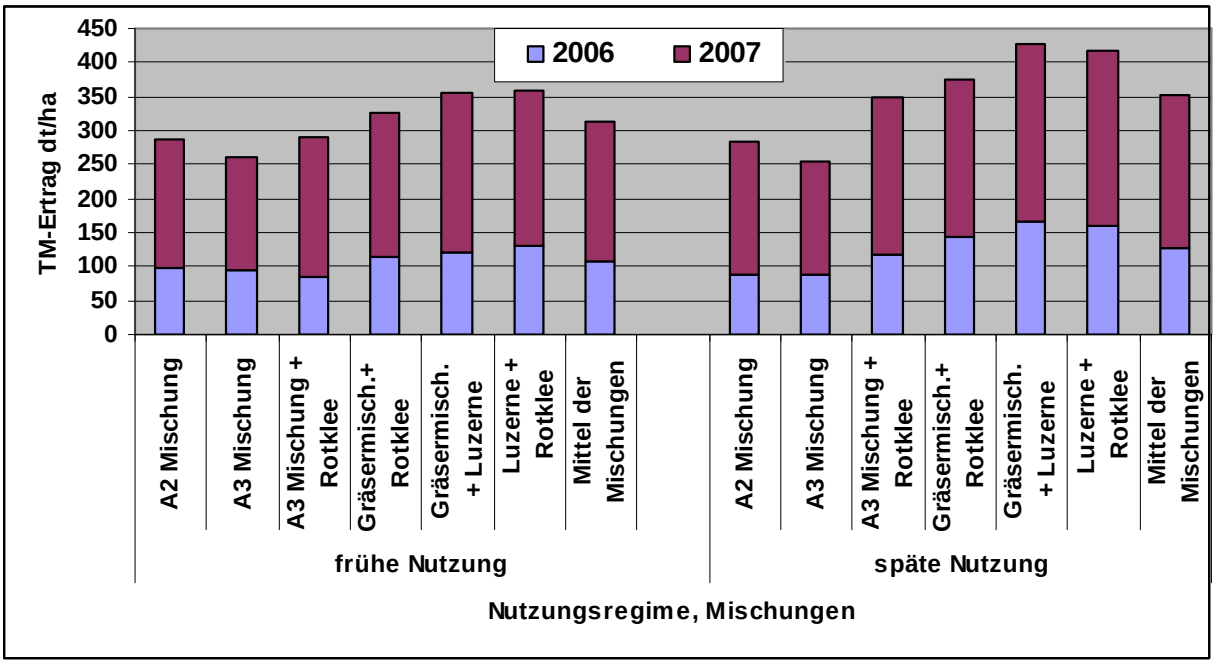


Abbildung 2: Trockenmasseerträge (dt/ha) der Ackerfuttermischungen in den Hauptnutzungsjahren 2006 u. 2007 am Standort Berge

Im 2. Hauptnutzungsjahr 2007 erreichten die Ackergrasmischungen fast doppelt so hohe Trockenmasseerträge wie im Vorjahr, waren aber den Leguminosen-Gras-Gemengen erneut deutlich unterlegen. Der mit Trockenheit im April und hohen Temperaturen einhergehende phänologische Vorsprung erforderte einen sehr zeitigen ersten Schnitt und hatte bei anhaltend hohem Niederschlagsangebot während des weiteren Vegetationsverlaufs die höhere Nutzungsfrequenz der Bestände gegenüber dem ersten Nutzungsjahr zur Folge.

Bei den Leguminosen-Gras-Gemengen führten die längeren Aufwuchszeiten bei geringerer Schnitthäufigkeit auch im zweiten Hauptnutzungsjahr 2007 zu höheren Jahreserträgen. Bei den Ackergrasmischungen bestand diese Abhängigkeit von der Schnitthäufigkeit nicht.

Methanausbeuten und Methanerträge an ausgewählten Mischungen

Am Standort Berge wurde von den Mischungen A 3, A 3 plus Rotklee und vom Luzerne-Rotkleegras auf Basis der nasschemischen Weender Analyse die Methanausbeute (Berechnung lt. Handreichung Biogasgewinnung und –nutzung der Fachagentur für Nachwachsende Rohstoffe 2006) unter Hinzuziehung der unterschiedlichen Verdaulichkeiten der Rohnährstoffe nach DLG Futterwerttabelle berechnet (Abbildung 3 u. 4).

Die in Abbildung 3 dargestellten Methanausbeuten der drei Varianten zeigen im Mittel der beiden Hauptnutzungsjahre, dass die Gasausbeute der Weidelgrasmischung A 3 unabhängig vom Nutzungsregime mit ca. 300 Nl CH_4/kg oTM die besten Ergebnisse liefert. Die geringsten Methanausbeuten erreicht das Luzerne-Rotkleegras. Beim Vergleich der Einzelschnitte wird erkennbar, dass der 1. Schnitt die höchsten Gasausbeuten bei den weidelgrasbetonten Mischungen liefert. Das Luzerne-Rotkleegras hingegen liegt bei allen Schnitten auf etwa gleichem Niveau.

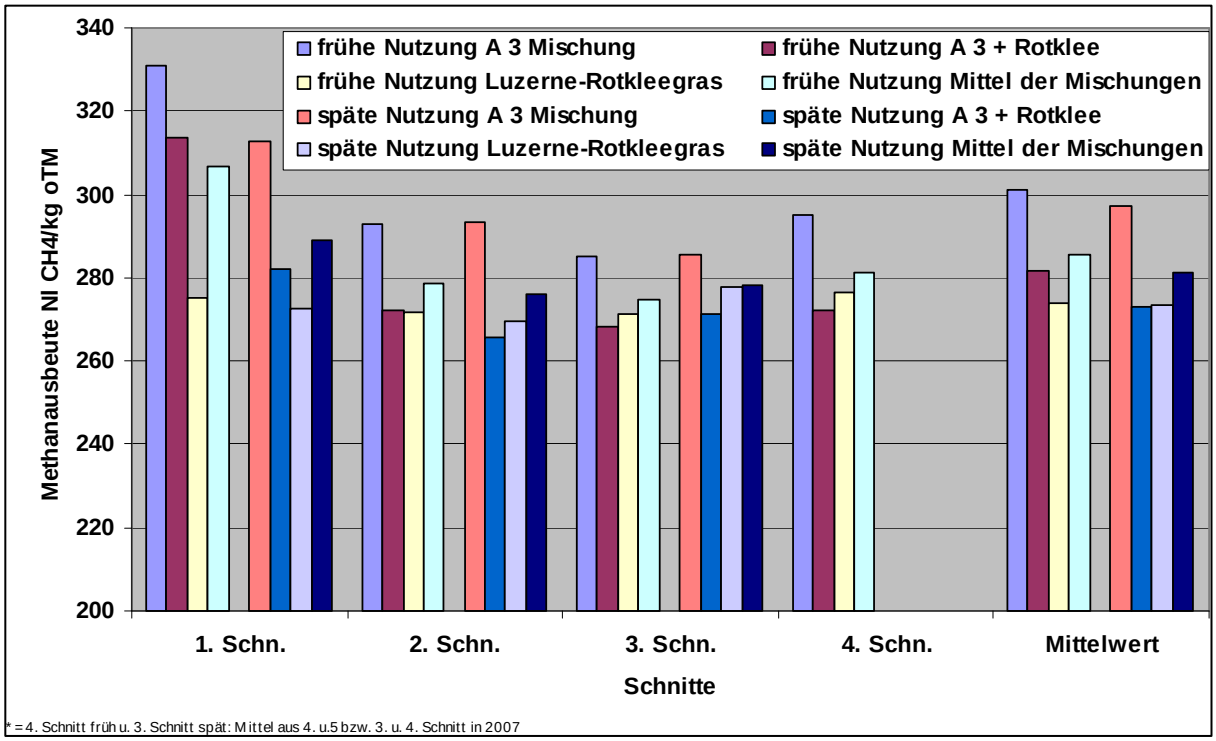


Abbildung 3: Methanausbeute (Nl CH_4/kg oTM) ausgewählter Ackerfuttermischungen in Brandenburg am Standort Berge, Mittel der Jahre 2006/2007

Die Unterschiede der Mischungen im TM-Ertrag und Methanertrag sind nicht sehr ausgeprägt, weil sich die unterschiedlichen Methanausbeuten weniger auf den Methanertrag auswirken als der TM-Ertrag. So liegen das Luzerne-Rotkleegras und die Weidelgrasmischung plus Rotklee trotz geringerer Methanausbeuten im Methanertrag deutlich vor der Weidelgrasmischung A 3 (Abbildung 4).

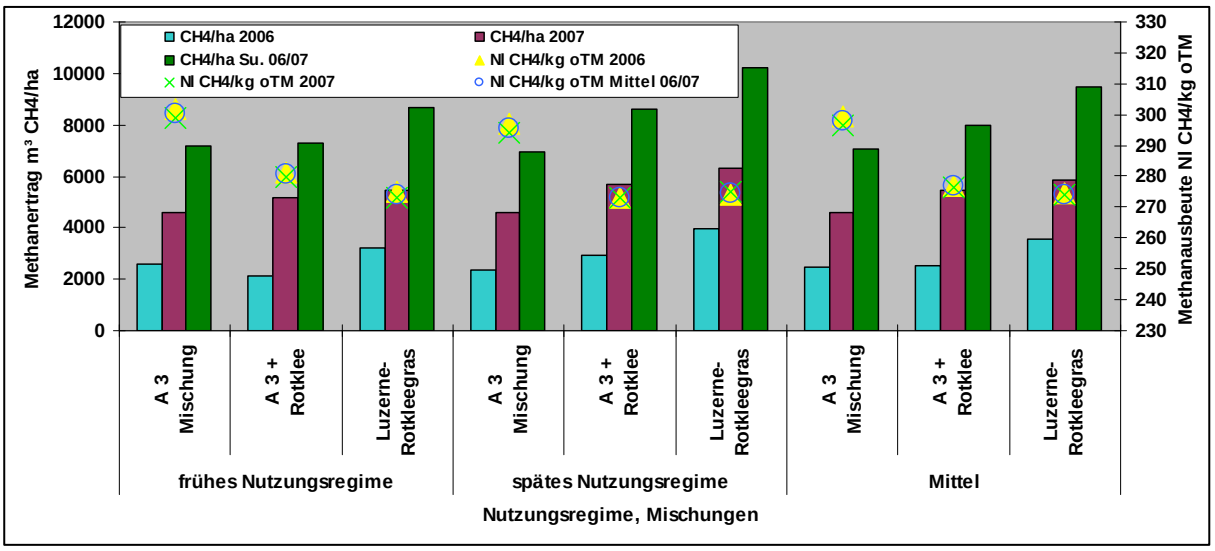


Abbildung 4: Methanertrag (m³ CH_4/ha) der Jahre 2006 plus 2007 und die durchschnittliche Methanausbeute (Nl CH_4/kg oTM) unterschiedlicher Ackerfuttermischungen in Brandenburg, Standort Berge

Schlussfolgerungen für den Standort Berge

Nach den Ergebnissen aus den Hauptnutzungsjahren 2006 und 2007 erreichte Luzernegras bei erfolgreicher Etablierung sowohl bei geringem als auch bei hohem Niederschlagsangebot während der Vegetationszeit ähnlich hohe und zum Teil deutlich höhere Trockenmasseerträge als der Silomais. In der Bewertung der Inhaltsstoffe erreicht Luzernegras zwar wesentlich höhere Rohproteingehalte, aber nicht die Energiekonzentration und Biogasausbeuten wie Silomais. Damit ist das Luzernegras dennoch den weiteren geprüften mehrschnittigen Futterbeständen, vor allem den Gräsermischungen (einschließlich der A 3-Mischung) deutlich in den Trockenmasse- und Methanerträgen überlegen.

Aus dem Vergleich von unterschiedlichen Nutzungshäufigkeiten des mehrschnittigen Ackerfutters geht hervor, dass besonders die Leguminosen-Gras-Gemenge mit höheren Trockenmasseerträgen auf längere Aufwuchszeiten bei geringerer Nutzungsfrequenz reagierten. Die beiden Hauptnutzungsjahre 2006 und 2007 zeigten aber auch, dass die Nutzungshäufigkeit der Bestände an den Witterungsverlauf angepasst werden muss. Aufgrund des Vegetationsvorsprungs im warmen und extrem trockenen April 2007 war ein sehr zeitiger erster Schnitt erforderlich. Bei anhaltend hohen Niederschlägen wurde so im Versuch eine zusätzliche Nutzung im Oktober erforderlich.

Die Methanausbeuten der geprüften mehrschnittigen Ackerfutterpflanzen in den Hauptnutzungsjahren 2006 und 2007 lagen am Standort Berge im Bereich von 266 bis 331 Nl/kg oTM. Sie nahmen in der Reihenfolge Ackergras – Rotkleegras – Luzernegras ab. Bei beiden Nutzungsregimen war eine Abnahme der Methanausbeute vom 1. zu den Folgeschnitten zu beobachten. Im Bereich der kalkulierten Methanausbeuten bestimmte der Trockenmasseertrag die Relationen zwischen den Methanerträgen der verschiedenen Futterarten.

Standort Paulinenaue

Am Standort Paulinenaue konnten bereits im Ansaatjahr von allen Prüfgliedern 3 Aufwüchse geerntet werden.

Bei einer Ertragsanteilschätzung Mitte Juni im Ansaatjahr 2005 hatten die Prüfglieder der Mischungen mit den schnell wachsenden und damit konkurrenzstarken Arten Welsches Weidelgras und Bastardweidelgras (PG 3 und 5) mit 10 – 30 % einen geringeren Rotkleeanteil als die Parzellen der Mischung mit Wiesenschweidel und Wiesenlieschgras (PG 4), in der Rotklee einen Anteil von 40 – 60 % hatte.

Mitte Juni 2005 betrug in Mischung 6 der Luzerneertragsanteil noch 5 bis 30%, spiegelte aber bereits die teilweise unterschiedlichen Wasserverhältnisse auf den Parzellen der Prüfgliedwiederholungen wider, d. h. trockenere Parzellen hatten einen höheren Luzerneanteil als feuchte Parzellen. In der Folge verursachten starke Niederschläge am 21. und 29.7. 2005 mit mehrtägiger Staunässe auf der gesamten Versuchsfläche den Totalausfall der Luzerne bereits im Ansaatjahr. Der Bestand dieser Mischung wurde danach fast ausschließlich von Wiesenschweidel und Rotklee gebildet, da sich Wiesenlieschgras nur sehr gering an den Parzellenrändern etablieren konnte.

Alle Prüfglieder gingen als kräftiger, gut entwickelter Bestand in den Winter 2005/06.

Für das Jahr 2006 kann festgestellt werden, dass unter doch sehr extremen Wachstumsbedingungen (starke Auswinterungsschäden, Trockenheit im Juni/Juli sowie feuchter

August und bis in den Oktober hinein hohe Temperaturen) die höchsten Erträge durch die Mischungen 5 (Bastardweidelgras + Rotklee) und 3 (Weidelgrasmischung A 3 + Rotklee) realisiert wurden.

Am Ende der Vegetation 2006 war der Pflanzenbestand des gesamten Versuches immer noch sehr locker. Als Folge des trockenen Sommers ging auch der Ertragsanteil des Klees zurück, der zu Vegetationsbeginn in einigen Prüfgliedern noch sehr hoch war.

Winterwachstum und Grundwassereinfluss im fast niederschlagsfreien und sehr sonnigen April 2007 ermöglichten bei frühem Erntebeginn hohe Erträge des ersten Aufwuchses. In den Folgemonaten Mai bis Juli fiel mit 499 mm das Dreifache der ortsüblichen Niederschlagsmenge. Diese hohen Regenmengen führten auf dem Niederungsstandort zu zeitweise voller Wassersättigung des Bodens und Tage weisem Überstau einzelner Parzellen. Während diese Parzellen im ersten Aufwuchs Anfang Mai, nach der Apriltrockenheit, die höchsten Erträge aufwiesen, verursachte in den Folgeaufwüchsen das Überangebot an Wasser auf den gleichen Parzellen Ertragsdepressionen.

Der Rotkleeanteil blieb, auch bedingt durch den milden Winter und durch die Nachsaat 2006 in wintergeschädigten Parzellen, im zweiten Hauptnutzungsjahr überwiegend erhalten. Auf einzelnen sehr staunassen Teilflächen ging er allerdings während der extrem feuchten Sommerwitterungsperiode stark zurück und hatte am Vegetationsende in einigen Parzellen nur noch 2% Ertragsanteil. Dadurch traten sehr große Unterschiede im Kleeanteil innerhalb der Wiederholungen der Prüfglieder auf.

Die Erträge der kleehaltigen Mischungen lagen besonders im zweiten und dritten Aufwuchs, während der extrem nassen Witterungsperiode, unter denen der Ackergrasmischungen. Dies deutet darauf hin, dass stauende Nässe im Sommer das Wachstum des Rotklees in den Mischungen stärker beeinträchtigte als das der Gräserarten.

Die Grasmischungen 1 und 2 erreichten damit im sehr feuchten Jahr 2007 höhere Jahreserträge als das Rotkleegras. Teilweise könnte dies allerdings auch auf die Wirkung der 2006 erfolgten Nachsaaten mit Welschem Weidelgras in den stark ausgewinterten Parzellen dieser Mischungen zurückzuführen sein, da der Ertrag der nachgedrillten Teilstücke im 1. Aufwuchs 2007 durchweg höher war als in den nicht nachgedrillten Parzellen.

Die geringsten Erträge 2007 erreichten die Mischungen 4 und 6. Beide sind weidelgrasfreie Rotklee-Gras-Gemenge, deren Grasanteil von Wiesenlieschgras und Festulolium gebildet wird. Wiesenlieschgras konnte sich trotz lückiger, lockerer Bestandesdichte weder nach Auswinterungsschäden 2006 noch im feuchten Jahr 2007 in bedeutenden Anteilen im Bestand etablieren und beeinflusste den Ertrag in beiden Erntejahren damit kaum. Die Unterlegenheit der festuloliumhaltigen Mischungen bestätigt die Ergebnisse von Reinsaatversuchen, in denen Welsches Weidelgras bei guter Überwinterung dem Festulolium im Ertrag überlegen war. Aber auch unter sehr feuchten Bodenverhältnissen scheint Festulolium weniger gut als die Weidelgrasarten zu wachsen, da nicht nur der erste Aufwuchs, sondern auch die Folgeaufwüchse der Mischungen 4 und 6 im Ertrag geringer lagen als die der Rotklee- Gras-Gemenge mit Weidelgräsern. Luzerne in Mischung 6 war bereits im Ansaatjahr durch Staunässe ausgefallen und damit auch 2007 nicht ertragswirksam. Zur Vergleichbarkeit zwischen den Standorten und Bundesländern ist in Abbildung 5 der zweijährige Ertrag der Ansaatmischungen des Standortes Paulinenaue dargestellt.

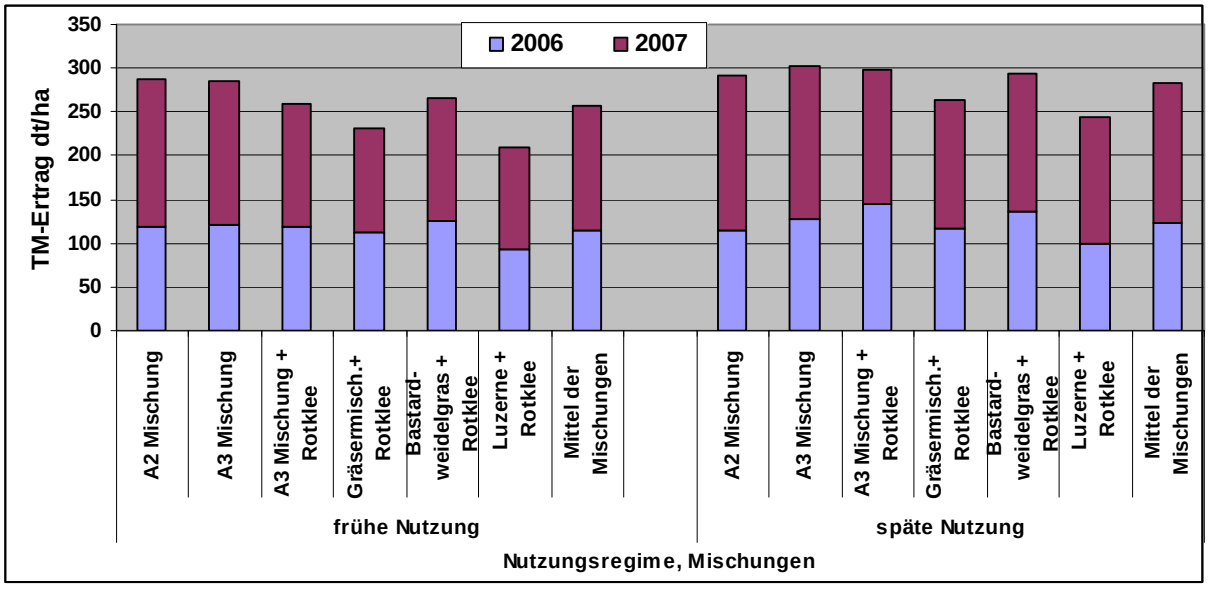


Abbildung 5: Trockenmasseerträge (dt/ha) der Ackerfuttermischungen in den Hauptnutzungsjahren 2006 u. 2007 am Standort Paulinenaue

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass im Mittel der Erntejahre mit Ackergrasmischungen ähnliche Erträge wie mit Rotklee-Grasgemengen erreicht wurden, wenn die Mischungspartner Weidelgräser waren. Die Kleegrasmischung mit Wiesenlieschgras und Festulolium als Graspartner sowie die Mischung mit Luzerne, Rotklee und Festulolium waren auf dem sehr feuchten, grundwasserbeeinflussten Standort den Mischungen mit Weidelgräsern signifikant unterlegen.

Vergleich der Brandenburger Standorte

Obwohl die beiden Versuchsorte geografisch nahe beieinander liegen, unterscheiden sie sich in den Standortbedingungen und dadurch im Ertragsniveau und -verhalten erheblich. In der Summe der beiden Hauptnutzungsjahre konnten die besten Mischungen in Berge TM-Erträge von über 400 dt/ha erreichen. Sie lagen damit weit über denen der besten Varianten in Paulinenaue, wo ca. 300 dt/ha erreicht wurden. Den höchsten Trockenmasseertrag erreichten an den Standorten jeweils andere Varianten. Während auf dem grundwasserfernen Standort Berge das Luzernegras die besten Erträge lieferte, waren auf grundwasserbeeinflusstem Standort in Paulinenaue die weidelgrasbetonten Grasmischungen sowie teilweise die Rotkleevarianten am erfolgreichsten.

In Paulinenaue wurde deutlich, dass sich Luzerne bei ungünstigem Witterungsverlauf wesentlich schlechter oder gar nicht etablieren lässt und besonders unter dem Wechsel von Frost- und Auftauperioden des Bodens mit dem damit verbundenen Auftreten von Staunässe leidet und dann völlig aus den Beständen verschwindet. Außerdem könnten hierzu standortbedingt auch höhere Mineralisierungsraten aus dem Bodenstickstoffvorrat beigetragen haben.

3.2. Thüringen

Das Ansaatjahr 2005 diente auf den thüringischen Standorten ausschließlich der Etablierung, ohne Ertragsermittlung der Schröpfschnitte.

Das Jahr 2006 war gekennzeichnet durch ca. 1,5 K über dem langjährigen Mittel liegende Temperaturen, während die Niederschlagssummen unter dem langjährigen Mittel blieben. Bei ähnlichen Temperaturen im Jahre 2007 gab es deutlich höhere Niederschläge. Diese setzten nach einem sehr trockenen Frühjahr im Wesentlichen erst ab Mitte Mai ein.

Die Unterschiede in den Standortbedingungen zeigten sich in den Ertragsanteilen der einzelnen Arten in den Mischungen.

Rotkleegras

Bei dieser Mischung nahm der Rotklee Anteile zwischen 70 und 85 % ein. Die höchsten Gräseranteile wurden auf den feuchteren Standorten Burkersdorf und Oberweißbach bonitiert, wobei die Einzelanteile der Gräser zwischen den Jahren stabil waren. Auf den Standorten in sommertrockenen Lagen wurden die höchsten Gräseranteile zum 1. Aufwuchs im feuchteren Frühjahr 2006 bonitiert. Die Wüchsigkeit der Mischung führte zu einem dichten Bestand, der eine Verunkrautung verhinderte.

Luzernegras

Auf den sommertrockenen Standorten nahm die Luzerne Anteile von ca. 80 % und teilweise mehr ein. Der Graspartner konnte sich durch das geringe Wasserangebot nicht optimal entwickeln. Auf dem leichten, zur Versauerung neigenden Standort Oberweißbach lagen die Leguminosenanteile unter 10 %. Der Graspartner füllte die von der Luzerne hinterlassenen Lücken vor allem im Jahre 2006 nicht vollständig, so dass eine gewisse Verunkrautung hauptsächlich mit Löwenzahn auftrat. Mit steigender Wasserverfügbarkeit erhöhten sich unabhängig vom Standort die Anteile Knaulgras.

Luzerne-/Rotkleegras

Die Leguminosen nahmen außer auf dem Mittelgebirgsstandort stabil Anteile von 80 % und darüber ein. Die Einzelanteile waren abhängig von der Witterung. Während nach dem feuchten Frühjahr 2006 der Rotklee dominierte, nahm nach einem trockenen Sommer die Luzerne diese Stellung ein. Dies zeigte sich auch, wenngleich extrem abgeschwächt in Oberweißbach. Dort erreichte der Rotklee Anteile um 60 %. Die Anteile der Gräser zueinander veränderten sich zwischen den Jahren nicht spürbar. Es dominierte weitestgehend der konkurrenzstärkere Wiesenschwingel.

Weidelgrasmischung A 3

Die Mischung aus kurzlebigen und ausdauernden Weidelgräsern reagierte sehr intensiv auf die Witterungsbedingungen. Außer am Standort Burkersdorf führten Kahlfröste im Jahre 2006 zu stärkeren Auswinterungsschäden beim Welschen Weidelgras und auch beim Bastardweidelgras. Die große Regenerationskraft von Letzterem verdeutlichen die Anteile des Jahres 2007 an diesen Standorten.

Gräsermischung

Auch die aus ausdauernden Gräsern bestehende Mischung reagierte stärker auf die Witterung als es bei den Leguminosengräsern feststellbar war. Am Standort Burkersdorf und auch in Oberweißbach gab es zwischen den Jahren nur marginale Verschiebungen. Auf dem Mit-

telgebirgsstandort dominierte dabei das Deutsche Weidelgras. In Dornburg führte das trockene Frühjahr 2007 zu einer Ausdehnung des Anteiles Wiesenschwingel zu Lasten des wasserbedürftigeren Deutschen Weidelgrases. Eine Schädigung des Deutschen Weidelgrases durch Kahlfröste 2006 war am Standort Haufeld zu verzeichnen. Mit dem günstigeren Frühjahr 2007 an diesem Standort erhöhte sich dieser Anteil zu Lasten des Wiesenschwingels wieder. Eine Ertragsanteile annehmende Verunkrautung gab es nur im Jahre 2007 an den Standorten Burkersdorf und Haufeld, verursacht durch die ausgeprägte Frühjahrstrockenheit.

Die Ausprägung der Ertragsanteile der in den Mischungen ausgesäten Arten war neben den Saatmengenanteilen stark abhängig von Standort und Jahreswitterung. Die Wüchsigkeit der Mischungen ließ keine stärkere Verunkrautung auftreten.

Jahreserträge

Die Ertragsdaten der thüringischen Standorte aus den Jahren 2006 und 2007 sind in den Abbildungen 6 bis 9 dargestellt. Die Heterogenität der Standorte lässt keine zusammenfassende Darstellung über alle Versuche in Thüringen zu. Die Ertragsfähigkeit der Standorte, unabhängig von Mischung, Erntetermin und Jahr, lässt sich in Abbildung 10 erkennen. Der Standort Haufeld wies in den beiden Versuchsjahren im Durchschnitt der Mischungen das höchste Ertragspotential auf, gefolgt von Burkersdorf und Dornburg.

Die mittlere Ertragsfähigkeit erlaubt jedoch keine Aussagen zu standortangepassten Mischungen. Dafür ist eine standortbezogene Betrachtung notwendig.

Standort Dornburg

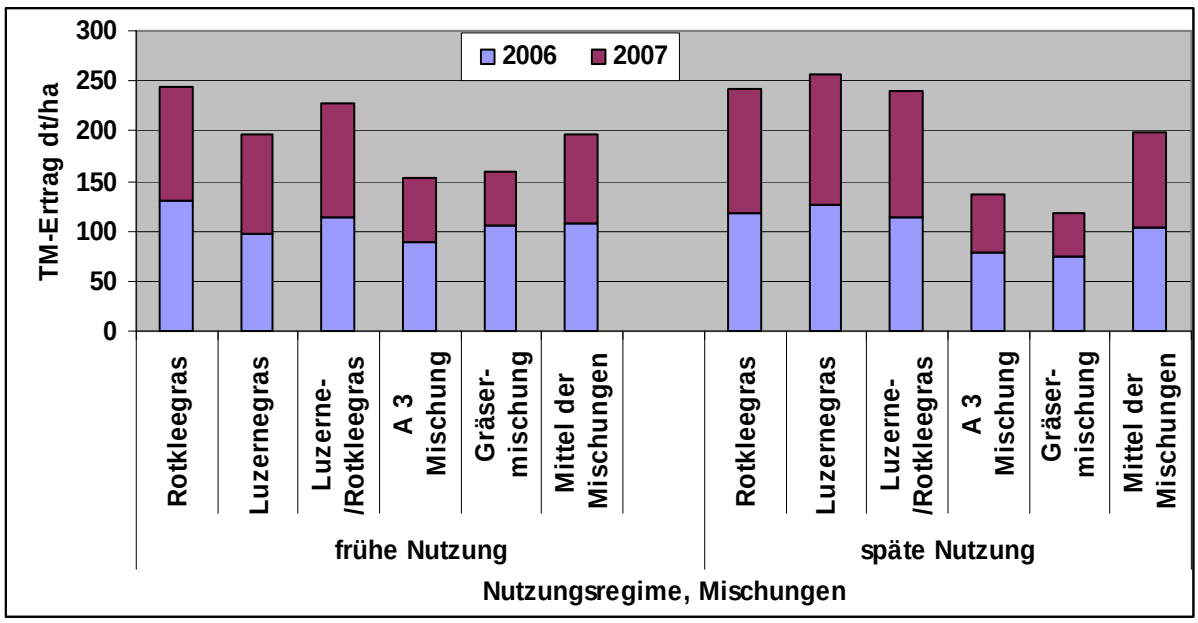


Abbildung 6: Trockenmasseerträge (dt/ha) der Ackerfuttermischungen in den Hauptnutzungsjahren 2006 u. 2007 am Standort Dornburg

Aus Abbildung 6 sind die Trockenmasseerträge am Standort Dornburg für die Versuchsjahre 2006 und 2007 erkennbar. Die Leguminosengräser hatten in beiden Jahren Vorteile im Vergleich zu den Gräsermischungen, besonders deutlich ausgeprägt 2007. Der Einfluss des

Nutzungsregimes war sehr indifferent. Tendenziell führte die 3-Schnitt-Nutzung zu den höchsten Erträgen bei den Leguminosengräsern, während bei den reinen Gräsern die 4-Schnitt-Nutzung günstiger abschnitt. Im Mittel aller Varianten lagen die Jahreserträge der Leguminosen-Gras-Gemenge um 40 bis 50 dt/ha über denen der Gräsermischungen. Die Unterschiede zwischen den drei Leguminosengräsern waren eher unwesentlich und hingen stark von der Jahreswitterung ab.

Standort Burkersdorf

Die Abbildung 7 zeigt, dass die Ertragsleistungen des Jahres 2007 über denen von 2006 lagen. Trotz des trockenen Frühjahrs 2007 lag der 1. Schnitt auf einem guten Ertragsniveau, sowohl bei früher, als auch bei später Schnittnutzung. 2006 zeigte sich auf diesem Standort, dass die verminderte Schnittnutzung bei den Leguminosengemengen Vorteile besitzt, während die Erträge der Gräsermischungen keine wesentlichen Unterschiede in Abhängigkeit vom Erntetermin aufwiesen. Im Jahr 2007 besaß lediglich das Rotkleegras Vorteile bei der 4-Schnitt-Nutzung, während die übrigen Mischungen nur geringe Ertragsunterschiede aufwiesen. Auf dem den günstigen Übergangslagen zuzuordnenden Standort waren die Ertragsunterschiede zwischen den Gräsermischungen und den Leguminosengräsern sehr gering. Lediglich die Rotkleegrasvariante fiel ertraglich etwas ab.

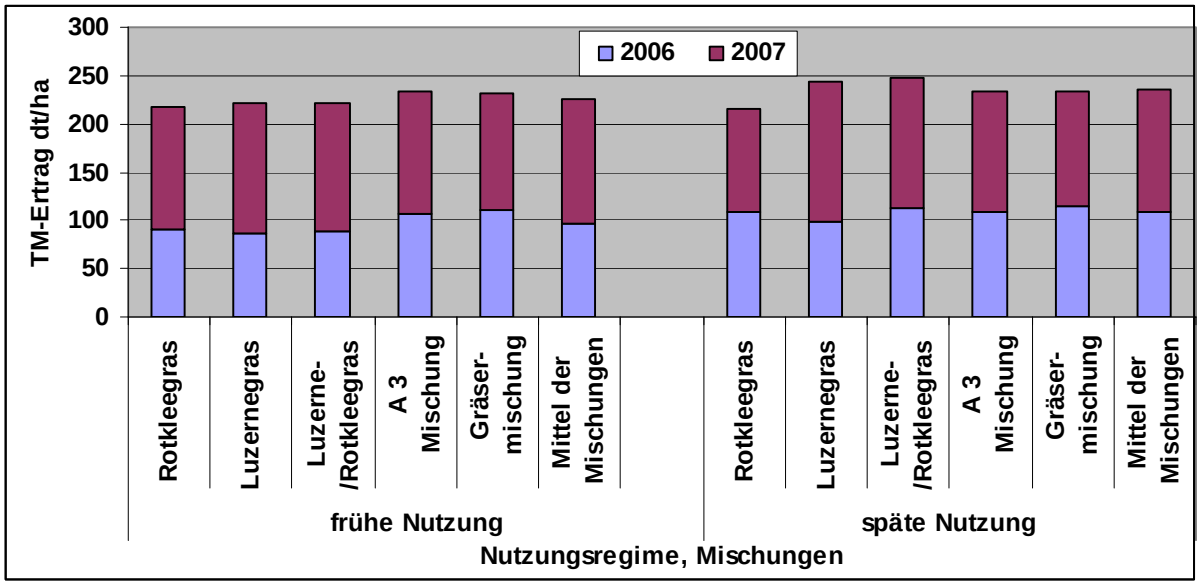


Abbildung 7: Trockenmasseerträge (dt/ha) der Ackerfuttermischungen in den Hauptnutzungsjahren 2006 u. 2007 am Standort Burkersdorf

Standort Haufeld

Die Ergebnisse des ertragsstärksten Standortes zeigt die Abbildung 8. Bei den Leguminosen-Gras-Gemengen führte die 3-Schnitt-Nutzung zu höheren Erträgen, unabhängig vom Jahr. Bei den Gräsermischungen hatte die 4-Schnitt-Nutzung Vorteile, ebenfalls ohne Jahreseinfluss. Die höchsten Erträge ließen sich mit dem Rotkleegras und dem Rotklee-Luzerne-Gras erzielen. Das Luzernegras lag um etwa 10 dt/ha darunter. Die Gräsermischungen brachten etwa 30 bis 40 dt/ha weniger. Dabei gab es keine Unterschiede zwischen den beiden Prüfmischungen.

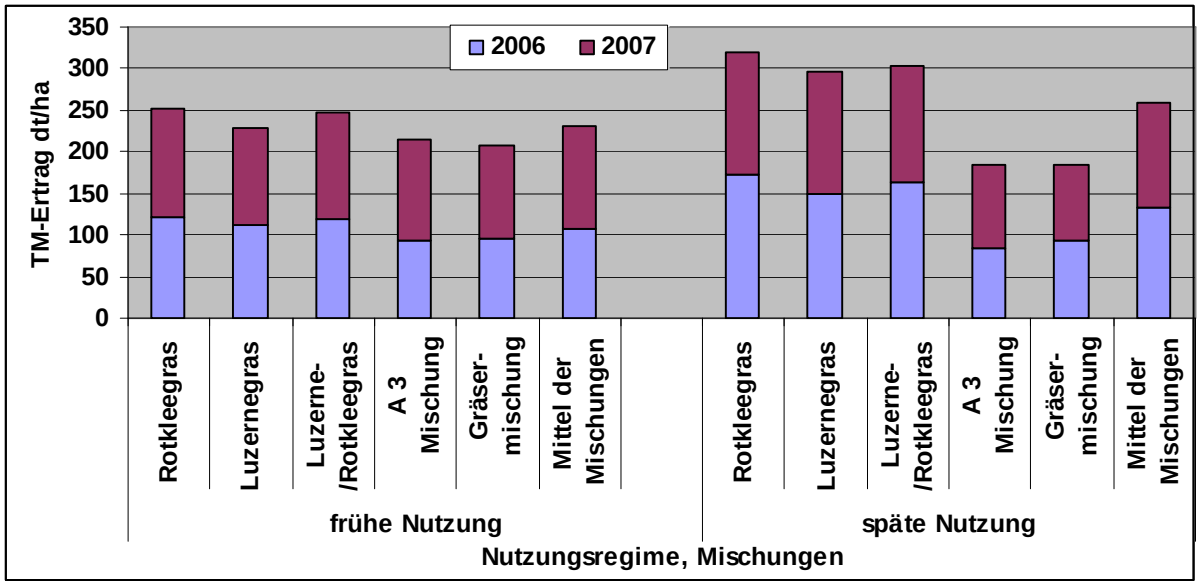


Abbildung 8: Trockenmasseerträge (dt/ha) der Ackerfuttermischungen in den Hauptnutzungsjahren 2006 u. 2007 am Standort Haufeld

Standort Oberweißbach

Auf dem Mittelgebirgsstandort brachte das nasse Jahr 2007 die besten Erträge (Abbildung 9). Die Erträge der 3-Schnitt-Nutzung lagen ca. 10 dt TM/ha über denen der frühen und damit häufigeren Nutzung. Im Mittel beider Jahre war das Rotkleegras am ertragsstärksten. Die hohen Erträge der Mischung 2 im Jahre 2007 resultieren ausschließlich aus dem wüchsigen Knaulgras. Die Gräsermischungen konnten auch auf diesem Standort im Mittel beider Jahre nicht das Niveau der Leguminosengräser erreichen, wobei hier die größten Grasanteile zu verzeichnen waren.

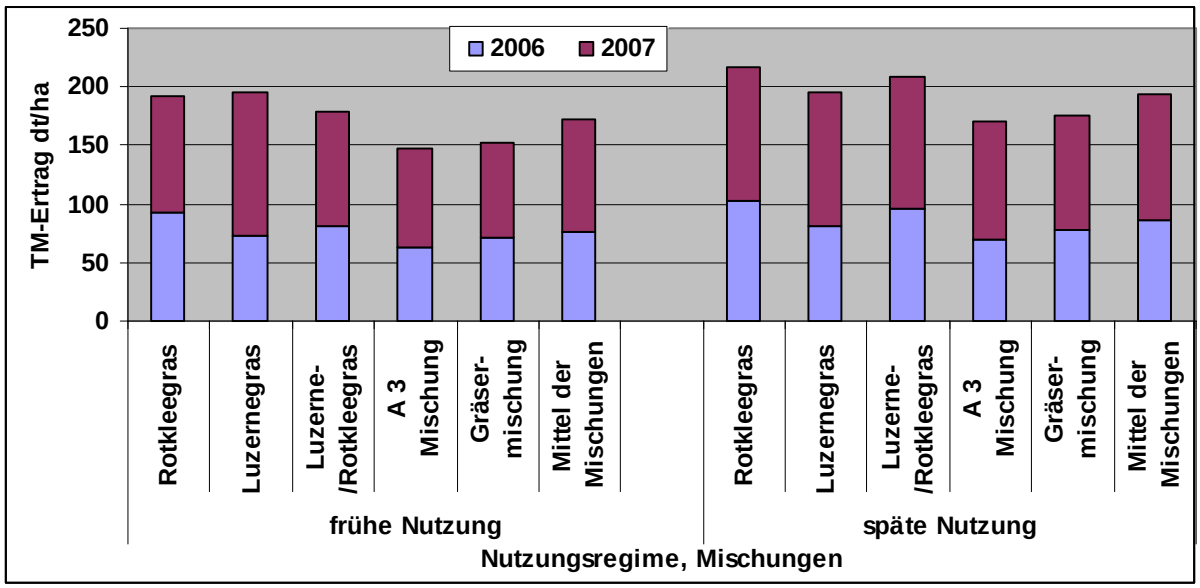


Abbildung 9: Trockenmasseerträge (dt/ha) der Ackerfuttermischungen in den Hauptnutzungsjahren 2006 u. 2007 am Standort Oberweißbach

Zusammenfassung Thüringen

Generelle Aussagen zur Leistungsfähigkeit der einzelnen Mischungen unter den Bedingungen der für Thüringen bedeutsamen Anbaugebiete lassen sich aus den Ergebnissen nicht sicher ableiten. Dennoch zeichnen sich nach zwei Hauptnutzungsjahren deutliche Standort- und Jahreseinflüsse auf die Ertragsleistung und Bestandeszusammensetzung der einzelnen Mischungen ab (Abbildung 10). Auf den sommertrockenen Standorten Haufeld und Dornburg zeichnet sich eine deutliche Überlegenheit der Leguminosen-Gras-Gemenge im Vergleich zu Gräsermischungen ab. In den günstigen Übergangslagen (Burkersdorf) waren die Unterschiede zwischen den Mischungen deutlich geringer und die Gräser hatten, wahrscheinlich begünstigt durch die hohen Niederschläge 2007, gute Entwicklungsmöglichkeiten. Die Mittelgebirgslagen (Oberweißbach) sind für den Luzerneanbau eher nicht geeignet. Zur Erarbeitung von Praxisempfehlungen sind weitere Untersuchungen notwendig. Dabei sollten in den sommertrockenen Lagen verstärkt Leguminosen-Gras-Gemenge in den Prüfungen stehen. Auf den Mittelgebirgsstandorten wäre eine Testung von Grünlandmischungen von Vorteil.

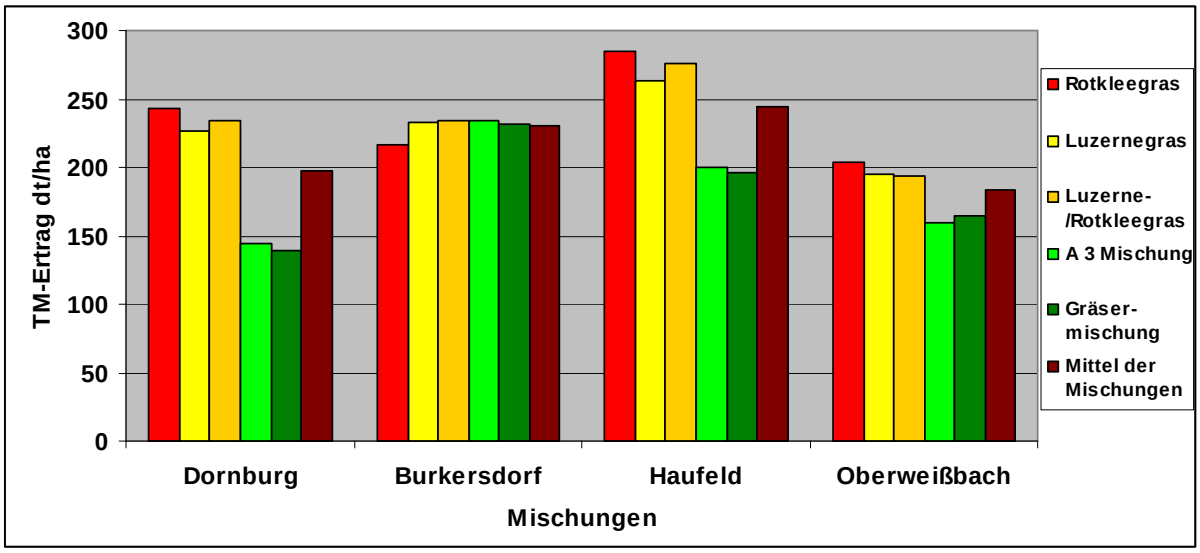


Abbildung 10: Zusammenfassung der TM-Erträge der Ackerfuttermischungen von den 4 thüringischen Standorten für die Jahre 2006 und 2007

Methanausbeuten und Methanerträge an ausgewählten Mischungen

Am Standort Dornburg wurden bei den Mischungen A 3, Luzerne/Knaulgras und Luzerne/Rotkleegras Methanausbeute und –ertrag (vgl. Standort Berge in Brandenburg) berechnet (Abbildung 11 u. 12).

Die in Abbildung 11 dargestellten Methanausbeuten der drei Mischungsvarianten zeigen im Mittel der beiden Hauptnutzungsjahre, dass die Gasausbeute der Weidelgrasmischung A 3 sowohl bei früher, als auch bei späterer Schnittnutzung mit Abstand am höchsten ist. Insbesondere zum 1. Schnitt konnte diese Mischung unabhängig vom Nutzungsregime mit ca. 317 bis über 328 Nl CH_4/kg oTM sehr gute Ergebnisse erzielen. Die geringsten Methanausbeuten lieferte die Luzerne/Knaulgrasmischung. Ein mittleres Ergebnis verzeichnete die Luzerne/Rotkleegrasmischung. Beim Vergleich der Einzelschnitte wird erkennbar, dass der 1.

Schnitt die höchsten Gasausbeuten bei der weidelgrasbetonten Mischung liefert. Die leguminosendominierten Mischungen blieben unabhängig vom Schnitt mehr oder weniger auf einem Niveau.

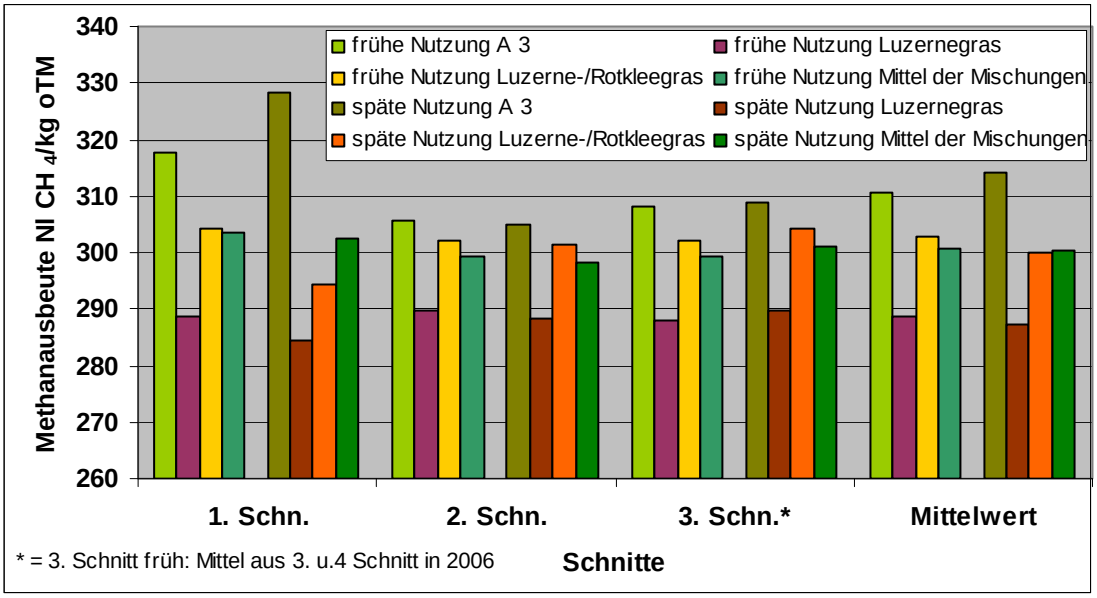


Abbildung 11: Methanausbeute (Nl CH_4/kg oTM) ausgewählter Ackergrasmischungen in Thüringen am Standort Dornburg, Mittel der Jahre 2006/2007

Beim Vergleich der Methanerträge (Abbildung 12) ist festzustellen, dass am Standort Dornburg die Varianten Luzerne/Rotklee und Luzerne/Knaulgras trotz deutlich geringerer Methanausbeuten auch im Methanertrag wesentlich besser als die weidelgrasbetonte A 3 Mischung abschneiden.

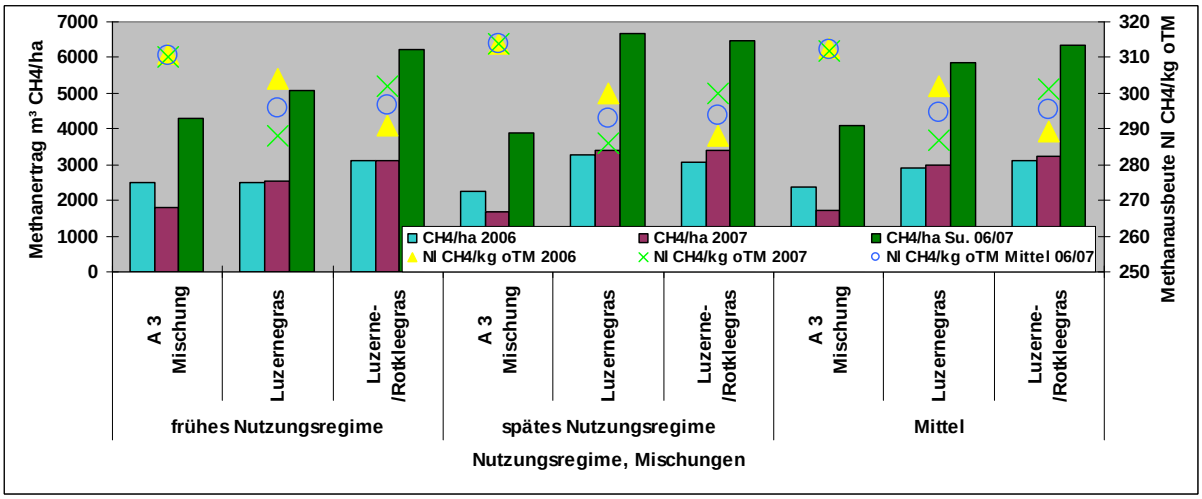


Abbildung 12: Methanertrag (m³ CH_4/ha) der Jahre 2006 plus 2007 und die durchschnittliche Methanausbeute (Nl CH_4/kg oTM) unterschiedlicher Ackerfuttermischungen in Thüringen, Standort Dornburg

3.3. Niedersachsen

Die Mischungen auf den Versuchsstandorten in Niedersachsen wurden bereits im Ansaatjahr 2005 mehrschnittig genutzt, sodass im Mittel der 4 Prüfstandorte TM-Erträge von durchschnittlich 140 (Nutzungsregime früh) bzw. 148 dt TM/ha (Nutzungsregime spät) erzielt wurden.

Im Prüfjahr 2006 kam es, wie auch auf Standorten in Brandenburg und Thüringen zu Auswinterungsschäden. Insbesondere die Mischung A 2 mit Einjährigem Weidelgras zeigte stärkere Lücken, die im Verlaufe des Jahres durch andere Mischungspartner teilweise wieder geschlossen wurden. Aber auch das Welsche Weidelgras und Bastardweidelgras wurden beeinträchtigt. Während der extremen Trockenphase im Juli wurden auf allen Standorten starke Schäden offensichtlich. Auffallend war, dass der Rotklee zumindest optisch relativ gut den Trockenheitsstress überstand. Dank des sehr milden Herbstes und der im August ausgiebig gefallenen Niederschläge regenerierten sich viele Parzellen wieder recht gut. Es wurde erkennbar, dass vor allem am Ende des Jahres 2006 die Mischung A 1 und die tetraploide A 2 Mischung Probleme mit der Narbendichte bzw. Lückigkeit aufwiesen. Da insbesondere die Mischungen mit den kurzlebigen Weidelgräsern lediglich für die über- bis zweijährige Nutzung vorgesehen sind, wurden die Ansaaten am Ende des Jahres komplett neu auf allen niedersächsischen Standorten angelegt.

Im Jahr 2007 wurden die Versuche der Anlage 2005 und die im Herbst 2006 neu angelegten Versuche parallel beerntet, um auf diese Weise Rückschlüsse über das Ertragsverhalten der einzelnen Mischungen bei unterschiedlicher Nutzungsdauer zu erhalten.

Jahreserträge

Die Erträge der vier niedersächsischen Standorte sind von den beiden Hauptnutzungsjahren in den folgenden Abbildungen 13 bis 16 zusammenfassend dargestellt. Um die Vergleichbarkeit zu den Bundesländern Thüringen und Brandenburg zu gewährleisten wurde in dieser zusammenfassenden Darstellung die bereits im Ansaatjahr 2005 erzielten Erträge nicht berücksichtigt.

<u>Standort Wehnen</u>

Die Erträge auf dem humosen Sandstandort lagen bei durchschnittlich 276 dt/ha nach zwei Hauptnutzungsjahren. Insgesamt konnten sich die Mischungen bei verminderter Schnittnutzung ertraglich besser entwickeln. Dies trifft insbesondere für die Rotkleemischungen zu. Die höchsten Erträge erzielten auf diesem Standort das Bastardweidelgras und die A 1 Mischung mit diploiden bzw. in der Mischung von diploiden und tetraploiden Sorten. Auf diesem durch Trockenheit weniger beeinflussten Standort lagen die Rotkleemischungen unter dem Ertragsdurchschnitt. Gleichwohl konnten sowohl die A 3 plus Rotkleemischung als auch die Bastardweidelgras plus Rotkleemischung in zwei Hauptnutzungsjahren bei verringerter Schnittfrequenz über 250 dt TM/ha erzielen.

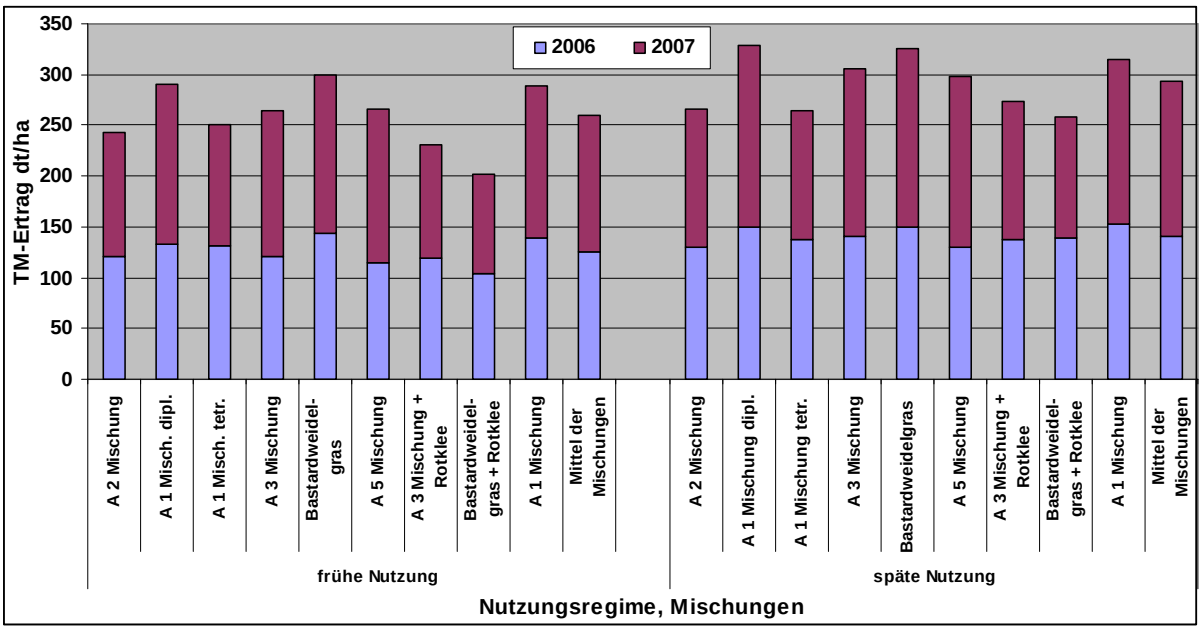


Abbildung 13: Trockenmasseerträge (dt/ha) der Ackerfuttermischungen in den Hauptnutzungsjahren 2006 u. 2007 am Standort Wehnen

Standort Sophienhof

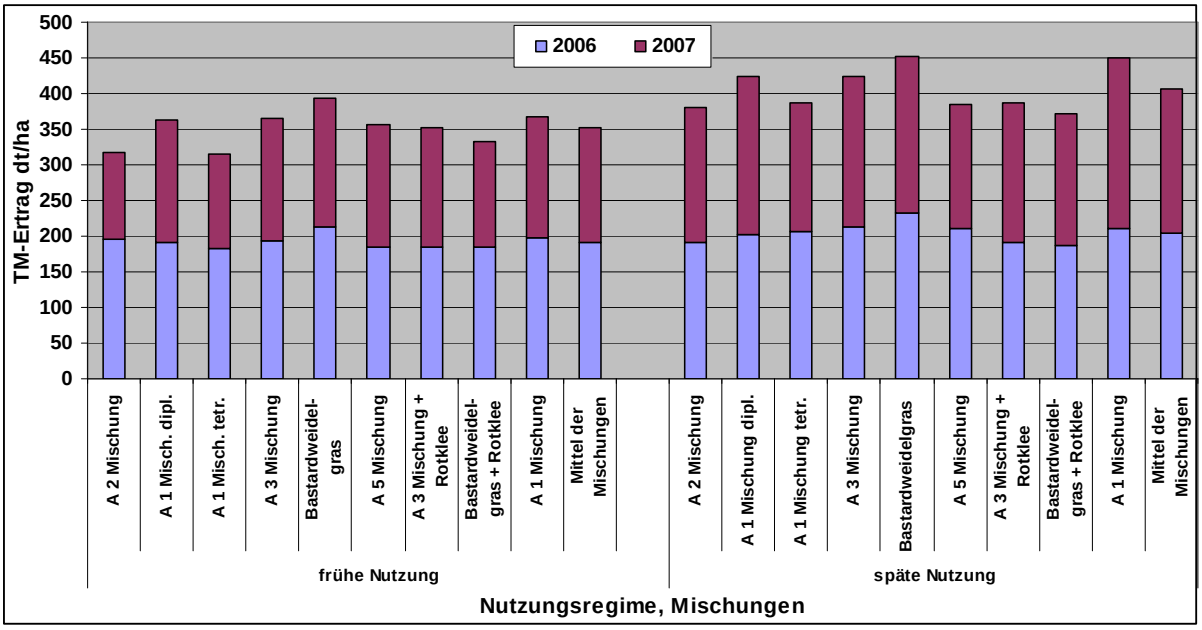


Abbildung 14: Trockenmasseerträge (dt/ha) der Ackerfuttermischungen in den Hauptnutzungsjahren 2006 u. 2007 am Standort Sophienhof

Auf dem Seemarschstandort wurden Spitzenerträge in der Summe beider Hauptnutzungsjahre von über 420 dt TM/ha mit Bastardweidelgras erzielt. Aber auch im Mittel der Mischungen und Nutzungsregime wurden 380 dt TM/ha erreicht. Bedingt durch die wüchsigen Witterungsverhältnisse des Jahres 2007 wurden bei intensiver Schnittnutzung auf dem Sophienhof 6 Erntetermine durchgeführt, wobei der 3. und 4. Schnitt im Sommer mit ca. 10 dt TM/ha ertraglich nicht überzeugen konnte. Diese intensive Nutzung ging möglicherweise zu Lasten des Gesamtertrages. Analog zum Standort Wehnen wirkten sich bei der A 2 und der tetraploiden A 1 Mischung die etwas stär-

keren Auswinterungsschäden negativ auf das Ertragsvermögen aus, während die diploide und die kombinierte (dipl. und tetrapl.) A 1 Mischung nach dem Bastardweidelgras die ertragsstärksten Mischungen waren. Deutliche Ertragsvorteile besaßen die Mischungen bei reduzierter Schnittnutzung, wobei insbesondere der 1. Schnitt bereits einen Großteil des Gesamtertrages lieferte. Insbesondere im Jahr 2007 konnte der späte 1. Schnitt noch sehr gute Erträge erzielen und die Folgeaufwüchse profitierten vom wieder einsetzenden Niederschlag.

Standort Bramstedt

Auf dem sandigen Lehmstandort erreichten die Mischungen in der Summe beider Hauptnutzungsjahre ein Ertragsniveau von ca. 300 dt TM/ha (Abbildung 15). Während 2006 die Mischungen bei späterer Schnittnutzung ertragliche Vorteile aufwiesen, kehrten sich die Verhältnisse 2007 um, sodass in der Summe beider Jahre nur ein geringer Ertragsvorteil bei der geringeren Schnittnutzung zu verzeichnen war. 2006 profitierte das spätere Nutzungsregime durch den sehr hohen TM-Ertrag beim 1. Schnitt. Im Jahr 2007 wurde der 1. Schnitt bei später Nutzung durch die Frühjahrstrockenheit beeinträchtigt, sodass auch die Folgeaufwüchse den gegenüber 2006 geringeren Ertrag nicht kompensieren konnten. Im Mittel beider Jahre erreichte das Bastardweidelgras die besten Erträge. Sehr gute Ertragsleistungen lieferten aber auch die beiden Rotkleemischungen, die bei deutlich geringerer Stickstoffdüngung über dem mittleren Ertragsniveau der Mischungen lagen.

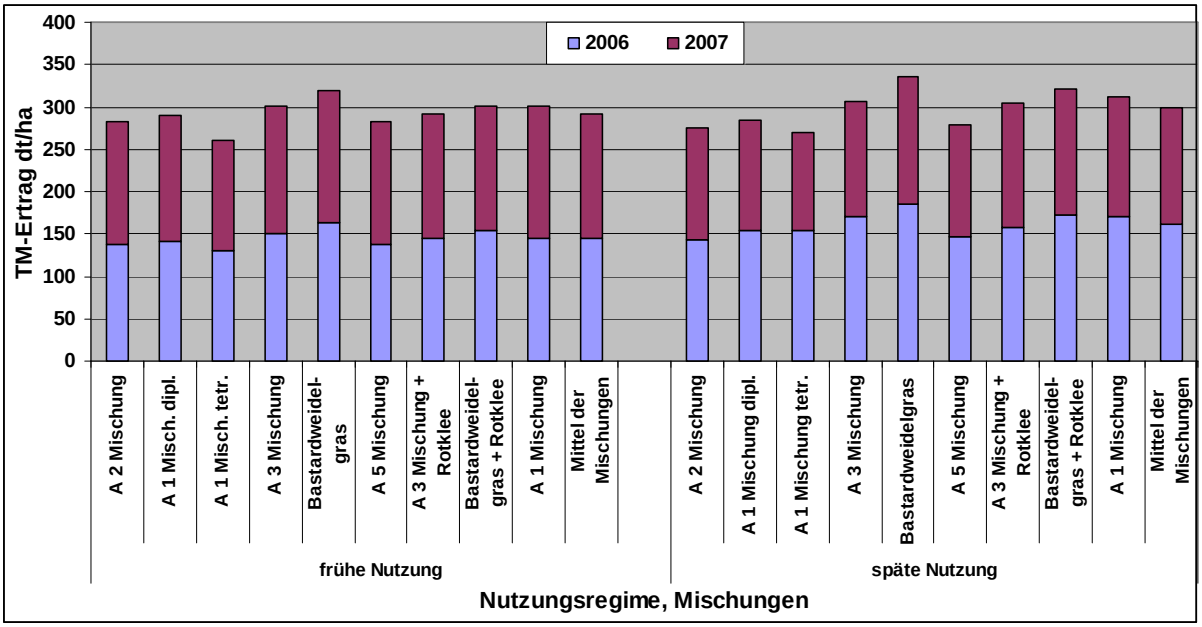


Abbildung 15: Trockenmasseerträge (dt/ha) der Ackerfuttermischungen in den Hauptnutzungsjahren 2006 u. 2007 am Standort Bramstedt

Standort Vreschen-Bokel

Die Summe der zweijährigen Erträge lagen auf dem Moorstandort mit durchschnittlich 283 dt TM/ha auf einem leicht unterdurchschnittlichen Niveau im Vergleich zu den drei anderen Standorten (Abbildung 16).

Die Ertragsunterschiede zwischen den Mischungen waren insgesamt weniger stark ausgeprägt. Aber auch hier erreichte das Bastardweidelgras die besten Ergebnisse, wobei diese vornehmlich aus den sehr guten Leistungen des Jahres 2006 resultieren. Auch auf diesem durch Trockenstress beeinflussten Standort erreichten die Mischungen Bastardweidelgras

plus Rotklee und A 3 plus Rotklee vor allem bei reduzierter Schnittnutzung überdurchschnittliche Leistungen.

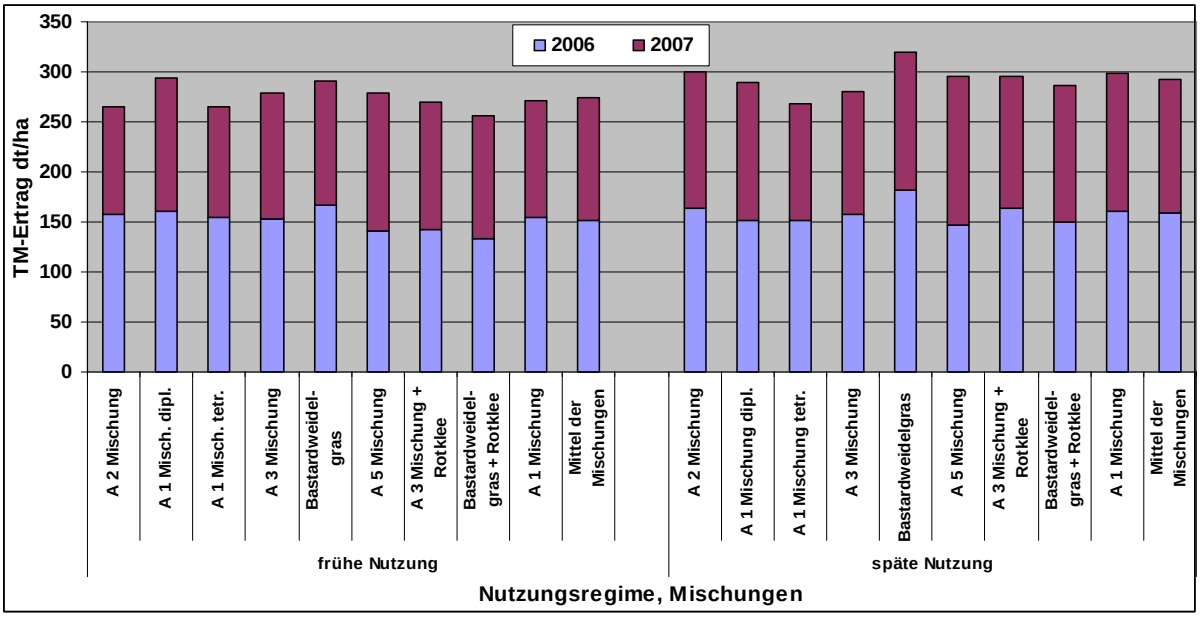


Abbildung 16: Trockenmasseerträge (dt/ha) der Ackerfuttermischungen in den Hauptnutzungsjahren 2006 u. 2007 am Standort Vreschen-Bokel

Zusammenfassung der niedersächsischen Standorte

Die Ergebnisse der vier niedersächsischen Standorte zeigten nicht die in Brandenburg und Thüringen deutlich gewordenen Standortunterschiede mit zum Teil starker Differenzierung der Mischungsleistungen. Daher ist für Niedersachsen eine Mittelwertbildung über die Standorte vorgenommen worden.

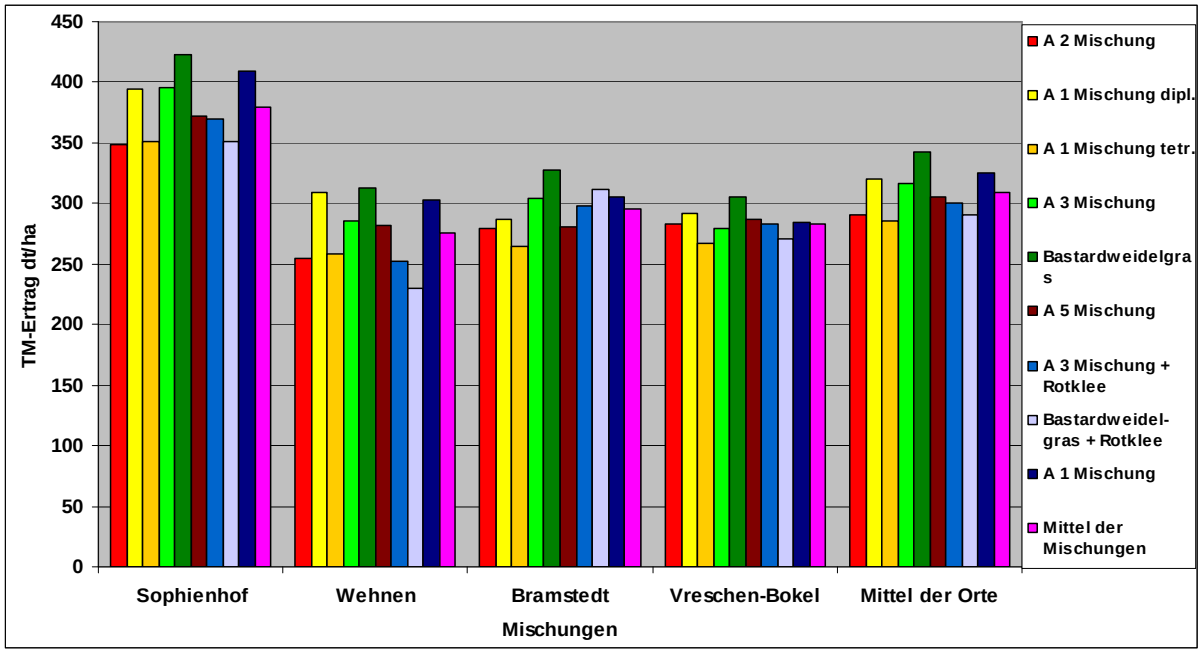


Abbildung 17: Zusammenfassung der TM-Erträge der Ackerfuttermischungen von den 4 niedersächsischen Standorten für die Jahre 2006 und 2007

Im Mittel der vier niedersächsischen Standorte wurden in der Summe beider Hauptnutzungsjahre und im Durchschnitt der Mischungen 294 (Nutzungsregime I) bzw. 323 dt (Nutzungsregime II) Trockenmasse je Hektar erzielt (Abbildung 17 u. 18).

Die mit Abstand höchsten Erträge von durchschnittlich 351 (Nutzungsregime I) bzw. 407 dt/ha TM (Nutzungsregime II) wurden auf dem Marschstandort Sophienhof erreicht. Auf den Mineralstandorten Bramstedt und Wehnen wurden durchschnittliche Erträge von gut 285 dt TM/ha erreicht, und auch auf dem Moorstandort Vreschen-Bokel lagen die Erträge mit 283 dt/ha auf vergleichbarem Niveau. Ertragliche Unterschiede zwischen den Nutzungsregimen waren am Standort Sophienhof am ausgeprägtesten, wobei hier der 1. Schnitt bei später Schnittnutzung auch 2007 wieder mit 100 dt Trockenmasse den Grundstein für die deutlichen Mehrerträge legte.

Das Nutzungsregime mit geringer Schnittfrequenz hatte mit Ausnahme des Standortes Bramstedt deutliche Ertragsvorteile in der Größenordnung von bis zu 55 dt TM/ha. Lediglich in dem Versuch in Bramstedt waren die Ertragsrelationen recht ausgeglichen, weil im Jahr 2007 bedingt durch die ausgeprägte Apriltrockenheit die intensivere Nutzungsvariante Ertragsvorteile besaß.

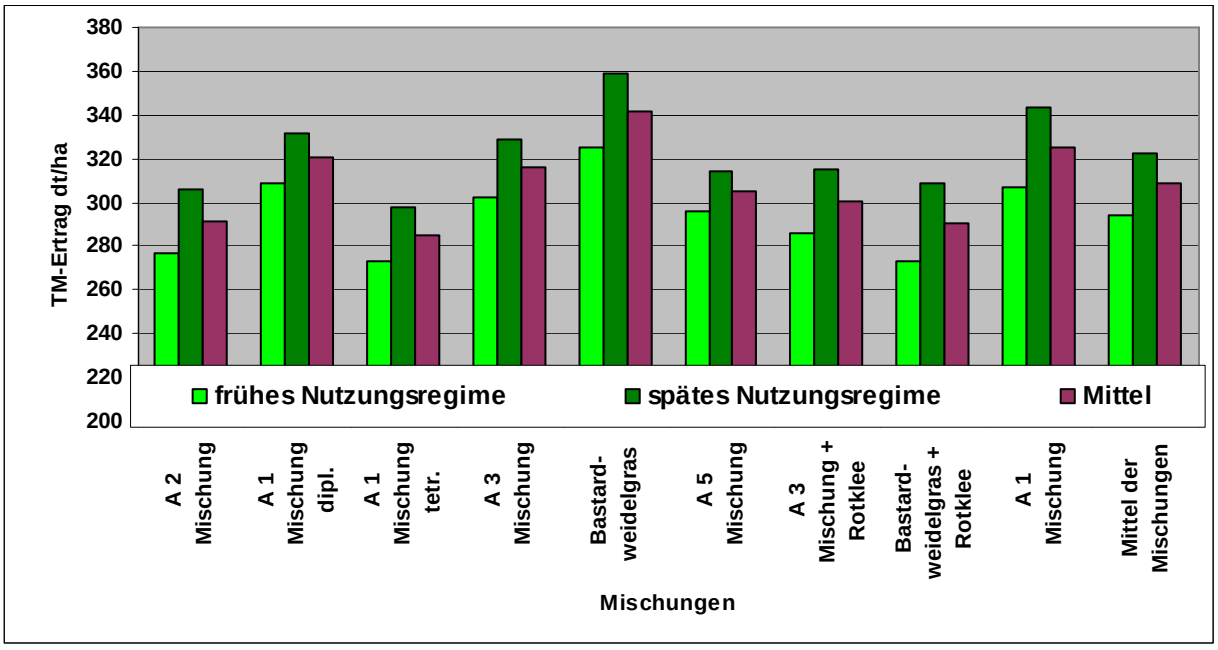


Abbildung 18: TM-Erträge der Mischungen bei unterschiedlichen Nutzungsregimen

Während im Anlagejahr 2005 die Mischungen mit hohem Welsch Weidelgrasanteil im Ertrag überlegen waren, erreichte 2006 die Bastardweidelgras-Mischung die besten Leistungen. Die ertragsstärksten Mischungen in beiden Nutzungsregimen und Jahren waren die Bastardweidelgras-, die A 1 sowie die A 3 Mischung. Die Auswinterungsschäden in der A 2 sowie in der tetraploiden A 1 Mischung kamen auch 2007 zum Ausdruck. Die reine Deutsch Weidelgras Mischung konnte den Ertragsrückstand aus dem Anlagejahr und dem ersten Hauptnutzungsjahr 2006 in 2007 etwas verringern. Für diese ausdauernde Mischung wäre eine Fortführung dieser Versuche über einen längeren Prüfzeitraum sicherlich vorteilhaft. Wie die Bestandeszusammensetzung verdeutlichte, bildete diese Variante eine sehr gute Narbe mit einem zu vernachlässigenden Unkrautbesatz.

Die Mischungen mit Rotkleeanteilen erreichten in den beiden Hauptnutzungsjahren im Vergleich zum Anlagejahr deutlich bessere Leistungen. Zu beachten ist, dass die A 3 Mischung mit Rotklee (Var. 7) mit 140 kg N/ha und die Mischung Bastardweidelgras plus Rotklee lediglich mit 40 kg N/ha im Vergleich zu 280 kg N/ha bei den reinen Gräsermischungen gedüngt wurden. Bei insgesamt hoher Ertragsleistung konnten die Rotkleegrasmischungen A 3 plus Rotklee und Bastardweidelgras plus Rotklee noch ansprechende Ergebnisse liefern.

Methanausbeuten und Methanerträge an ausgewählten Mischungen

Auf den Standorten Wehnen, Bramstedt und Sophienhof wurden von den Mischungsvarianten A 3 (Var. 4), A 3 plus Rotklee (Var. 7) sowie A 1 Mischung mit di- und tetraploiden Sorten (Var. 9) (nur Wehnen) von den einzelnen Schnitten Proben gezogen, die anschließend auf Nähr- und Mineralstoffe untersucht wurden. Ergänzend dazu wurde die Methanausbeute (vgl. Standort Berge in Brandenburg) berechnet.

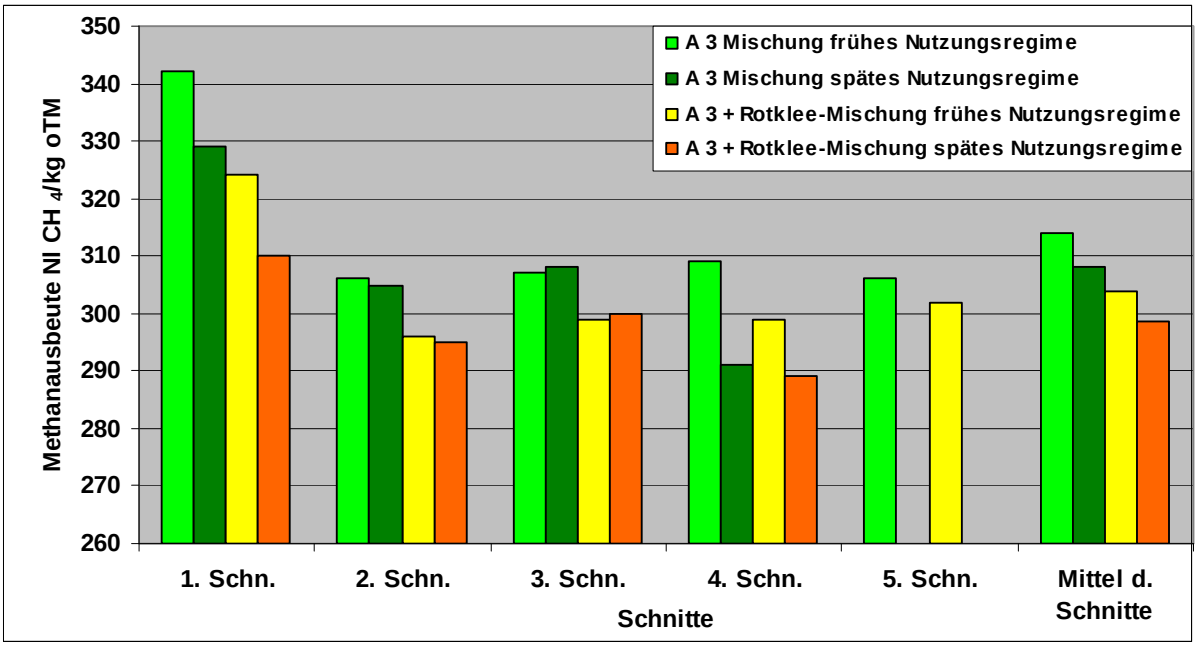


Abbildung 19: Methanausbeute (Nl CH_4/kg oTM) ausgewählter Ackergrasmischungen in Niedersachsen an 3 Standorten (Wehnen, Bramstedt, Sophienhof), Mittel der Jahre 2006/2007

Die Ergebnisse im Mittel der 3 Standorte zeigen, dass die A 3 Mischung unabhängig von den Schnitten die höchste Methanausbeute liefert. Die geringere Methanausbeute bei der Rotkleevariante erklärt sich aus der Tatsache, dass der Rotklee eine geringere Verdaulichkeit der Inhaltsstoffe aufweist. Im Übrigen decken sich diese Ergebnisse mit denen aus Brandenburg und Thüringen. Beim Vergleich der einzelnen Schnitte kommt die deutlich höhere Methanausbeute des 1. Aufwuchses zum Ausdruck. Bei den Nutzungsregimen wird erkennbar, dass insbesondere bei später Nutzung des 1. Schnittes die geringeren Verdaulichkeiten der Nährstoffe zu einem Rückgang in der Gasausbeute führen. Bei den Folgeschnitten wurde dieses weniger deutlich erkennbar.

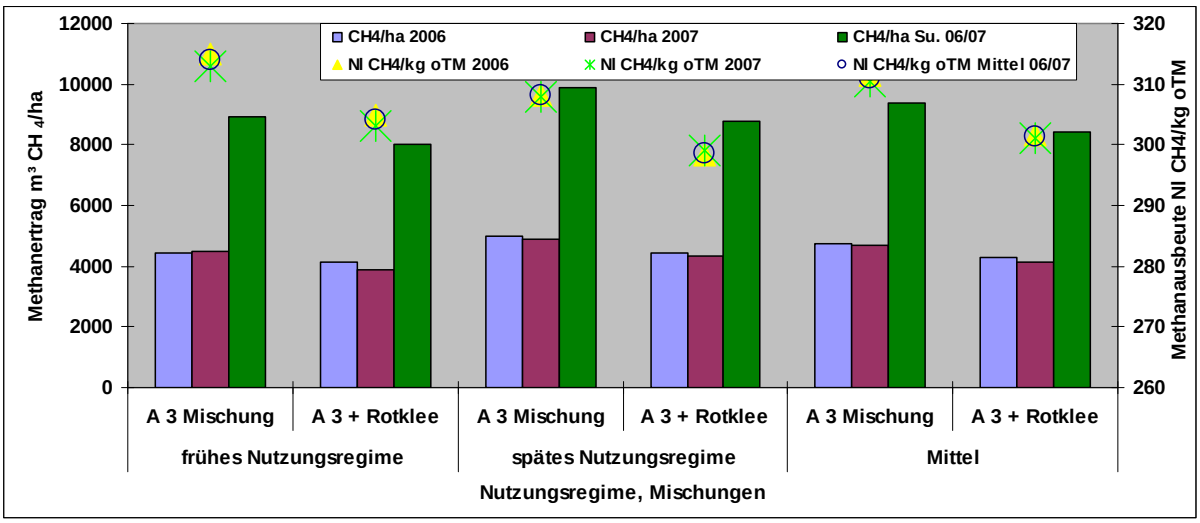


Abbildung 20: Methanertrag (m³ CH_4/ha) der Jahre 2006 plus 2007 und die durchschnittliche Methanausbeute (Nl CH_4/kg oTM) unterschiedlicher Ackerfuttermischungen in Niedersachsen, Mittel aus 3 Standorten

Bezogen auf die Methanerträge ist festzustellen, dass durch den höheren Trockenmasseertrag der A 3 Mischung und die gleichzeitig auch höhere Methanausbeute die Differenz der Mischungen noch stärker erkennbar wird (Abbildung 20). Dieses Ergebnis unterscheidet sich daher von denen aus Berge (BB) und Dornburg (TH), weil an diesen Standorten die Leguminosenmischungen höhere TM-Erträge aber auch wie in Niedersachsen geringere Methanausbeuten erreichten. Dadurch kam es dort zu einer Abschwächung der Ertragsunterschiede auf Basis des Methanertrages.

Ertragsvergleich zwischen der Anlage 2005 und 2006 im Erntejahr 2007

Wie oben bereits geschildert, fand eine Neuanlage der Ackergrasmischungen auf den Standorten Wehnen, Sophienhof und Bramstedt statt, um zu überprüfen, inwiefern sich Ertragsunterschiede zwischen den Mischungen im 3. bzw. im 1. Hauptnutzungsjahr einstellen.

Am Beispiel des Standortes Bramstedt wird erkennbar, dass die Neuanlage im Durchschnitt der Mischungen einen um ca. 60 dt TM/ha höheren Ertrag erzielte. Das höhere Ertragsvermögen der Neuansaaten wurde bei allen Mischungen klar erkennbar. Deutlich wurde überdies, dass die Mischungen A 5 (Deutsches Weidelgras) und auch die Rotkleemischungen ertraglich weiter gegenüber den kurzlebigeren Welsch- bzw. Bastardweidelgrasmischungen zurücklagen.

3.4 Stickstoffbilanzierung einzelner Standorte und Mischungen

Die N-Bilanzierung wurde an den Standorten Berge (BB), Dornburg (TH) und Wehnen (NI) im Mittel der Hauptnutzungsjahre 2006 u. 2007 durchgeführt.

Auf dem Standort Berge wurden neben der reinen Gräsermischung A 3 zwei Leguminosenmischungen, die A 3 plus Rotklee und eine Luzerne-Rotkleegrasmischung hinsichtlich der N-Bilanzierung untersucht. Der Standort erreichte vor allem im Prüfjahr 2007 absolute Spitzenerträge

von über 250 dt TM/ha, sodass in der Summe beider Jahre Erträge von über 400 dt TM/ha erreicht wurden. Um diese hohen Leistungen zu erbringen, ist ein entsprechendes Nährstoffangebot erforderlich. Die A 3 Mischung ist mit 240 bzw. 190 kg N/ha pro Jahr standortüblich gedüngt worden. Die Leguminosenmischungen wurden nach dem Anlagejahr 2005 in den beiden Hauptnutzungsjahren nicht mehr gedüngt. In den unter 3.1. dargestellten Ertragsanteilen des Standortes Berge wird erkennbar, dass der Rotklee- bzw. Luzerneanteil dominierend war. Dadurch konnten sehr hohe N-Fixierungsleistungen realisiert werden, die hohe Erträge möglich machten und sehr hohe N-Mengen im Aufwuchs zur Folge hatten. Die N-Fixierung war in der Luzerne-Rotkleegrasmischung mit ca. 500 kg N/ha im Mittel der 2 Jahre am stärksten ausgeprägt. Dank dieser N-Quelle konnten auch die mit Abstand höchsten Erträge erzielt werden. Im Vergleich der Schnittregime wird erkennbar, dass die Erträge bei verminderter Schnittnutzung am höchsten waren und gleichzeitig die N-Ausnutzung ebenfalls günstiger war. Generell weisen die Mischungen einen negativen N-Saldo von -67 kg N/ha auf. Der Saldo war bei der A 3 Mischung mit -25 kg N/ha relativ gering, während die Leguminosenmischungen einen deutlich größeren Negativsaldo aufweisen.

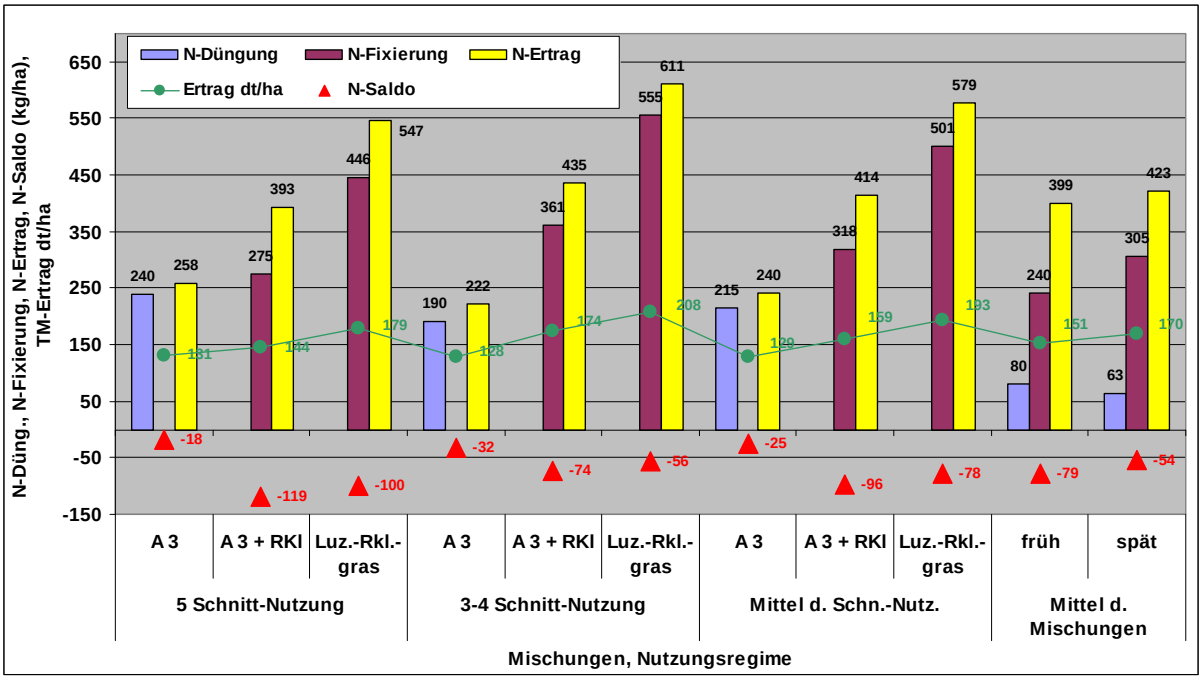


Abbildung 21: N-Bilanzierung am Standort Berge (BB) von 3 unterschiedlichen Ackergrasmischungen, Mittel der Jahre 2006 und 2007

In Dornburg wurden an der A 3 Mischung sowie an einer Luzernegras- und einer Luzerne-Rotkleegrasmischung eine N-Bilanzierung durchgeführt. Die A 3 Mischung erreichte auf diesem Standort nur unbefriedigende Erträge, sodass die N-Düngung deutlich höher lag als der N-Ertrag durch die Aufwüchse. Entsprechend positiv fiel der N-Saldo für die Mischung aus. Auch auf diesem Standort wurde mit den Mischungen aus Rotklee, Luzerne und Gräsern die höchsten Erträge und dank hoher Ertragsanteile der Leguminosen die höchsten N-Fixierungsleistungen erzielt. Dennoch lagen die N-Salden bei diesen Mischungen im negativen Bereich, da mehr N durch den Aufwuchs von der Fläche gefahren als durch die Leguminosen fixiert wurde. Die N-Bilanz fiel beim späten Schnittregime günstiger aus, weil bei gleichen Entzügen der Aufwüchse die Erträge und die N-Fixierungsleistung höher waren.

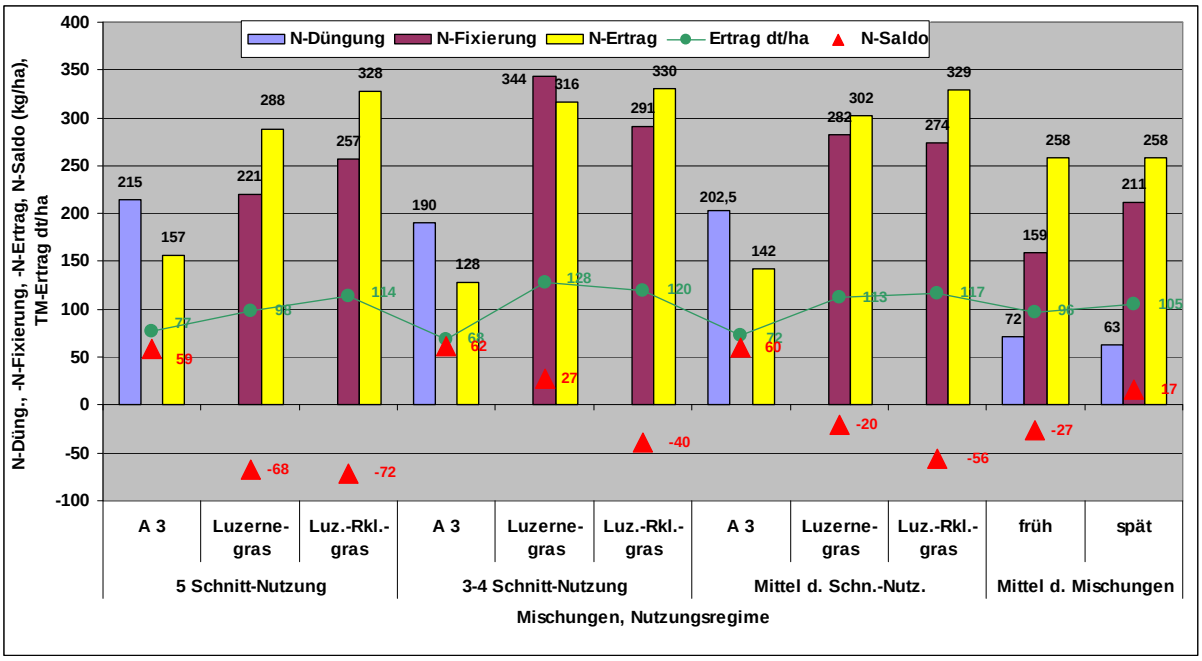


Abbildung 22: N-Bilanzierung am Standort Dornburg (TH) von 3 unterschiedlichen Ackergrasmischungen, Mittel der Jahre 2006 und 2007

Am Beispiel des Standortes Wehnen ist die Nährstoffbilanzierung für die 3 Mischungen A 3, A 3 plus Rotklee und die A 1 Mischung dargestellt.

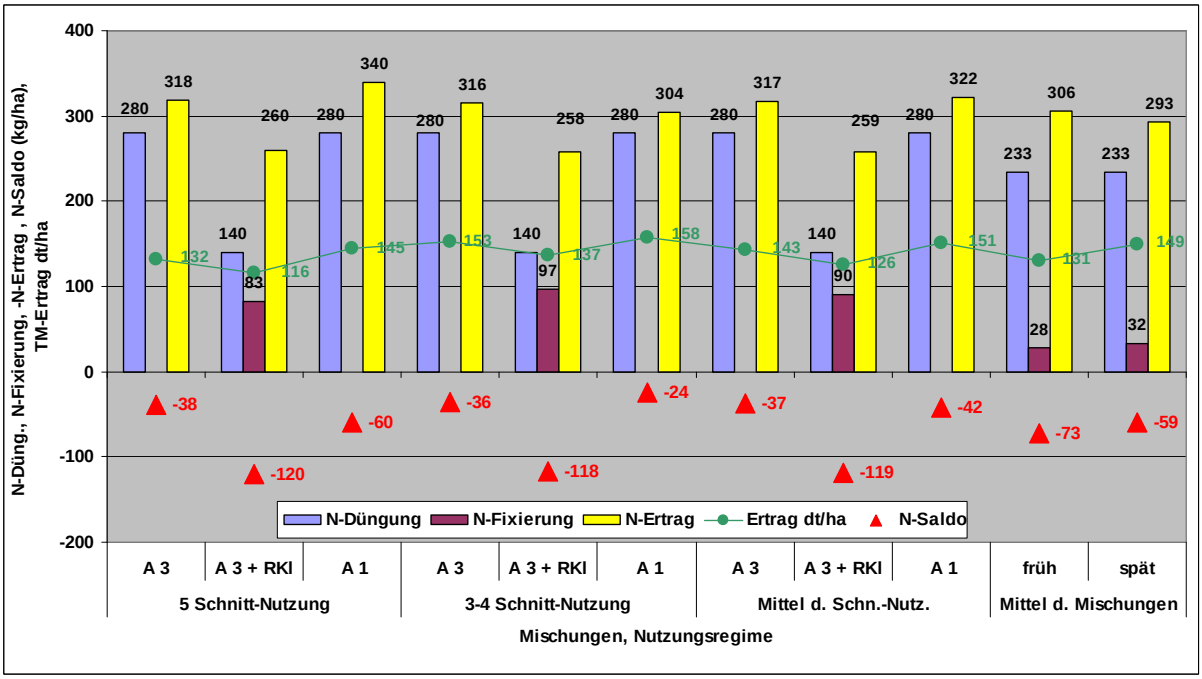


Abbildung 23: N-Bilanzierung am Standort Wehnen (Nl) von drei unterschiedlichen Acker grasmischungen, Mittel der Jahre 2006 und 2007

Bei gleicher N-Düngungsintensität (280 kg N/ha/Jahr), aber höheren Erträgen der A 1- gegenüber der A 3 Mischung ist demzufolge auch ein höherer N-Ertrag durch die Aufwüchse feststellbar. Der Nährstoffsaldo weist bei diesen beiden Gräsermischungen Werte von -37 bis -42 in der Summe beider Jahre auf. Die A 3 plus Rotkleegrasmischung wurde mit der halben Menge an Stickstoff gedüngt. Da die Ertragsanteile des Rotklees auf diesem Standort lediglich bei 10 bis 20 % lagen, ist die N-Fixierung mit knapp 90 kg N pro Jahr nicht so ausgeprägt wie auf den Standorten in Thüringen und Brandenburg. Dennoch wurden bei Ertragsunterschieden von lediglich ca. 25 dt TM/ha im Mittel der Nutzungsjahre vergleichsweise hohe Entzüge festgestellt. Somit weist die Leguminosenmischung mit -119 kg N/ha einen deutlich negativen N-Saldo auf, während die A 3 und die A 1 Mischung in einem Bereich von -37 bzw. -42 kg N/ha liegen. Die reduzierte Schnittnutzung weist bei gleicher Düngungsintensität aber etwas höherer N-Fixierung trotz höherer Erträge geringere N-Erträge auf. Dadurch fällt auch der negative N-Saldo mit - 59 gegenüber -73 kg N/ha geringer aus als es bei intensiver Schnittnutzung der Fall ist. Das heißt, die reduzierte Schnittnutzung nutzt den Stickstoff effizienter zur Ertragsbildung.

Zusammenfassende Darstellung der N-Bilanzierung

Die Ertragsleistungen der unterschiedlichen Mischungen waren auf den 3 Standorten sehr unterschiedlich. Dank überragender Leistungen im Jahr 2007 am Standort Berge konnten dort sehr hohe Erträge mit einer Luzerne-Rotkleegrasmischung erzielt werden. Diese Ergebnisse waren möglich, weil die Ertragsanteile der Leguminosen sehr hoch waren und entsprechende N-Mengen zur Ertragsbildung zur Verfügung stellen konnten. Generell ist zu sagen, dass auf den Standorten Dornburg und Berge Rotklee und/oder Luzerne sich sehr gut entwickeln konnten, während auf dem niedersächsischen Standort Wehnen nur vergleichsweise bescheidene Ertragsanteile und N-Fixierungsleistungen zu verzeichnen waren. Die reinen Grasmischungen konnten in Berge und Dornburg bei weitem nicht an die Erträge der Leguminosenmischungen heranreichen. Auf dem Standort Wehnen wurden mit den Grasmischungen die besten Leistungen erzielt. Die Ertragsleistungen beeinflussten die N-Erträge der Aufwüchse entscheidend.

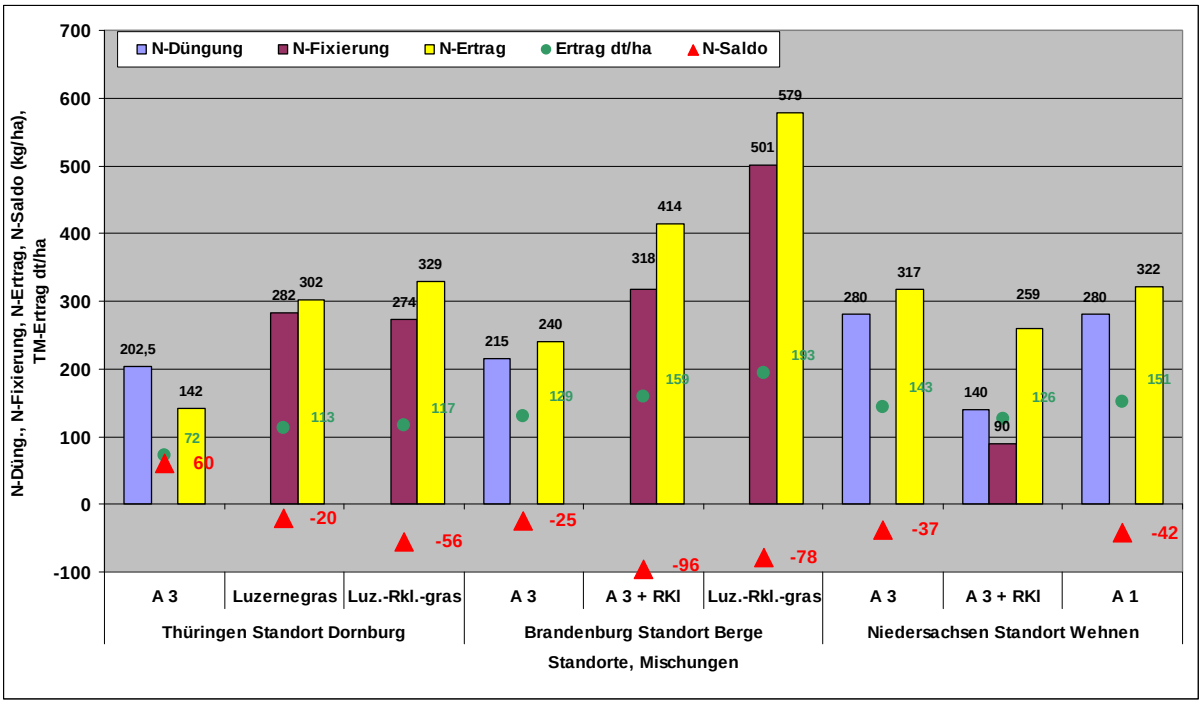


Abbildung 24: N-Bilanzierung an den Standorten Berge (BB), Dornburg (TH) und Wehnen (NI) an unterschiedlichen Ackergrasmischungen, Mittel der Jahre 2006 und 2007

Um die sehr hohen N-Erträge jedoch zu ermöglichen, waren entsprechende Düngegaben bzw. N-Fixierungsleistungen von Rotklee und Luzerne erforderlich. Mit Ausnahme der ertragsschwachen A 3 Mischung in Dornburg ist generell eine negative N-Bilanz festzustellen, d.h. der Fläche wurde mehr Stickstoff entzogen als zur Verfügung gestellt wurde.

3.5 Ökonomische Bewertung

Die Mischungen, die jeweils für die Mineralstoffanalysen, Nährstoffbilanzierungen und die Ermittlung der Gasausbeuten an jeweils einem Standort pro Bundesland näher untersucht worden sind, wurden anschließend auch ökonomisch bewertet.

Als Datenbasis fungieren die von Dr. Toews, Uni Gießen vorgenommenen Annahmen und Berechnungen, die Bestandteil der allgemeinen ökonomischen Bewertungen dieses Verbundprojektes sind.

Die Leistungen der Mischungen wurden anhand der Methanerträge berechnet, die mit einem Preis von 0,30 € je m³ CH4 multipliziert wurden.

Die Kosten sind in unterschiedliche Positionen aufzuschlüsseln. Es werden jährliche Kosten für Saatgut in Höhe von 14 € und sonstige Arbeitserledigungskosten mit 92 € unterstellt. Bei der Düngung wurde die Grunddüngung nicht berücksichtigt, da unter der Annahme, dass es sich durch die Gärsubstratrückführung um ein geschlossenes System handelt, keine zusätzliche Grunddüngung erforderlich ist. Um den unterschiedlichen Ansprüchen der Mischungen bei der N-Düngung (reine Gräsermischungen gegenüber Leguminosen dominierten Mischungen) am ehesten gerecht zu werden, wurde die tatsächliche N-Düngung als Kostenposition bewertet und die im Aufwuchs befindliche N-Menge mit einem Düngewirkungsgrad von 50 % dagegen gerechnet. Auf diese Weise entstehen für die Leguminosenmischungen keine

oder nur reduzierte Düngekosten. Die Effektivität der N-Fixierung gegenüber der mineralischen Düngung zeigt sich in den Ertragsleistungen und im N-Gehalt der Aufwüchse.

Kosten für die Ernte je Schnitt und die Gärrestausbringungskosten wurden ertragsabhängig nach folgender Formel bewertet:

Formel1: Erntekosten (y) je ha in Abhängigkeit vom Ertrag i.d. Frischmasse (t/ha) (x):
y = 5,9342x + 102,76

Auf dem Standort Berge erzielten die einzelnen Mischungen stark unterschiedliche Trockenmasse- und damit auch Methanerträge. Dank der insgesamt guten Leistungen konnte generell ein positiver Deckungsbeitrag erzielt werden. Allerdings sind die Unterschiede zwischen den Mischungen gravierend. Am wirtschaftlich uninteressantesten ist die reine Grasmischung A 3, die bedingt durch die niedrigsten Erträge bei gleichzeitig höchsten Kosten nur einen durchschnittlichen Deckungsbeitrag von 122 €/ha in der Summe beider Jahre erreicht. Die nicht mit Stickstoff gedüngten Mischungen A 3 plus Rotklee und die Luzerne-Rotkleemischung hingegen lagen bei den Kosten um 174 €/ha günstiger und erzielten dank höherer Leistungen auch wesentlich höhere Deckungsbeiträge. Insbesondere die Luzerne-Rotkleemischung konnte zweijährig einen Deckungsbeitrag bei reduzierter Schnittnutzung von 791 € erzielen. Ein Vergleich der Nutzungsregime zeigt, dass die Kosten bei reduzierten Schnitten um 79 € geringer ausfallen. Da gleichzeitig die Methanerträge um knapp 450 m³/ha höher liegen, ergeben sich Vorteile bei der späteren Nutzung in Höhe von 214 €/ha.. Die frühe und damit häufigere Nutzung durch vermehrte Schnitte wirkt sich ökonomisch deutlich negativ aus. Je nach dem, ob zu den einzelnen Schnitten Stickstoff gedüngt wurde, waren 17 bis 20 dt TM/ha zur Erzielung positiver Deckungsbeiträge für den Einzelschnitt erforderlich. Dabei schlagen die reinen Erntekosten mit 200 bis 220 €/ha zu Buche.

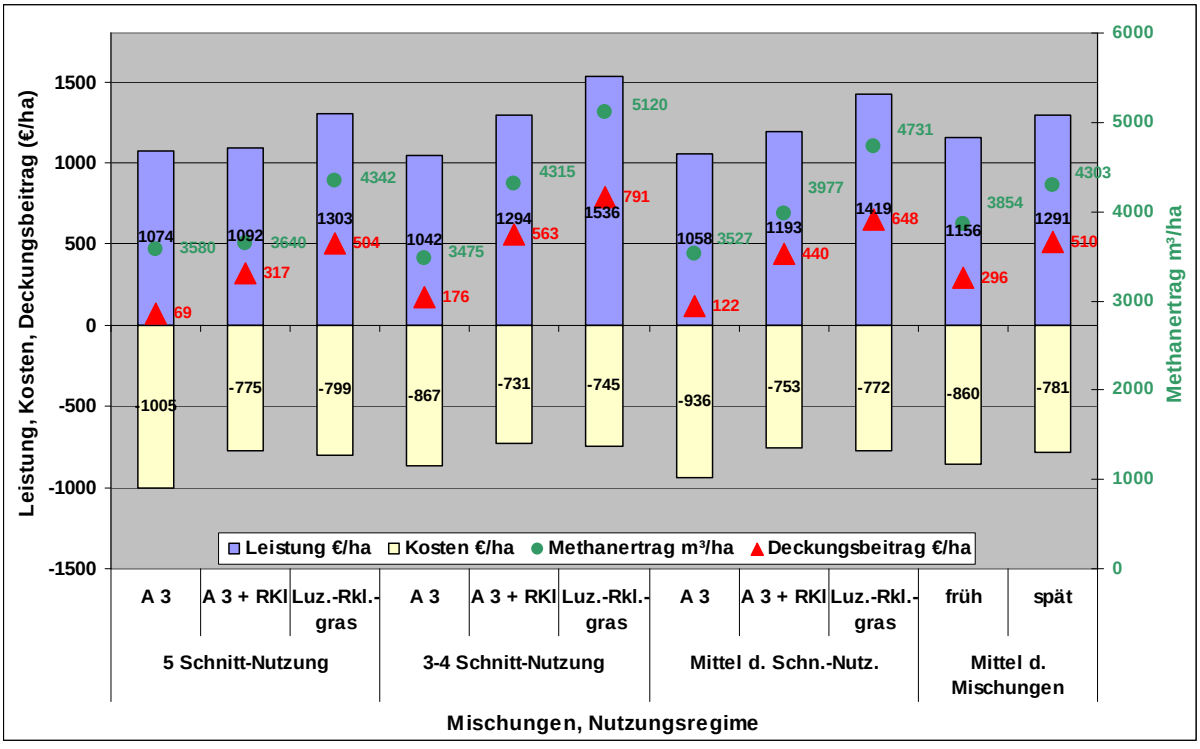


Abbildung 25: Ökonomische Bewertung unterschiedlicher Ackergrasmischungen am Standort Berge (BB), Mittel der Jahre 2006 und 2007

Am Standort Dornburg wurden mit durchschnittlich 2.700 m³/ha Methan deutlich geringere Erträge als in Berge erzielt. Dementsprechend niedriger fielen die Deckungsbeiträge aus. Festzustellen ist, dass auch hier die A 3 Mischung mit 741 €/ha bei lediglich gut 2.000 m³/ha Methan um 138 €/ha höhere Kosten zu verzeichnen hat als die Leguminosenmischungen und dadurch negative Deckungsbeiträge in Höhe von -136 € erreicht wurden. Die Luzerne-Rotkleegrasmischung lieferte dank der besten Leistungen auch den höchsten Deckungsbeitrag von 347 €. Obwohl in Dornburg im Prüfjahr 2007 in beiden Nutzungsregimen lediglich 3 Schnitte geerntet wurden, erreichten die Leguminosenmischungen bei späterer Nutzung des 1. Schnittes verbesserte Erträge und auch Deckungsbeiträge; dieses ist insbesondere auf die deutlich höheren Erträge des 1. Schnittes zurückzuführen.

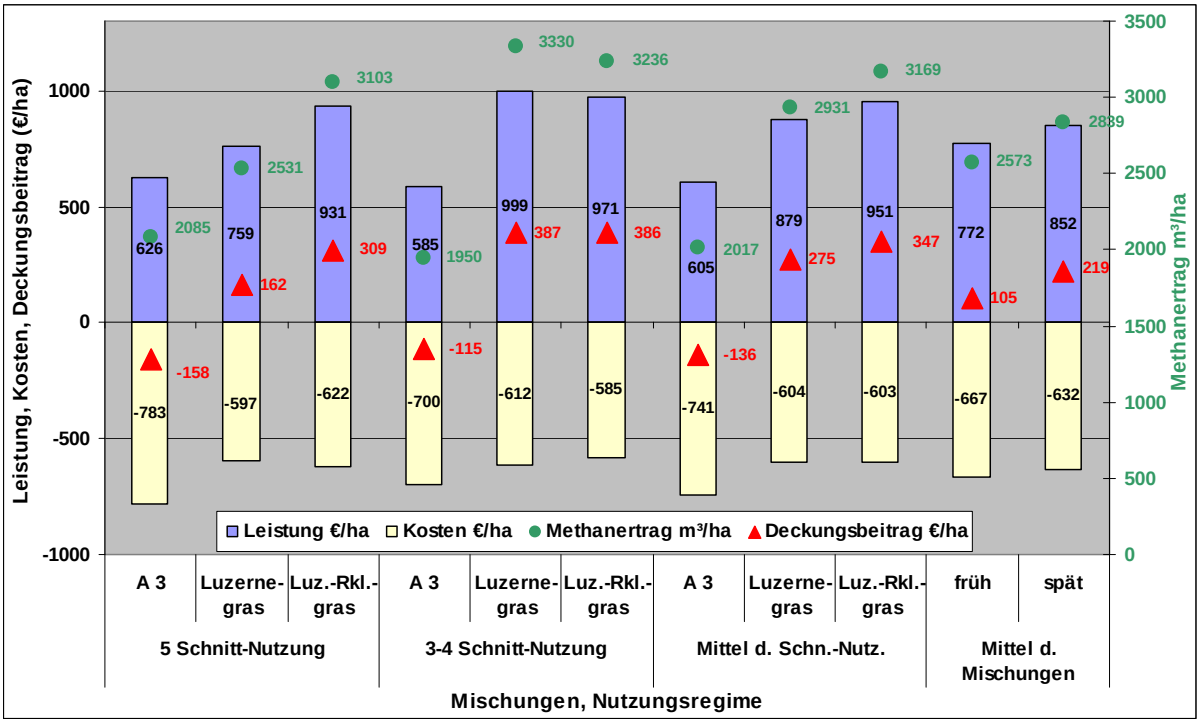


Abbildung 26: Ökonomische Bewertung unterschiedlicher Ackergrasmischungen am Standort Dornburg (TH), Mittel der Jahre 2006 und 2007

Der Standort Wehnen lieferte von den niedersächsischen Standorten durchschnittliche Erträge von knapp 150 dt TM/ha und Jahr; Spitzenerträge wurden hingegen auf dem Marschstandort Sophienhof mit ca. 200 dt TM/ha und Jahr erzielt.

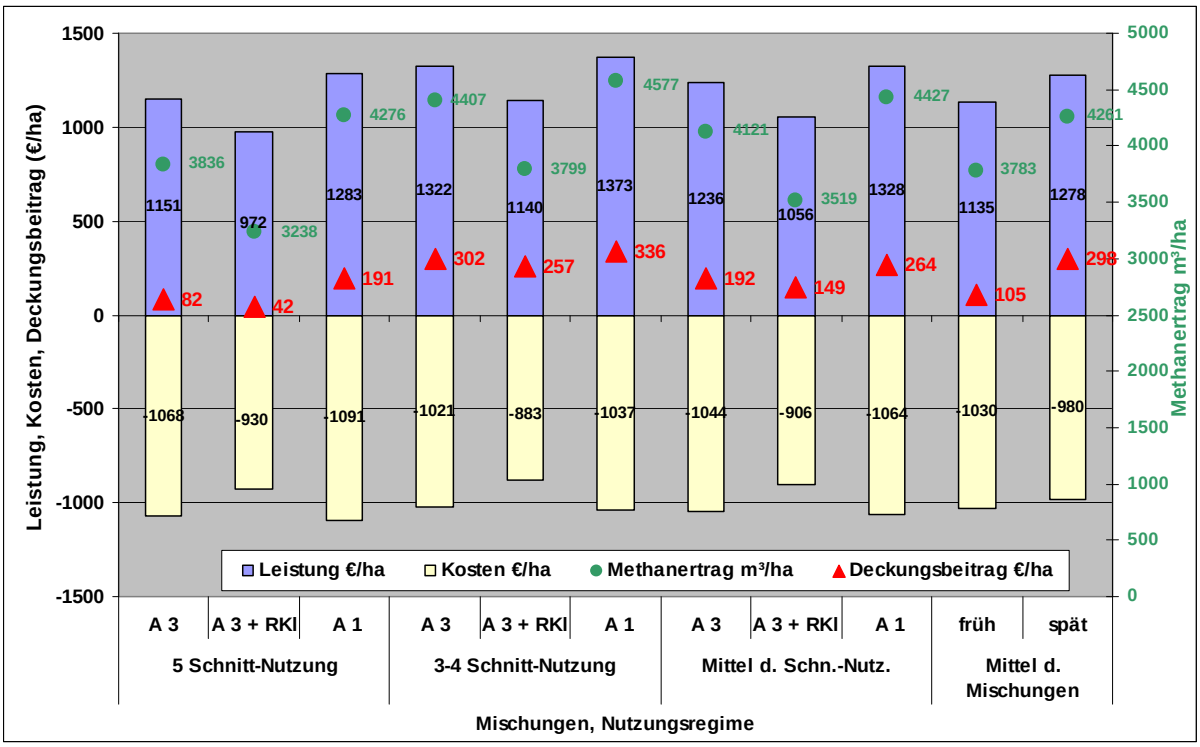


Abbildung 27: Ökonomische Bewertung unterschiedlicher Ackergrasmischungen am Standort Wehnen (NI), Mittel der Jahre 2006 und 2007

Die weidelgrasdominierten Mischungen A 3 und A 1 erreichten gegenüber der A 3 plus Rotkleemischung deutlich höhere Erträge und lagen auch in der Methangasausbeute ca. 4 % höher. Durch diese besseren Leistungen konnten die um knapp 150 €/ha höheren Kosten mehr als kompensiert werden. Die Unterschiede zwischen den Mischungen sind beim Deckungsbeitrag gegenüber den anderen Standorten dadurch aber weniger stark ausgeprägt. Mit 264 €/ha erreichte die A 1 Mischung in den 2 Jahren die besten ökonomischen Ergebnisse. Auch auf diesem Standort wurde deutlich, dass die spätere und reduzierte Schnittnutzung deutliche ökonomische Vorteile von 193 €/ha aufweist, weil auch hier die Methanerträge höher und die Kosten niedriger waren. Die Methanausbeuten bei früherer Schnittnutzung waren auf Basis der Berechnungen nur unwesentlich höher als bei späterer Schnittnutzung, so dass dieses im Prinzip keinen Einfluss auf die ökonomische Wertung hatte.

Zusammenfassung der ökonomischen Bewertung

In der zusammenfassenden Darstellung der ökonomischen Bewertung wird erkennbar, dass die Unterschiede zwischen den einzelnen Mischungen und Standorten gravierend sind. Die auf allen Standorten angebaute A 3 Mischung ereichte Unterschiede im Deckungsbeitrag von – 136 € (Dornburg) bis +192 € (Wehnen). Während diese Mischung in Niedersachsen mittlere bis gute Leistungen zeigte, konnte sie auf den östlichen Standorten gegenüber den Leguminosen dominierten Mischungen nicht mithalten.

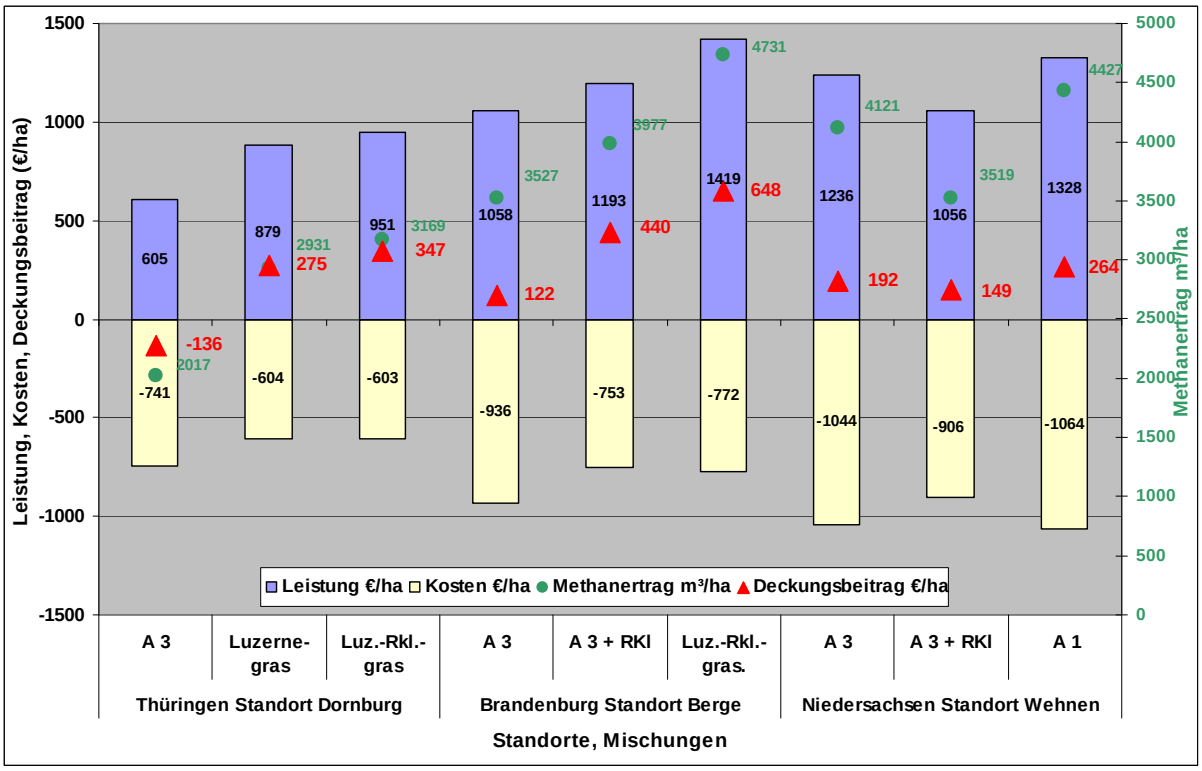


Abbildung 28: Ökonomische Bewertung unterschiedlicher Ackergrasmischungen an den Standorten Berge (BB), Dornburg (TH) und Wehnen (NI), Mittel der Jahre 2006 und 2007

In Berge und in Dornburg erreichten die Mischungen mit Luzerne und Rotklee in Verbindung mit Gräsern die besten ökonomischen Leistungen, weil sie bei unterschiedlichen Umweltbedingungen scheinbar am flexibelsten reagieren konnten. Durch die geringere, bei den Leguminosenmischungen auch gänzlich entfallene N-Düngung lagen die Kosten deutlich niedriger. Dadurch konnten auch die schwächeren Methanerträge in Dornburg gegenüber Wehnen mehr als kompensiert werden. Dank der herausragenden Ertragsleistungen in 2007 auf dem Standort Berge wurden mit der Luzerne-Rotkleegrasmischung die mit Abstand besten Ergebnisse erzielt.

Die zusammenfassende Darstellung der Nutzungsregime an den einzelnen Standorten zeigt ein gleichgerichtetes Bild (Abbildung 29). An allen Standorten werden durch die spätere und in der Regel auch reduzierte Schnittnutzung höhere Methanerträge und damit auch höhere Leistungen erzielt. Gleichzeitig reduzieren sich auch die Kosten durch die geringeren Erntekosten und teilweise auch Düngekosten. Dadurch ist aus ökonomischer Sicht eine reduzierte Nutzungsintensität sinnvoll. Anzumerken ist jedoch, dass die Berechnung der Methanausbeute auf theoretischen Annahmen beruht. Die geringe Anzahl und die zum Teil doch etwas schwer zu interpretierenden Ergebnisse konkreter Untersuchungen zur Ermittlung der Gasausbeute konnten daher noch nicht für die Berechung der Methanerträge herangezogen werden.

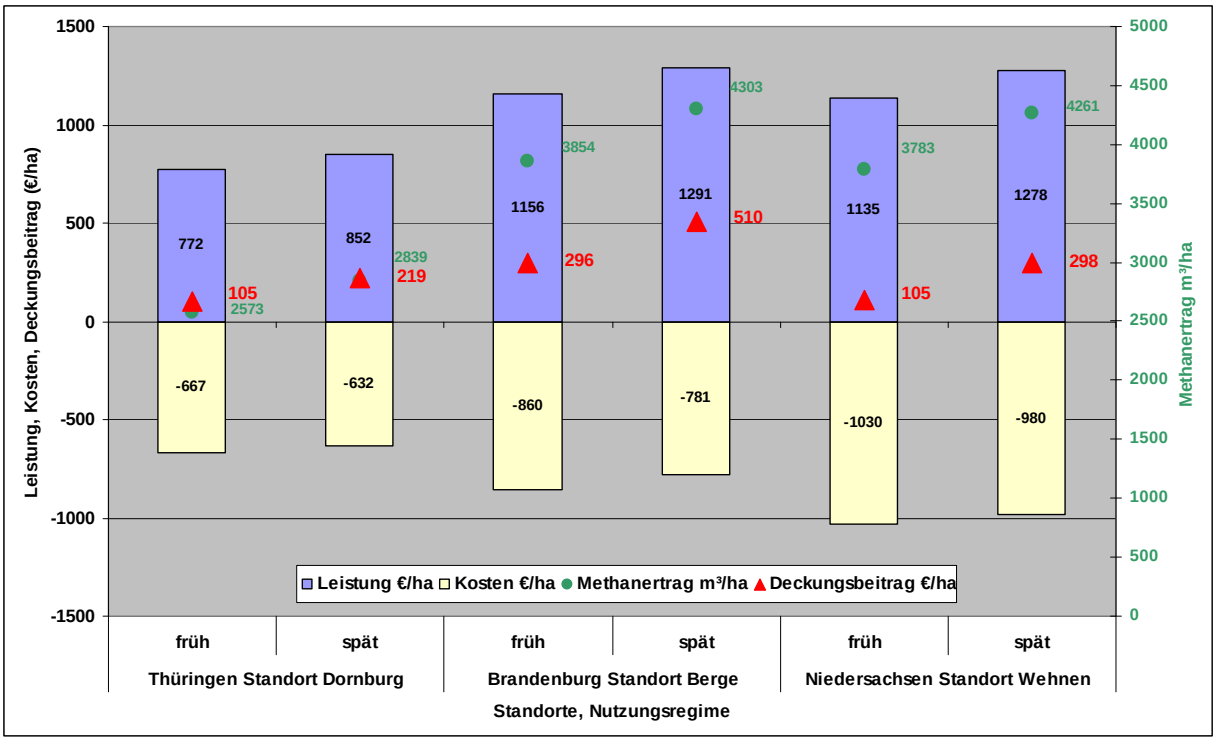


Abbildung 29: Ökonomische Bewertung der Nutzungsregime von Ackergrasmischungen an den Standorten Berge (BB), Dornburg (TH) u. Wehnen (NI), Mittel der Jahre 2006 und 2007

Ökonomische Untersuchungen der Uni Gießen durch Herrn Dr. Toews zeigen auf, dass das Gasbildungspotenzial der 5-Schnittsilage um 16 % höher liegen müsste als bei der 4-Schnittsilage. Um hierfür verbesserte Ergebnisse zu bekommen, soll insbesondere die Untersuchung der Gasausbeute im EVA II Satellitenprojekt Ackerfuttermischungen intensiv untersucht werden.

4 Zusammenfassung der Ergebnisse

Nach der guten Etablierung der Ackerfuttermischungen in allen drei Bundesländern im Anlagejahr 2005 mussten witterungsbedingt auf einzelnen Standorten und in bestimmten Parzellen Auswinterungsschäden festgestellt und zum Teil durch Nachsaaten wieder verbessert werden.

Im Jahr 2006 konnten auf allen Standorten die Mischungen entsprechend dem Witterungsverlauf und des Nutzungsregimes drei bis sechs mal beerntet werden. In Abhängigkeit von den Auswirkungen der Auswinterungsschäden bzw. der Sommertrockenheit wurden deutlich unterschiedliche Ertragsleistungen erzielt. Das Jahr 2007 war durch überdurchschnittlich hohe Niederschläge gekennzeichnet, die prinzipiell eine gute Wachstumsentwicklung der Aufwüchse ermöglichte. So konnten auf den trockenheitsgefährdeten Standorten 2007 zum Teil wesentlich höhere Erträge erzielt werden. Auf den niedersächsischen Standorten wurde erkennbar, dass insbesondere die Mischungen mit den kurzlebigeren Ansaatmischungen nicht mehr das volle Ertragsvermögen aufweisen, da die im Herbst 2006 angelegten Neuansaaten durchweg höhere Erträge erzielten.

Die Entscheidung, in den jeweiligen Anbaugebieten differenzierte, d.h. neben den Vergleichsmischungen standortangepasste Mischungen anzubauen, war richtig. Die Ergebnisse der Jahre 2006 und 2007 belegen, dass je nach Standortverhältnissen einzelne Mischungen deutlich besser mit den Witterungsverhältnissen zu Recht kamen, als es auf anderen Standorten der Fall war. Aber auch die unterschiedlichen Jahresbedingungen spiegeln sich in veränderten Ertragsanteilen der Mischungspartner und der sich verschiebenden Ertragsleistungen einzelner Mischungen wider. Während die Luzernemischungen 2006 auf den stark trockenheitsbeeinflussten Standorten begünstigt waren, so kehrten sich die Verhältnisse 2007 wieder um. Ein gegenläufiges Verhalten war bei weidelgrasbetonten Mischungen festzustellen.

In der Abbildung 30 sind die Erträge der Vergleichsmischung A 3 an den verschiedenen Standorten mit der jeweils ertragreichsten Mischung vergleichend dargestellt. 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.

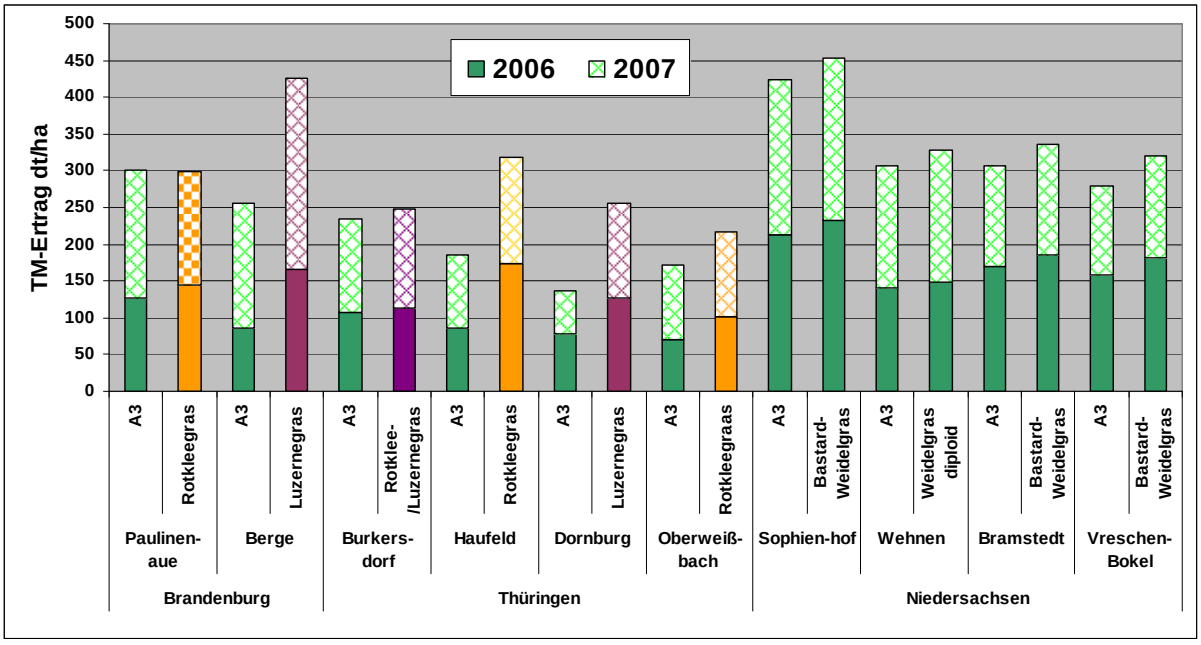


Abbildung 30: Vergleich der Ertragsleistungen (Summe der Jahre 2006 und 2007) zwischen der A 3 Mischung und der jeweils besten Mischung am Standort

Methanausbeuten bei Ackerfuttermischungen

Bei den Versuchen zur Ackerfutterproduktion wurde der Einfluss verschiedener Schnittregime auf die Methanausbeute untersucht (Abbildung 31). Unabhängig von den verschiedenen Mischungen wird deutlich, dass die Nutzung mit verminderter Schnittfrequenz insgesamt höhere TM-Erträge pro Hektar und Jahr liefert.

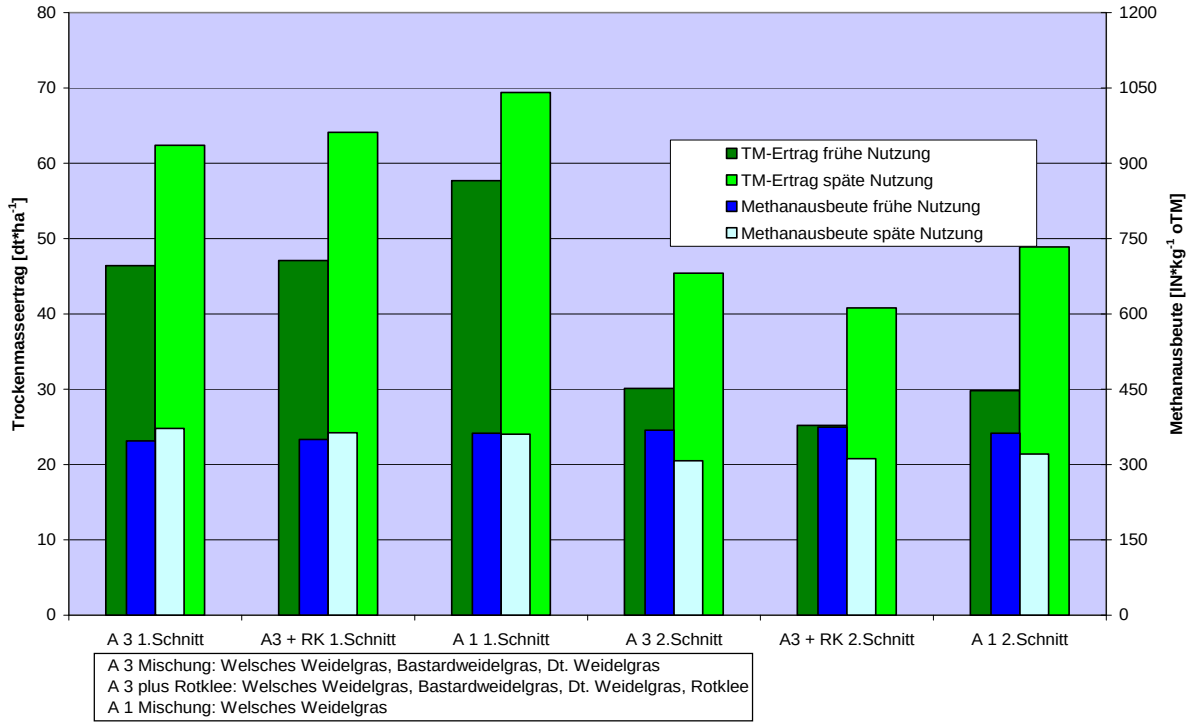


Abbildung 31: TM-Erträge sowie gemessene Methanausbeuten der Silagen des 1. und 2. Schnittes, Standort Wehnen, 2006

Erste Ergebnisse zu den Methanbildungspotenzialen 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. Damit decken sich diese Ergebnisse in der Tendenz mit den nach der Biogasformel (Berechnung lt. Handreichung Biogasgewinnung und –nutzung der Fachagentur für Nachwachsende Rohstoffe 2006) berechneten Werten, wie sie an den drei Standorten Berge, Dornburg und Wehnen deutlich wurden.

Ökonomische Bewertung

Die Berechnungen der ökonomischen Leistungen der Ackerfuttermischungen in den einzelnen Bundesländern an ausgewählten Standorten haben die ertraglichen Ergebnisse monetär untermauert. Es zeigt sich, dass die standortangepasste Auswahl der Mischungen von entscheidender Bedeutung für den wirtschaftlichen Einsatz der Aufwüchse für die Biogasproduktion ist. Ebenso müssen auch die standörtlichen Gegebenheiten bei der Wahl der angebauten Arten berücksichtigt werden. Es wurde klar erkennbar, dass unter den eher ariden Klimabedingungen an den östlichen Standorten die Leguminosenmischungen ertragliche und ökonomische Vorteile aufweisen, während unter den mehr humiden Bedingungen Niedersachsens die Weidelgras betonten Mischungen trotz höherer Düngungskosten ökonomisch sinnvoller einzusetzen sind. Aufgrund der derzeit rechnerisch ermittelten relativ geringen Unterschiede in der Gasausbeute bei früher bzw. später Schnittnutzung muss derzeit die spätere und in der Regel auch reduzierte Schnittnutzung aus ökonomischer Sicht empfohlen werden.

5 Empfehlungen für die Praxis

Mit der Verwendung standortangepasster Ackerfuttermischungen lassen sich hohe Trockenmasseerträge je Hektar erzielen. Eine reduzierte Schnittfrequenz liefert höhere TM-Erträge und Deckungsbeiträge 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 im EVA I Projekt (FF4 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 Standorten werden in bestimmten Regionen Grasaufwüchse von Dauergrünlandstandorten zur Biomassenutzung stärkere Bedeutung gewinnen. Um diese Möglichkeiten für die Landwirtschaft näher zu beleuchten, werden im Folgeprojekt auch Versuchsanstellungen im Dauergrünlandbereich untersucht.

6 Literatur

1. FNR (Hrsg.)
Handreichung Biogasgewinnung und -nutzung, 3. überarbeitete Auflage, Gülzow 2006

2. Gemeinsame Hinweise der Länder Brandenburg, Mecklenburg-Vorpommern und Sachsen-Anhalt, 2008
Richtwerte für die Untersuchung und Beratung sowie zur fachlichen Umsetzung der Düngeverordnung (DÜV)

3. Landwirtschaftskammer Niedersachsen
Nachwachsende Rohstoffe
Anbauhinweise für die energetische und stoffliche Verwertung

4. Landwirtschaftskammer Niedersachsen
Diverse Veröffentlichungen Landessortenversuchsergebnisse und produktionstechnische Ergebnisse

Tätigkeitsbericht 2008 Arbeitsgruppe Biogas

Frank Hengelhaupt, Dr. Katja Gödeke

Im Jahr 2007 wurde im Rahmen des EVA Projektes der Hohenheimer Biogasertragstest an der Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft in Betrieb genommen. Die Einarbeitung und der Testbeginn stehen im Zusammenhang mit der Anfertigung von zwei Diplomarbeiten. Diese beschäftigten sich zum einen mit dem Vergleich der Methoden von Gärversuchen am ATB und der Methode des HBT sowie zum anderen mit der Biogasausbeute unter besonderer Berücksichtigung der Fruchtarten und Fruchtfolgestellung. Die beiden Arbeiten fanden Ende 2007 ihren Abschluss.

Seit Januar 2008 laufen kontinuierlich Gärtests im HBT. Untersucht wurden dabei bisher hauptsächlich die Silageproben aus dem EVA I Projekt auf ihren Biogas- und Methanertrag. Im April 2008 erfolgten die Anschaffung und die erfolgreiche Inbetriebnahme eines zweiten HBT. Damit stehen seit dem Zeitpunkt zwei parallel laufende Geräte, welche in einem zeitversetzten Ansatz betrieben werden, zur Verfügung. Der Probendurchsatz konnte so merklich gesteigert werden. Dadurch wurde bis jetzt der größte Teil des Probenumfangs abgearbeitet und zu diesem Zeitpunkt steht die Bearbeitung von ca. 80 Proben noch aus. Erwartungsgemäß werden die Untersuchungen der restlichen EVA I Proben bis mindestens April 2009 andauern (siehe Abb. 1).

	1	2	3	4	5
2005	**Sommer-Gerste** Ölrettich	**Sudangras Futter-Roggen**	**Mais Futter-Roggen**	**Sommer-Gerste US Luzernegras**	**Hafer-Sorten-mischung**
2006	**Mais**	**Mais**	**Sudangras**	**Luzernegras**	**Winter-Triticale**
2007	Winter-Triticale **Zuckerhirse**	Winter-Triticale	Winter-Triticale **Einjähriges Weidelgras**	**Luzernegras**	Winter-Raps
2008	Winter-Weizen	Winter-Weizen	Winter-Weizen	Winter-Weizen	Winter-Weizen

Werte vollständig Werte unvollständig

Abb. 1: Übersicht über die bisher bearbeiteten Fruchtarten (Grundversuch)

	6	7	8
2005	**Hafer**	**Mais**	**Topinambur** (Kraut)
2006	**Artenmischung** (Winter-Triticale, -Weizen, -Gerste)	**Mais**	**Topinambur** (Kraut)
2007	Winter-Raps	**Mais**	**Topinambur** (Kraut/Knolle)
2008	Winter-Weizen	Winter-Weizen	Winter-Weizen

Werte vollständig Werte unvollständig

Abb. 2: Übersicht der bisher bearbeiteten Fruchtarten (Regionalversuch)

Methoden und Durchführung

Silage und Probenaufbereitung

Die zu untersuchenden Proben stammen bisher, wie schon erwähnt, vorrangig aus dem EVA I Projekt. Der Anbau, die Ernte und die Aufbereitung erfolgen nach bekannter Weise: Um Wiederholungseffekte auszuschließen wird jedes Fruchtfolgeglied in vierfacher Wiederholung angelegt. Die Ernte erfolgt mittels Parzellen-Futterernter oder Häcksler. Dabei wird das Pflanzenmaterial bereits auf eine Länge von ca. 18 mm zerkleinert. Aus den vier Wiederholungen wird eine Mischprobe erzeugt und daraus wiederum eine repräsentative Probe von ca. 1 kg gezogen. Die Einsilierung des Pflanzenmaterials erfolgt in 1 Liter bzw. 1,5 Liter Modellsilos (Tulpengläser) der Firma Weck. Im Glas wird das Material mit einer Vorrichtung verdichtet und anschließend luftdicht verschlossen (Abb. 3). Dieser Vorgang wird in vierfacher Wiederholung durchgeführt und damit stehen je Fruchtart vier Silageproben zur Verfügung. Davon sind zwei mit Siliermittel und zwei ohne Zusatz. Die Silierdauer beträgt 90 Tage und die entnommene Silage wird anschließend bei -20 °C gelagert.



Abb. 3: Verdichtungsvorrichtung zur Silagebereitung in Modellsilos (ATB)

Als weitere Aufbereitung nach dem Auftauen, erfolgt eine Trocknung bei 60 °C und eine Zerkleinerung auf 1-2 mm Siebdurchgang. Es folgt eine umfassende Analyse der Silagen (Weender Rohnährstoffe der erweiterten Futtermittelanalyse: Rohasche, Rohfett, Rohfaser, Rohprotein, NfE, Zucker Stärke, ADF und NDF sowie ADL, die Makro- und Mikronährstoffe sowie das Gärsäurespektrum und der pH-Wert) und die Untersuchung im Hohenheimer Biogastest.

Hohenheimer Biogasertragstest

Aufbau und Funktion

Als Fermenter dienen bei dem HBT Kolbenprober mit einem Volumen von 100 ml (Glasspritzen, Abb. 4), mit einer 1:1 Graduierung und mit einem Kapillaransatz. Auf diesem ist ein Schlauchstück aufgesetzt, welches mit einer Schlauchklemme verschlossen werden kann. Zwischen dem Kolben und dem Stopfen fungiert eine Silikonpaste als Dicht- und Schmiermittel.

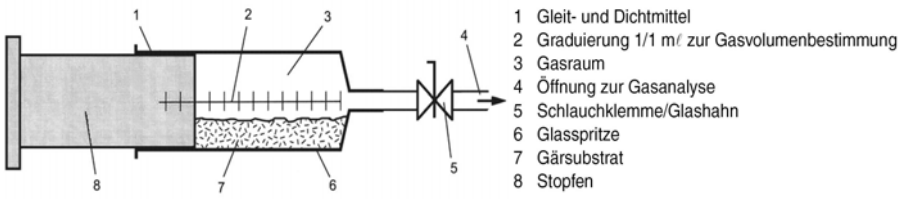


Abb. 4: Schematischer Aufbau eines Kolbenprobers

In den Kolben wird das Gärsubstrat (z.B. Mischung aus Impfmaterial und Testsubstrat) gegeben. Anschließend wird mit dem Stopfen, welcher vorher mit der Dichtpaste behandelt wurde, die Restluft aus dem Kolben gedrückt und die Schlauchklemme geschlossen. Die befüllten Kolbenprober werden in einem langsam drehenden Rotor eingesteckt (Abb. 5). Damit lassen sich eine kontinuierliche Durchmischung des Gärsubstrates und eine gleichmäßige Umlagerung der Dichtpaste realisieren. Der Rotoraufbau befindet sich in einem Trockenschrank, so dass für die gesamte Versuchsdauer eine konstante Gärtemperatur eingestellt werden kann.

Durch die einsetzenden Aktivitäten der Mikroorganismen kommt es zur Biogasbildung. Das entstehende Gas drückt den Stopfen heraus und der Füllstand des Kolbens kann über die Graduierung abgelesen werden. Bei einem ausreichend hohen Gasvolumen wird, nach dessen Erfassen, das Gas über das Schlauchstück einem externen Gerät zur Analyse zugeführt. Dabei wird das gesamte Biogas herausgedrückt und die Schlauchklemme anschließend wieder verschlossen.

Praktische Umsetzung

Die Untersuchungen werden am einsilierten, getrockneten und vermahlenen Pflanzenmaterial vorgenommen. Dabei kommen je Kolbenprober ca. 500 mg an Probenmaterial mit ca. 35 g an Impfmaterial in Mischung zum Ansatz. Als Impfmaterial wird ausgegorene Gülle eingesetzt, dass heißt diese hat schon einmal den Biogasprozess durchlaufen. Damit bildet die Gülle nur einen geringen Eigengasanteil und das Impfmaterial dient somit nur als Träger der Mikroorganismen. In jedem Versuchsdurchgang wird zudem als Nullvariante die reine Impfgülle und als Referenzprobe mikrokristalline Cellulose mitgeführt.

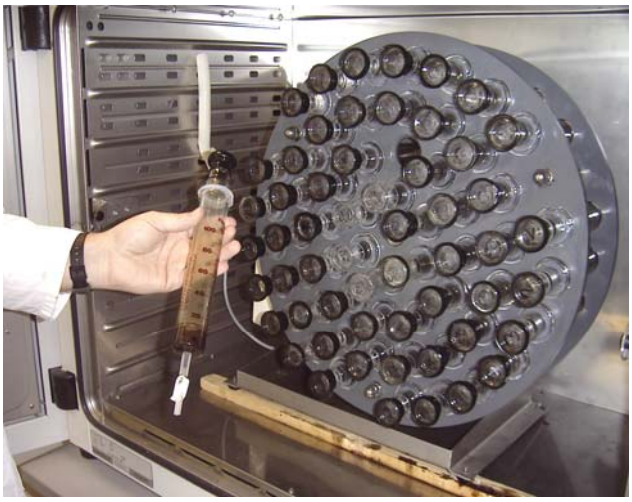


Abb. 5: Rotoraufbau im Trockenschrank bei dem Versuchsaufbau der TLL

Die Proben werden in dreifacher Wiederholung angelegt und somit kommen in einem Durchgang, bei 57 zur Verfügung stehenden Rotorsteckplätzen, 17 Proben sowie eine Nullvariante und eine Referenzprobe zur Untersuchung. Für die Gasanalyse kommt ein externes Messgerät zum Einsatz, welches nach der IR-Methode arbeitet. Vorraussetzung für eine repräsentative Messung ist ein Mindestvolumen von 25 - 30 ml Biogas im Kolbenprober.

Die Versuchsdauer beträgt in der Regel 30 Tage. Dabei wird eine konstante Gärtemperatur von 37°C realisiert. Die Durchführungen sowie die Umrechnungen der Rohdaten erfolgt nach der VDI RL - 4630 „Vergärung organischer Stoffe Substratcharakterisierung, Probennahme, Stoffdatenerhebung, Gärversuche“

Bisherige Ergebnisse

Die nachfolgenden dargestellten Ergebnisse wurden zur Berechnung bzw. Auswertung auf die korrigierten Analysedaten bezogen. Korrigierte Daten betreffen in diesem Fall die Rohasche, und die darauf bezogenen resultierenden Analysedaten, welche um den Anteil der flüchtigen Gärsäuren (z.B. kurzkettige Milchsäuren und Alkohole) angepasst wurde. Diese gehen bei der Trocknung von Silagen verloren und zur korrekten Bestimmung des oTS muss dieser um die verlorengegangen Inhaltstoffe korrigiert werden. Dies wird standardmäßig bei der Futtermitteluntersuchung an der TLL durchgeführt.

Spezifische Gaserträge der einzelnen Fruchtarten

In Abb. 6 sind die spezifischen Biogas- und Methanerträge der bisher untersuchten Fruchtarten dargestellt. Den höchsten spezifischen Biogasertrag erreicht in den Versuchen dabei die Topinambur-Knolle mit ca. 750 l_N/kg_{oTS}. Die nächst höheren Erträge bilden nachfolgend der Mais, der Futterroggen sowie die Artenmischung (Wi-Weizen+Wi-Triticale+Wi-Gerste) und der Triticale in einem dichten Bereich von ca. 630 - 645 l_N/kg_{oTS}. Die Sommergerste und die Sommergerste-US erreichen noch Erträge im Bereich von ca. 600 l_N/kg_{oTS}.

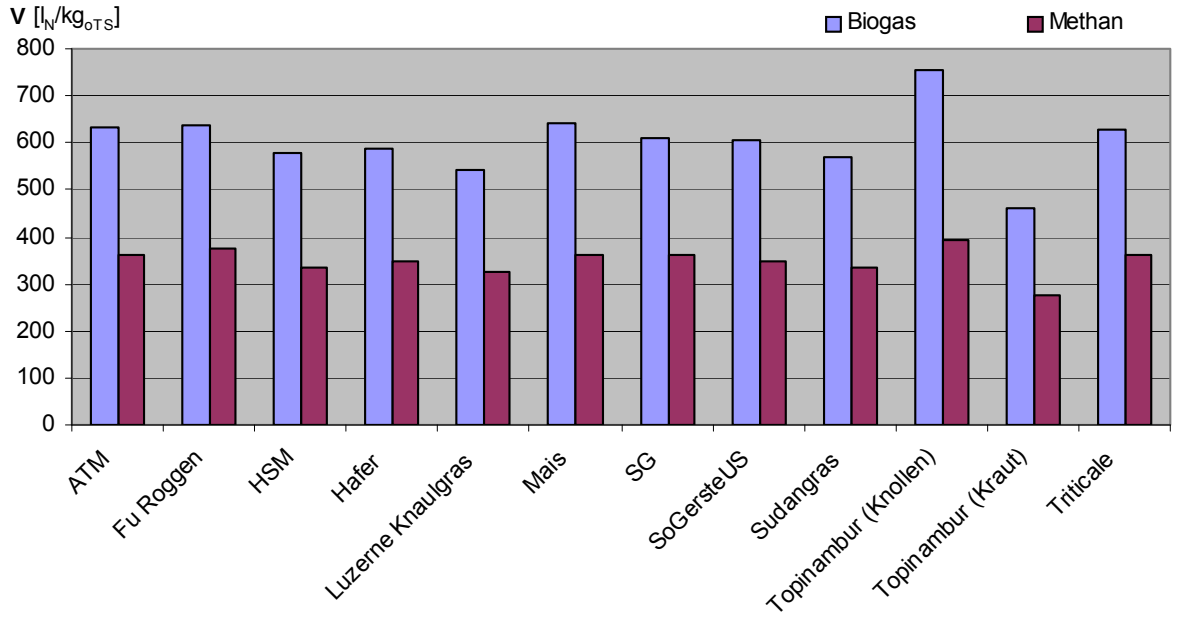


Abb. 6: Spezifische Biogas- und Methanerträge der bisher untersuchten Fruchtarten (n=229)

Der Hafer, die Hafersortenmischung, das Sudangras und die Luzerne bilden geringere spezifische Biogaserträge von ca. 540 - 590 l_N/kg_{oTS} aus. Bei der Betrachtung des Topinambur-Krautes fällt auf, dass dieses mit ca. 460 l_N/kg_{oTS} den deutlich niedrigsten Biogasertrag erreicht. Die signifikanten Unterschiede zwischen den Gaserträgen der Fruchtarten sind Beispielhaft für die Biogasausbeuten in Abbildung 7 dargestellt.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1												
2												
3	***	***										
4	***	***										
5	***	***	***	***								
6			***	***	***							
7		*	*		***	*						
8	*	***	*		***	***						
9	***	***		*		***	***	***				
10	***	***	***	***	***	***	***	***	***			
11	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***		
12			***	***	***			*	***	***	***	

1 ATM	4 Hafer	7 SG	10 Topinambur (Kraut)	* Signifikant mit p≤0,05
2 FuRog-gen	5 Luzerne Knaulgras	8 SoGerste US	11 Topinambur (Knolle)	** Signifikant mit p≤0,01
3 HSM	6 Mais	9 Sudangras	12 Triticale	*** Signifikant mit p≤0,001

Abb. 7: Signifikante Unterschiede zwischen den Biogaserträgen der Fruchtarten

Bei den spezifischen Methanerträgen ergibt sich ein ähnliches Bild. Die Topinambur-Knolle erreicht mit ca. 390 l_N/kg_{oTS} den höchsten Methanertrag und das Topinambur-Kraut mit ca. 280 l_N/kg_{oTS} wiederum den deutlich niedrigsten Ertrag. Dazwischen schieben sich zwei Gruppierungen. Einmal der Futterroggen die Sommergerste und die Artenmischung, sowie der Mais und der Triticale mit einem Bereich von ca. 360 -375 l_N/kg_{oTS}. Die zweite Gruppe bilden die Sommergerste-US, der Hafer, die Hafersortenmischung sowie das Sudangras und die Luzerne mit Erträgen im Bereich von ca. 320 - 350 l_N/kg_{oTS}.

Gaserträge der unterschiedlichen Fruchtfolgestellungen

Die verschiedenen Stellungen in der Fruchtfolge konnten bisher nur für Mais und Sudangras untersucht werden. Dabei zeigen sich im Versuch bei der Zweitfruchtstellung von Mais sowie Sudangras höhere spezifische Gaserträge gegenüber der Hauptfruchtstellung (Abb. 8). Der Mais erreicht ein spezifisches Biogasvolumen von 636 l_N/kg_{oTS} (Hauptfrucht) und 651 l_N/kg_{oTS} (Zweitfrucht). Sudangras bildet ein Biogasvolumen von 558 l_N/kg_{oTS} (HF) und 582 l_N/kg_{oTS} (ZF).

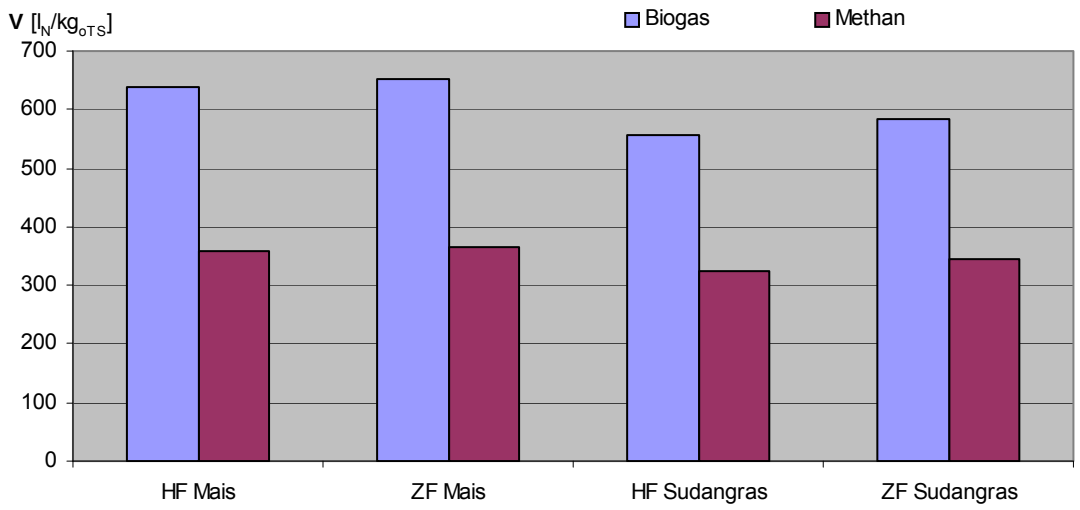


Abb. 8: Spezifische Gaserträge der unterschiedlichen Fruchtfolgestellungen (n=102)

Die Methanerträge verhalten sich ähnlich. Die erreichten Methanvolumen liegen in Zweitfruchtstellung beim Mais jedoch nur leicht höher als in Hauptfruchtstellung, etwas deutlicher fällt der Unterschied beim Sudangras aus; Mais: ca. 360 l_N/kg_{oTS} (HF) zu 364 l_N/kg_{oTS} (ZF); Sudangras: ca. 323 l_N/kg_{oTS} (HF) zu 346 l_N/kg_{oTS} (ZF). Die gefundenen Unterschiede konnten lediglich für die Methanausbeute im Sudangras statistisch abgesichert werden, alle anderen Unterschiede sind nicht signifikant.

Gaserträge der verschiedenen Bodenbearbeitungsvarianten

Bisher lag, wie schon erwähnt, der Schwerpunkt der Untersuchungen auf den Proben mit der normalen Bodenbearbeitung und den der Wiederholungsanlagen. Trotzdem lassen sich hier schon einige vorläufige Ergebnisse zusammenfassen welche den Unterschied zwischen den beiden Bodenbearbeitungen betreffen.

Bei den spezifischen Biogaserträgen ist nach den ersten Ergebnissen eine Tendenz zu einer höheren Ausbeute in den minimalen Bodenbearbeitungsvarianten erkennbar. Die größten Unterschiede bestehen beim Futterroggen, der Sommergerste-US und dem Sudangras mit einer Differenz der verschiedenen Varianten von ca. 20 - 30 l_N/kg_{oTS}. Die Unterschiede bei den anderen Fruchtarten liegen in einem geringeren Bereich von ca. 7 - 20 l_N/kg_{oTS}. Für den Triticale besteht mit einer Differenz von 0,4 l_N/kg_{oTS} praktisch kein Unterschied in der Bodenbearbeitung. Ausnahmen bilden lediglich die Artenmischung und das Luzerne-Knaulgras. Bei diesen beiden Fruchtarten liegen die Biogasausbeuten der minimalen Bearbeitung unter denen der normalen Variante (ca. 6 l_N/kg_{oTS} und ca. 20 l_N/kg_{oTS}, siehe Abb. 9). Die gefundenen Unterschiede sind jedoch nur für den Futterroggen und das Luzerne-Knaulgras statistisch signifikant.

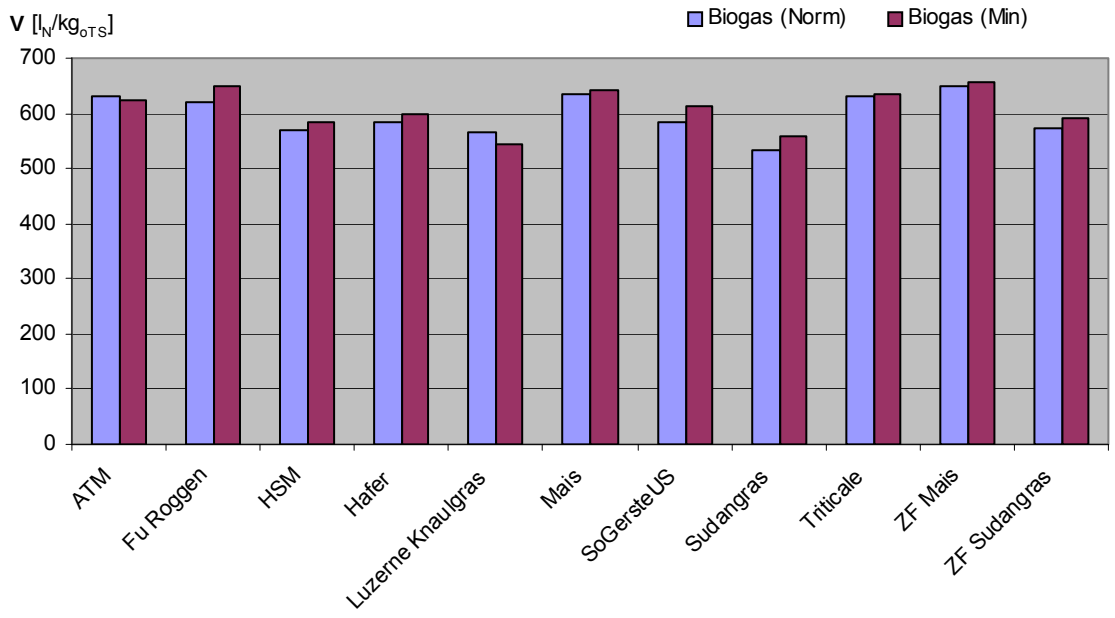


Abb. 9: Spezifische Biogaserträge der Fruchtarten in den unterschiedlichen Bodenbearbeitungen (n=155)

Bei den spezifischen Methanerträgen zeigt sich ein differenzierteres Bild. Hier weist die minimale Bodenbearbeitung nur zum Teil einen höheren Ertrag auf. Dabei liegen die Unterschiede jedoch in einem geringeren Bereich von ca. 7 - 22 l_N/kg_{oTS}. Ausnahmen bilden hierbei wieder die Artenmischung, der Triticale und auch das Sudangras sowie Luzerne und der Futterroggen. Deren Ausbeuten der minimalen Bearbeitung liegen in einem Bereich von ca. 2 l_N/kg_{oTS} bis ca. 16 l_N/kg_{oTS} unter denen der normalen Variante, siehe Abb. 10. Die Unterschiede sind hierbei aber nur für die Hafer Sortenmischung, den Mais und die Sommergerste (US) signifikant.

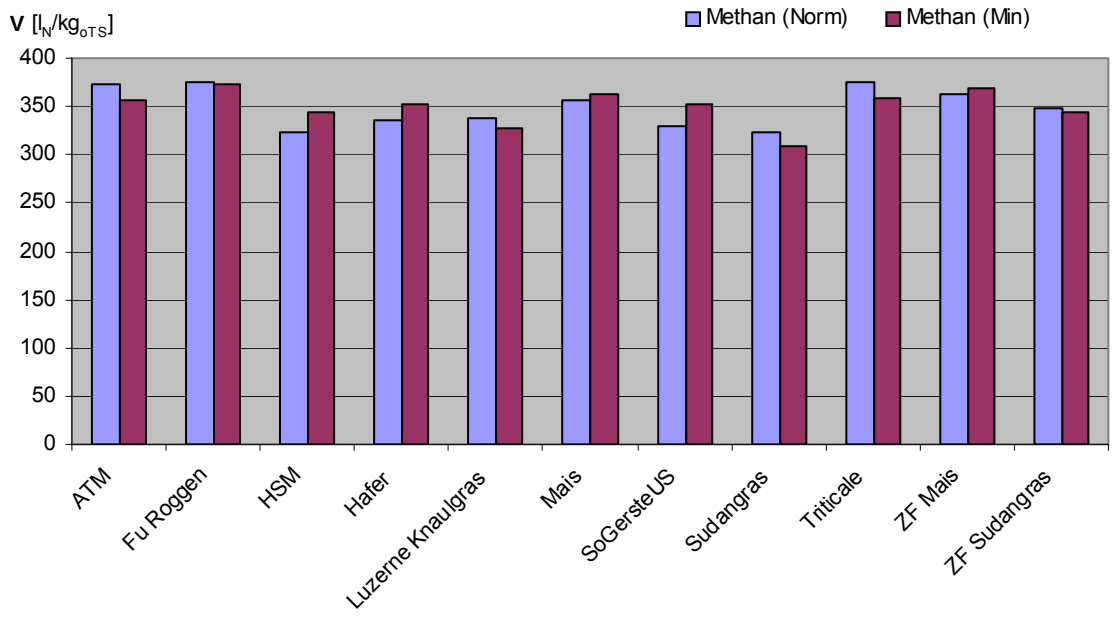


Abb. 10: Spezifische Methanerträge der Fruchtarten in unterschiedlichen Bodenbearbeitungen (n=155)

Erste Schätzungen für die Formel zur Berechnung des theoretischen Biogasertrages

Die Proben aus dem EVA I Projekt wurden einer umfangreichen Inhaltsstoffanalyse unterzogen (Rohnährstoffe nach erweiterte Weenderanalyse, Makro- und Mikronährstoffe, Gärsäurespektrum,…). Anhand dieser Daten und mit den dazugehörigen Biogas- und Methanerträgen der Proben lässt sich eine Schätzformel zur Ermittlung des theoretisch möglichen Gasertrages formulieren.

Da aber bis jetzt nicht alle Proben vollständig untersucht wurden, kann an dieser Stelle noch keine endgültige Aussage darüber getroffen werden. Vorläufige Versuche zeigen allerdings jetzt schon eine Schätzgenauigkeit von $R^2 > 0,8$ für den Biogasertrag und ein $R^2 > 0,75$ für die Methanausbeute (n=229). Unter Anwendung eines reduzierten Merkmalspektrums wird für das Biogas noch eine Genauigkeit von $R^2 > 0,72$ und für das Methan ein $R^2 > 0,66$ erreicht. Diese liegen damit bedeutend höher als die der z.Zt. verwendete, allgemeine Formel zur Biogasschätzung anhand der Weender - Rohnährstoffe und deren Verdaulichkeiten.

Unter Verwendung der alten, standardmäßig angewandten Formel (Verdaulichkeiten) auf die EVA I Silageproben lässt sich der theoretisch zu erwartende Biogasertrag trotzdem mit einer Genauigkeit von $R^2 = 0,57$ und der zu erwartende Methanertrag mit einem $R^2 = 0,41$ abschätzen (n=221). Allerdings wurden hier zur Berechnung die direkt zugehörigen Rohnährstoffe und Verdaulichkeiten der Silagen aus EVA I gewählt. Mit der Anwendung der Formel auf Proben, für die nicht die zugehörigen Verdaulichkeiten bekannt sind, fällt die Schätzgenauigkeit allerdings deutlich geringer aus. Die theoretischen Gaswerte liegen alle unter den Ausbeuten welche in den Versuchen mit dem HBT ermittelt wurden, siehe Abb. 11 und Abb. 12.

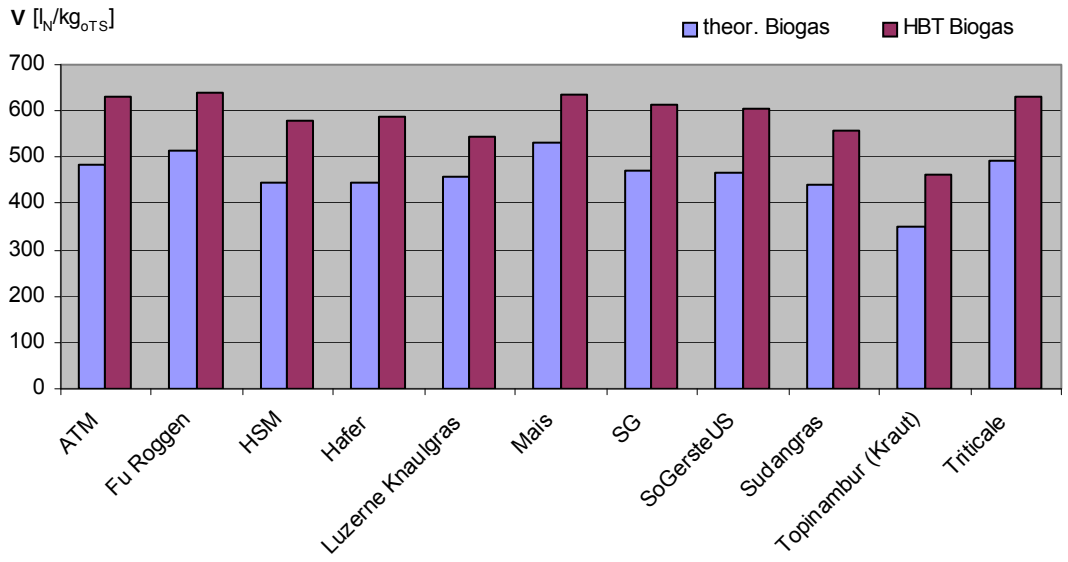


Abb. 11: Theoretischer spezifischer Biogasertrag und Biogasertrag HBT (n=221)

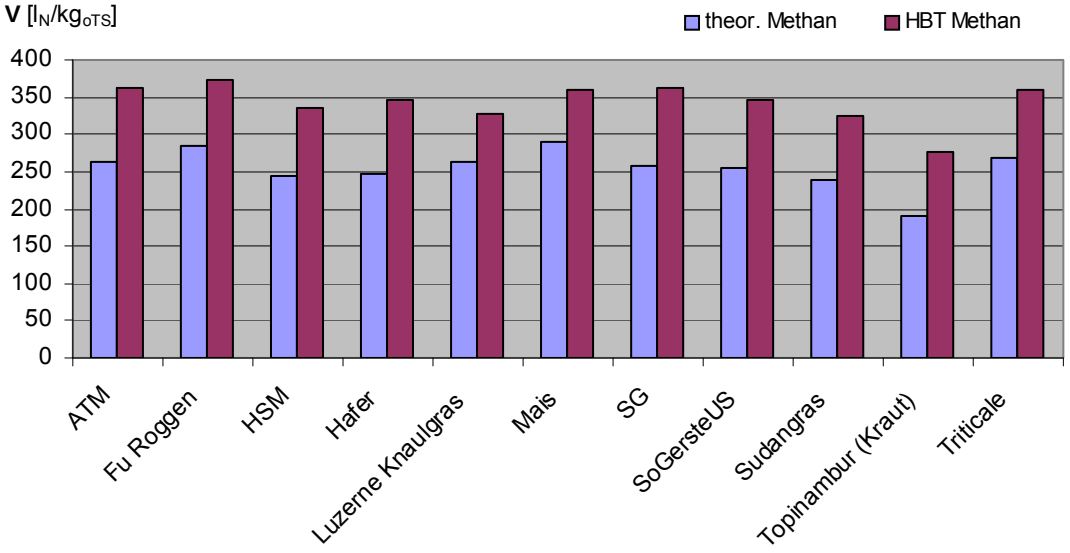


Abb. 12: Theoretischer spezifischer Methanertrag und Methanertrag HBT (n=221)

Für eine ausreichende statistische Absicherung der neuen Formel sind die Schätzgenauigkeiten allerdings noch nicht genügend hoch. Es wird zudem angeraten, möglichst eine hohe Gesamtprobenanzahl zu erreichen (mit n>1000).

Die erbrachten Analysendaten der Proben aus dem EVA I Projekt stellen dabei einen enormen Datenpool dar. Diesem kommt aufgrund seines Umfangs (n>300) eine große Bedeutung zu und kann als unverzichtbar angesehen werden. Da nach Planung das EVA II Projekt von der Probenanzahl ähnlich umfangreich ausfallen wird, wäre es verschenktes Potential ausführliche Untersuchungen der Inhaltstoffe nicht durchzuführen und damit den vollen Umfang des möglichen Datensatzes ungenutzt zu lassen.

Methodenvergleich Gärversuche ATB und Gärversuche HBT

Im Rahmen des EVA Projektes wurden am Agrartechnischen Institut Potsdam-Bornim (ATB) Proben vom Standort Dornburg auf ihren Biogas- und Methanertrag untersucht. Die Gärversuche werden dort mit einem Batchverfahren realisiert. Als Fermenter kommen dabei 1,5 Liter Faulflaschen zum Einsatz, welche bei konstanten 35°C in einem Wasserbad gelagert werden. Die Erfassung der Gasmenge erfolgt über Milligascounter. Um eine Vergleichbarkeit der beiden Methoden der Gärversuche zu untersuchen wurden die gleichen Proben, welche auch im HBT zur Untersuchung kamen, an das ATB geschickt. Die Ergebnisse sind in der Diplomarbeit von Herrn Armin Kretschmer ausführlich ausgewertet worden (Biogas- und Methanpotenziale unterschiedlicher Fruchtarten im Energiepflanzenanbau unter Berücksichtigung des Messsystems, Diplomarbeit, 2007). Hier erfolgt nochmals eine Darstellung der Ergebnisse unter Berücksichtigung aktueller Daten (HBT). Wie in Abb. 13 zu sehen ist, werden mit dem HBT leicht höhere Gaserträge als am ATB erreicht. Bei dem Mais und dem Triticale liegt die Differenz nur bei ca. 2 l_N/kg_{oTS} bzw. 6 l_N/kg_{oTS}. Die Ausnahme bilden hierbei Luzerne-Knaulgras und Topinambur-Kraut, bei denen die Erträge leicht geringer als am ATB ausfallen. Die Unterschiede liegen sonst bei ca. 10 - 20 l_N/kg_{oTS}, nur bei Luzerne-Knaulgras erhöht mit ca. 80 l_N/kg_{oTS}.

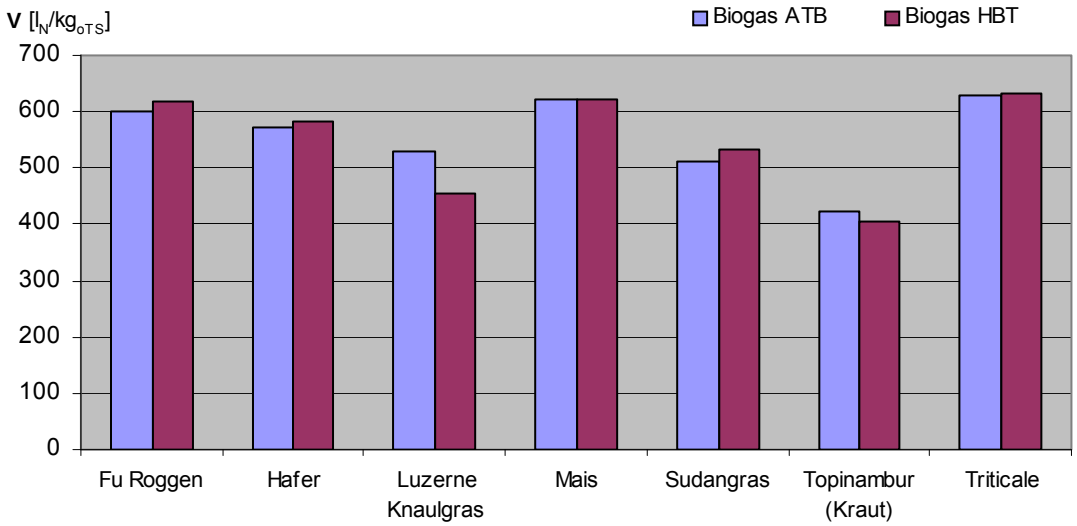


Abb. 13: Spezifische Biogaserträge des ATB und des HBT (n=36)

Betrachtet man die Methanerträge (Abb. 14) zeigt sich, dass wieder die Erträge des HBT, bis auf Ausnahme Luzerne-Knaulgras, höher als die des ATB ausfallen. Dabei liegen nun im Schnitt größere Differenzen (ca. 20 - 50 l_N/kg_{oTS}) als bei den Biogaserträgen vor. Luzerne-Knaulgras weißt mit ca. 60 l_N/kg_{oTS} wieder die größte Differenz auf.

Mit diesen Werten ergibt sich für die Biogaserträge ein R^2 von 0,83 und für die Methanerträge ein R^2 von 0,52 (n=36). Damit liegt die statistische Sicherheit für die Methanausbeute noch nicht ausreichend hoch. Auch wenn sich zwischen den erreichten Gaserträgen z.T. größere Unterschiede zeigen (siehe Luzerne-Knaulgras) so lässt sich die Vergleichbarkeit der Methoden doch als akzeptabel bezeichnen. Bis jetzt hat sich im Bereich der Gärtests noch kein Standardverfahren etabliert und Ergebnisse können oftmals unter verschiedenen

Methoden, und vor allem mit Verwendung unterschiedlicher Impfmaterialien, abweichend ausfallen. Vor allem in Bezug auf die Ergebnisse des Ringversuches Biogas, bei dem eine Vergleichsstandardabweichung (Biogas) s_R von ca. 70 l_N/kg_{oTS} für Mais und eine s_R von ca. 55 l_N/kg_{oTS} für Cellulose und Gras verzeichnet wurde (n=86), liegt der Vergleich ATB/HBT im Bereich Biogasertrag mit einem mittleren Standardfehler von ca. 48 l_N/kg_{oTS} sehr gut. Für den Bereich Methan liegen die Werte trotz größerer Unterschiede und mit einer mittleren Standardabweichung von ca. 40 l_N/kg_{oTS} noch in einem akzeptablen Bereich. Insgesamt allerdings besteht mit einer Probenanzahl von n=36 nur eine geringe statistischen Absicherung.

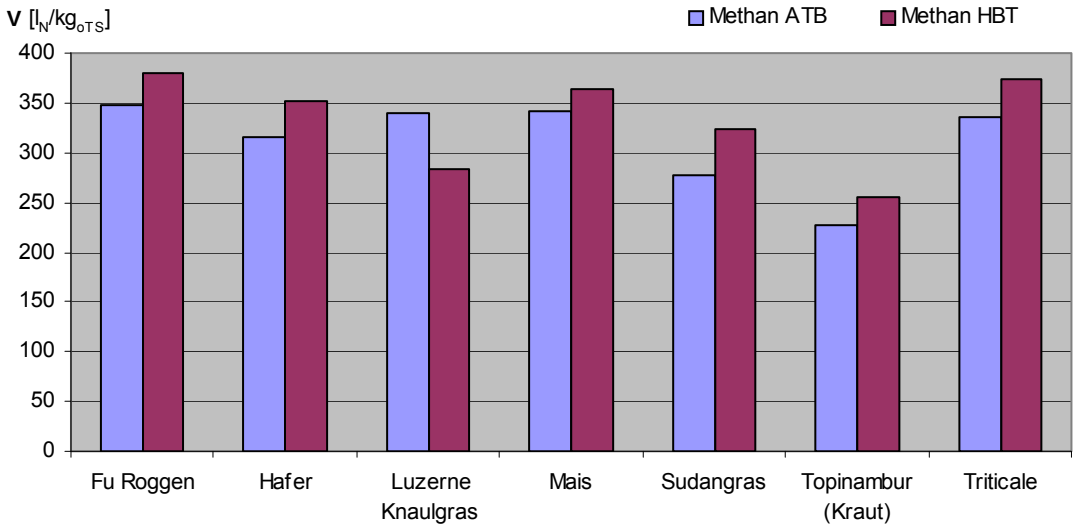


Abb. 14: Spezifische Methanerträge des ATB und des HBT (n=36)

Weitere Aktivitäten

Teilnahme am Ringversuch Biogas VDLUFA

Die VDLUFA führt seit einiger Zeit Ringversuche im Bereich Biogas durch. Im Jahr 2007 konnte die TLL erstmals mit dem HBT daran teilnehmen. Untersucht wurden eine Cellulose- sowie eine Gras- und eine Maisprobe. Geschuldet der kurz vorangegangen Inbetriebnahme des HBT, und der bis dahin wenig gesammelten Erfahrung im Bereich der Gärversuche, konnte nur ein Abschneiden im unteren Feld erreicht werden.

Im März/April 2008 erfolgte die Teilnahme am 3. Ringversuch Biogas des VDLUFA. Untersucht wurden wieder eine Probe Cellulose (mikrokristallin) sowie je eine Probe Maissilage und Grassilage. Dabei konnte ein besseres Abschneiden als im Vorjahr erreicht werden (siehe Anhang, dritte Auswertung Ringversuch Biogas, Labor Nr.2). Die Werte liegen nun im Mittelfeld für die Methanerträge bzw. im unteren Mittelfeld für die Biogasausbeuten und noch innerhalb einer Standardabweichung. Im Normalfall wäre allerdings ein besseres Ergebnis zu erwarten gewesen. Wahrscheinlich funktionierte in diesen Durchgang das Impfmaterial nicht optimal, was vor allem an dem niedrigen Biogasertrag der Cellulose zu erkennen ist. Mit der Verwendung von einem anderen Impfmaterial wird in den Versuchsdurchgängen nun im Durchschnitt für die Cellulose ein Biogasertrag von ca. 700 l_N/kg_{oTS} und ein Methanertrag von ca. 370 l_N/kg_{oTS} erreicht. Damit decken sich die Ergebnisse auch mit den Mittelwerten des Ringversuches gut. Die Fortführung der Ringversuche ist nach momentanem Kenntnisstand für das Frühjahr 2009 geplant. Eine weitere Teilnahme scheint in Hinblick auf die Ver-

gleichbarkeit und Absicherung der gewonnenen Ergebnisse notwendig zu sein, vor allem da neue Proben für die folgenden Versuche angedacht sind.

Mitarbeit im Arbeitskreis Biogas

In Hinblick auf die Aktualität und Entwicklung im Sektor Biogas wurde von der VDLUFA der Arbeitskreis Biogas ins Leben gerufen. Der Grundgedanke ist, fachliche Fragen und Diskussionen, welche von einzelnen Einrichtungen bearbeitet werden, zu bündeln und gemeinsam eine Lösung zu finden. Im März 2008 kam der Arbeitskreis Biogas zur 1. Sitzung zusammen und hat bisher dreimal getagt. Ziele des Arbeitkreises können u.a. wie folgt formuliert werden:

- Substratbewertung hinsichtlich potentieller Biogaserträge (z.B. NIRS)
- Verbesserung Übergang Laborergebnisse zur Praxis (Aussagekraft)
- Praktische Vorgabe zur Probenahme von Fermenterinhalt (Probenahmevorschrift)
- Klarstellung Analyseergebnisse Bezug TM/oTM und korrigierter TM
- Fermentercharakterisierung und Prozessbeschreibung (mit welchen Methoden werden welche Parameter erfasst)

Schwerpunkt der momentanen Tätigkeit ist die Entwicklung einer allgemein anwendbaren Probenahmevorschrift zur Entnahme von Fermenterinhalt einer Biogasanlage. Die nächste Sitzung ist für Anfang 2009 geplant.

Ziele und Ausblick

Als nächstes Ziel steht die abschließende Untersuchung der EVA I Silageproben. Mit diesen Ergebnissen und den Analysedaten soll die Formel zur Schätzung des theoretischen Biogas- und Methanertrags weiter verbessert werden und damit eine möglichst hohe Schätzgenauigkeit erreicht werden. Ein Schwerpunkt ist dabei auch eine Schätzung zu finden, die sich auf einfach zu bestimmende Analyseparameter bezieht. Damit könnte der Aufwand der Untersuchungen, und auch die Kosten, reduziert werden. Für eine ausreichend hohe statistische Absicherung der Formel ist bis jetzt allerdings ein zu geringer Probenumfang vorhanden. Daher wäre es, wie schon erwähnt, sinnvoll mit dem EVA II Projekt eine Weiterführung der Untersuchungen, einmal in Hinblick auf den Biogas- und Methanertrag und einmal in Hinblick auf umfassende Analysedaten, zu realisieren. Zudem sind weitere Untersuchungen angebracht um die bisher erkannten Tendenzen zu bestätigen (Fruchtfolgestellung, Bodenbearbeitung). Vor allem für die Gaserträge in unterschiedlicher Fruchtfolgestellung wäre eine weitere Bestätigung sinnvoll, da diese bisher nur für zwei Fruchtarten (Mais und Sudangras) untersucht werden konnte.

Weiterhin sollte die Teilnahme an den Ringversuchen „Biogas“ fortgeführt werden. Darüber ist ein guter Vergleich der Methode des HBT und der praktischen Durchführung möglich und

auch eine Absicherung der Ergebnisse gegeben. Zudem wird im Rahmen dessen an einer möglichen Annäherung der verschiedenen Methoden der Gärversuche gearbeitet (u.a. in Hinblick auf die Berechnungen) und keinen Zugang zu diesen Informationen zu haben wäre verschenktes Potential.

Arbeiten der Arbeitsgruppe Biogas

Gödeke, K.; Hartung, H.; Nehring, A.; Hengelhaupt, F. (2008) Contents of Phenolic Acids in Different Crop Species, Posterpräsentation, Ferulate ’08-Conference, 25.-27.August 2008, Minneapolis/St. Paul; USA, Tagungsband im Druck

Hengelhaupt; F. (2007) Biogas- und Methanerträge verschiedener Fruchtarten unter besonderer Berücksichtigung des Anbausystems und der Fruchtfolgestellung, Diplomarbeit, FH-Jena, unveröffentlicht

Hengelhaupt, F.; Kretschmer, A.; Vetter, A. (2007) Neue Energiepflanzen und ihre Biogasausbeuten, Posterpräsentation, VDI-Tagung Energietechnik, „Biogas-Energieträger der Zukunft“, 14/15.06.2007, Berlin

Hengelhaupt, F.; Nehring, A.; Gödeke, K. (2008), Biogas- und Methanerträge alternativer Fruchtarten, Posterpräsentation, 120. VDLUFA-Kongress, 16.-19.09.2008, Jena

Hengelhaupt, F.; Nehring, A.; Gödeke, K. (2008), Biogas- und Methanerträge alternativer Fruchtarten, Tagungsband zum 120. VDLUFA-Kongress 16.-19.09.2008 in Jena, Tagungsband im Druck

Kretschmer, A. (2007) Biogas- und Methanpotenziale unterschiedlicher Fruchtarten im Energiepflanzenanbau unter Berücksichtigung des Messsystems, Diplomarbeit, FH-Nordhausen, unveröffentlicht

Kretschmer, A.; Hengelhaupt, F.; Gödeke, K.; Vetter, A. (2007) Neue Energiepflanzen und ihre Biogasausbeuten, Posterpräsentation, 119. VDLUFA-Kongress, 18.-21.09.2007 in Göttingen

Kretschmer, A.; Hengelhaupt, F.; Gödeke, K.; Vetter, A. (2007) Neue Energiepflanzen und ihre Biogasausbeuten, Kongressband zum 119. VDLUFA-Kongress, 18.-21.09.2007 in Göttingen, VDLUFA-Schriftenreihe Bd. 63/2008

Reinhold G.; Gödeke K.: Einfluss von Substrat und Verfahrenstechnik auf Gaserträge und Eigenschaften der Biogas Gülle, 17. OTTI-Symposium Bioenergie, 2008, Kloster Banz, Bad Staffelstein, OTTI Regensburg, ISBN 978-3-934681-87-3, S. 156-161

Seit 2007: Mitarbeit im Ringversuch der KTBL-/FNR-Biogasgruppe im NAROBI-Projekt

Seit 2008: Mitarbeit im VDLUFA-Arbeitskreis Biogas

Bericht

Bonitur von Halmbasis- und Wurzelpathogenen an Weizen- und Roggenpflanzen und Mykotoxinuntersuchung von Weizenkörnern im Untersuchungsjahr 2008 aus dem EVA-Fruchtfolgeversuch

Agrar- und Umweltwissenschaftliche Fakultät
Universität Rostock
Phytomedizin
Prof. Dr. Bärbel Gerowitt

Universität Göttingen
Forschungs- und Studienzentrum Landwirtschaft und Umwelt
Department für Nutzpflanzenwissenschaften - Allgemeine Pflanzenpathologie und Pflanzenschutz

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung 419
1.1 Kurzcharakteristik EVA-Projekt 419
1.2 Versuchsstandorte 419
1.3 Pflanzenbauliche Maßnahmen 419

2 Bonitur der Halmbasis- und Wurzelpathogene 421
2.1 Material und Methoden 421
2.2 Ergebnisse 422

3 Qualitätsuntersuchung 427
3.1 Material und Methoden 427
3.2 Ergebnisse 427

4 Schlussfolgerungen 429

1 Einleitung

Im Rahmen der Zusammenarbeit mit dem EVA-Projekt wurden in Rostock im Untersuchungsjahr 2008 Pflanzenproben hinsichtlich der Halmbasispathogene *Pseudocercosporella herpotrichoides* (Halmbruch), *Rhizoctonia cerealis* (Scharfer Augenfleck), Halmbasis-*Fusarium* und des Wurzelpathogens *Ophiobolus graminis* (Schwarzbeinigkeit) bonitiert. Die untersuchten Proben stammen aus den Abschlusskulturen – Weizen und Roggen – der fünf Standardfruchtfolgen von den sieben EVA-Versuchsstandorten. Darüber hinaus wurden in Göttingen Qualitätsuntersuchungen (Mykotoxinanalyse) an Kornproben aus 5 Fruchtfolgen von 5 ausgewählten Standorten durchgeführt.

1.1 Kurzcharakteristik EVA-Projekt

EVA steht für: Entwicklung und Vergleich von optimierten Anbausystemen für die landwirtschaftliche Produktion von Energiepflanzen unter den verschiedenen Standortbedingungen Deutschlands.

Ziel des EVA-Projektes ist es, ein breiteres Artenspektrum für die Bioenergieversorgung zur Verfügung zu stellen. Schwerpunkt dieses Projektes bildet ein Fruchtfolgeversuch, der durch Landesforschungsanstalten und Landwirtschaftskammern aus 7 Bundesländern in agrarisch unterschiedlichen Regionen parallel umgesetzt wird (EVA Broschüre). Die einheitlich angebauten Fruchtfolgen (Standardfruchtfolgen) umfassen Marktfrüchte und für die Nutzung von Biogassubstraten sowohl etablierte als auch vergleichsweise „neue“ Kulturarten wie Sorghum- Arten (Tab. 1). Verschiedene landwirtschaftliche Kulturen werden so unter den typischen Standortbedingungen Deutschlands auf ihre Ertragsleistung und Eignung als Energiepflanze getestet, um Energiepflanzenfruchtfolgen für die verschiedenen Anbauregionen zu entwickeln.

1.2 Versuchsstandorte

Zu den 7 Versuchsstandorten gehören:

Ascha (BA):	Ackerfutter-Wintergersten-Region der Vor- und Mittelgebirge
Güterfelde (BB):	Roggen-Kartoffel-Region
Trossin (SN):	Roggen-Kartoffel-Region
Ettlingen (B-W):	Körnermais-Sonnenblumen-Region
Werlte (NI):	Futterbau-Veredlungs-Region
Dornburg (TH):	E-Weizen-Region
Gülzow (M-V):	Raps-Weizen-Region

1.3 Pflanzenbauliche Maßnahmen

An allen Standorten wurden 5 verschiedene Fruchtfolgen (Langparzellen in vierfacher Wiederholung) über einen Zeitraum von 2005 bis 2008 angebaut (Tab. 1). In Sachsen und Brandenburg wurde die Hybridroggensorte VISELLO, in Mecklenburg Vorpommern die Weizensorte TORAS, mit einer überdurchschnittlichen Ährenfusariumresistenz, und in den anderen Bundes-

ländern die Weizensorte TÜRKIS angebaut. An nur einem Standort – Thüringen pfluglos – wurde vor der Weizenaussaat nicht gepflügt. Zusätzlich ist es für die Bewertung der Toxinkontamination im Erntegut des Weizens wichtig zu erwähnen, dass an allen Standorten eine Ährenbehandlung (für Baden-Württemberg liegen keine Informationen vor) durchgeführt wurde, wobei die Fungizide INPUT, JUWEL TOP und TASPA eine ausgewiesene Indikation bzw. eine Nebenwirkung gegen Ährenfusariosen aufweisen. Die in Mecklenburg Vorpommern, Brandenburg und Niedersachsen angewandten Fungizide INPUT und die Tankmischung aus CHAMPION+DIAMANT könnten den Befall mit *Pseudocercosporella* vermindert haben (Tab. 2).

Tabelle 1: Standard-Fruchtfolgen an den Versuchsstandorten (EVA-Broschüre)

Fruchtfolge	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**
2005	**Sommergerste Ölrettich** (So-Zwischenfr.)	**Sudangrashybride**	**Mais**	**Sommergerste Untersaat Luzerne- oder Kleegras**	**Hafer-Sortenmischung**
2006	**Mais**	**Grünschnittroggen Mais** (Zweitfrucht)	**Grünschnittroggen Sudangrashybride**	**Luzerne- oder Kleegras**	**Wintertriticale**
2007	**Wintertriticale Futterhirse** (So-Zwischenfr.)	Wintertriticale	**Wintertriticale/ Weidelgras** (So-Zwischenfr.)	**Luzerne- oder Kleegras**	Winterraps
2008*	Winterweizen*	Winterweizen*	Winterweizen*	Winterweizen*	Winterweizen*

* an den Standorten BB und SN wird standortbezogen Winterroggen als Abschluss-Fruchtfolgeglied angebaut

Tabelle 2: Übersicht der angewandten Fungizide in den Bundesländern

	BA	BB	BW	MV	NI	SN	TH	TH pfluglos
Input				x	x			
Input + Insektizid		x						
Gladio + Amistar					x			
Acanto						x		
Juwel Top							x	x
Champion + Diamant				x				
2x Taspa	x							
Bravo 500				x				

2 Bonitur der Halmbasis- und Wurzelpathogene

2.1 Material und Methoden

An jedem Versuchsstandort wurden jeweils 10 Pflanzen aus ca. 10 cm Tiefe pro Parzelle (4 Wiederholungen) der fünf Standardfruchtfolgen (FF 1-5) zum Zeitpunkt der Milchreife (BBCH 73-79) entnommen. Dabei wurden die Weizen- bzw. Roggenpflanzen grob von anhaftender Erde befreit und zumeist auf oberhalb des zweiten Bestockungsknoten verkürzt. Die Pflanzenproben wurden in nicht luftdicht verschlossenen Beuteln nach Rostock versand.
Um die Halmbasis bzw. den Wurzelbereich bonitieren zu können, wurden diese Pflanzenteile mit Leitungswasser gereinigt und bei stark anhaftender Erde in Wasser eingeweicht. Anschließend erfolgte die Befallsermittlung, bei der Blätter und Blattscheiden vom Halm entfernt wurden, um diesen visuell beurteilen zu können.
Bei der Bonitur wurden die Halmbasispathogene *Pseudocercosporella herpotrichoides*, *Rhizoctonia cerealis* und *Fusarium spp.* sowie der Wurzelpathogen *Gaeumannomyces graminis tritici* / *Ophiobolus graminis* erfasst.

Für die Befallsbeurteilung der Halmbasis- und Wurzelpathogene wurde ausschließlich zwischen gesunden und infizierten Pflanzen unterschieden. Außerdem wurde die Anzahl bonitierter Pathogene pro Pflanze ermittelt.

Die Daten wurden mit Hilfe von R (R Development Core Team (2008). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0, URL http://www.R-project.org.) ausgewertet.

2.2 Ergebnisse

Von den erhobenen Daten wird die Befallshäufigkeit, d.h. den prozentualen Anteil befallener Pflanzen bzw. Pflanzenteile an der Gesamtzahl betrachtet.

Das Untersuchungsjahr 2008 war bezüglich der Halmbasis- und. Wurzelpathogene ein eher „gesundes“ Jahr. Die Ausnahme bildeten Infektionen mit *Fusarien spp.*, die an drei Standorten hohe Befallshäufigkeiten > 30 % erreichten. In Sachsen und Brandenburg wurde als Abschlusskultur Roggen angebaut. Aufgrund der geringeren Anfälligkeit gegenüber *Fusarium spp.*, tritt an den Roggenstandorten dieser Erreger mit geringen Befallshäufigkeiten von 4 bzw. 3 % auf. *Pseudocercosporella* trat an 4 Standorten mit Befallshäufigkeiten zwischen 10 - 20 % auf. *Ophiobolus* und *Rhizoctonia* konnten nur in Brandenburg bzw. Bayern in nennenswertem Umfang mit > 10 % Befallshäufigkeit bonitiert werden (Tab. 3). Außerdem traten Einzelinfektionen häufiger auf als Mischinfektionen. Höhere Befallshäufigkeiten an einem Standort weisen auch eine höhere Anzahl an Mischinfektionen auf (Tab. 3). Die bonitierte Anzahl verschiedener Pathogene an einer Pflanze unterschied sich jedoch nicht signifikant von der berechneten Wahrscheinlichkeit für Einzel- oder Mischinfektionen mit zwei oder mehreren Erregern, d.h. die These, dass eine bereits mit einem Erreger infizierte Pflanze, auch eher von einem weiteren Erreger infiziert wird, triFruchtfolget nicht zu.

An dieser Stelle ist anzumerken, dass die Pflanzen teilweise erst 7 Tage nach der Beprobung bonitiert wurden, und dass durch die Zeitverzögerung möglicherweise Verbräunungen verstärkt wurden, die bei der Bonitur von O*phiobolus* zu einer höheren Befallseinstufung führten.

Der Vergleich der Befallshäufigkeiten je Standort und Erreger zeigt, dass das Auftreten der einzelnen Erreger stärker vom Standort als von der Fruchtfolge beeinflusst wird: Die Höhe der Befallshäufigkeit variiert zwischen den Fruchtfolgen weniger als zwischen den Standorten (Abb. 1). Aufgrund des geringen Infektionsdruck mit *Ophiobolus, Pseudocercosporella* und *Rhizoctonia* im Untersuchungsjahr 2008 wird ausschließlich näher auf den Befall mit *Fusarium spp.* eingegangen In Bayern, Baden-Württemberg und Niedersachsen war die Fruchtfolge 3 die „gesündeste“ Fruchtfolge hinsichtlich des Befalls mit *Fusarium spp.*. An zwei Standorten wiesen die Fruchtfolgen 5 (Brandenburg und Thüringen pfluglos) bzw. 2 (Sachsen und Thüringen) die geringsten Befallshäufigkeiten auf. In Mecklenburg Vorpommern konnte Fruchtfolge 1 als „gesündeste“ Fruchtfolge ermittelt werden.

Tabelle 3: Befallshäufigkeiten (%) an den Standorten im Jahr 2008 summiert über die Fruchtfolgen (n = 200), sortiert nach Höhe der Befallshäufigkeit

Bundesland	*Fusarium*	*Ophiobolus*	*Pseudocer-cosporella*	*Rhizoctonia*	Einzel-infektion	Misch-infektion	Krank	Gesund
SN	4	1	5	0	9	1	9	91
BB	3	14	5	0	15	4	18	82
MV	15	0	2	4	20	0	20	80
BW	37	4	20	0	50	4	55	45
TH (pfluglos)	64	0	12	3	59	10	69	31
TH	67	0	10	3	64	9	73	27
NI	75	3	6	8	70	11	81	19
BA	74	0	11	17	64	19	82	18

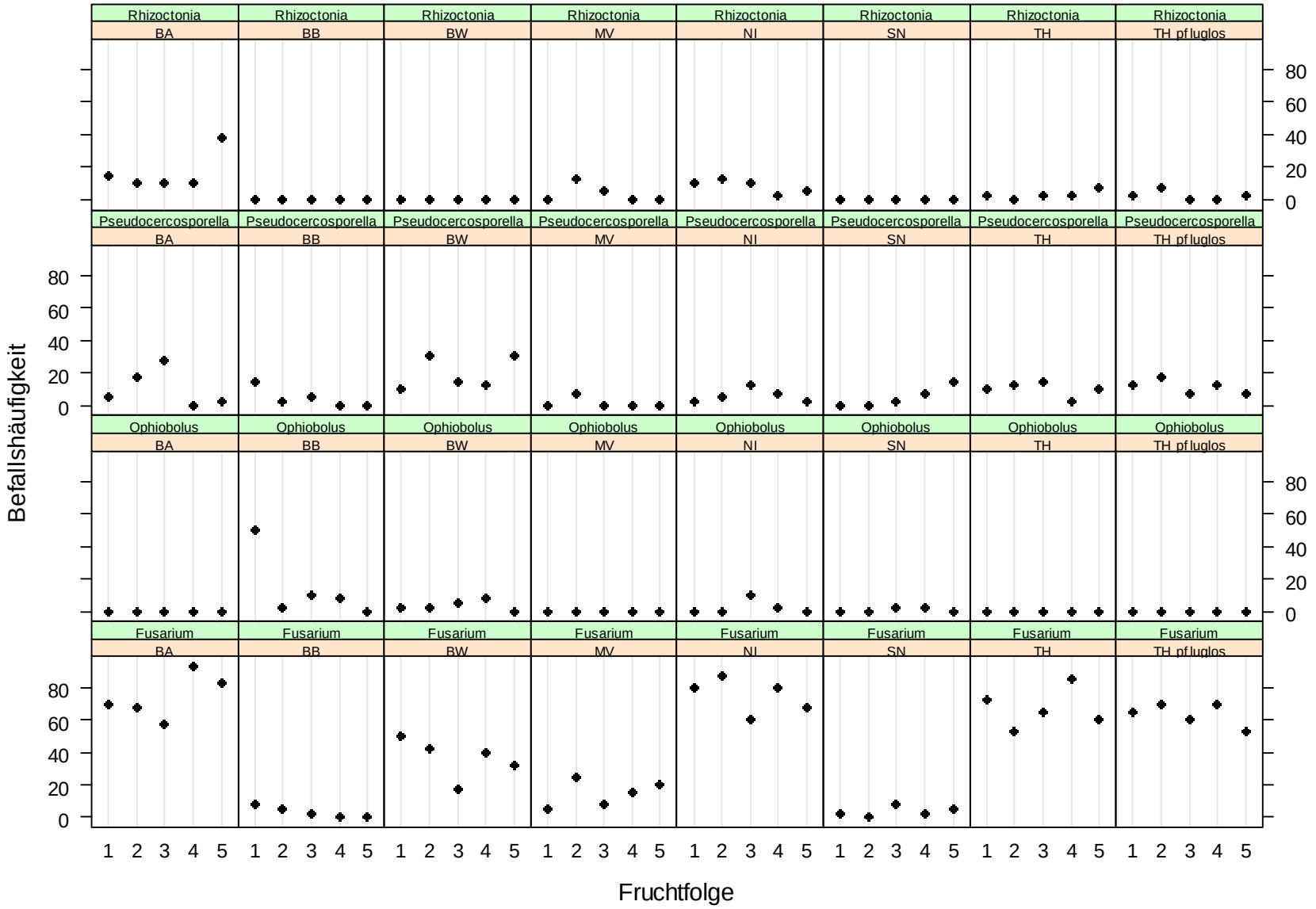


Abbildung 1: Befallshäufigkeiten (%) je Standort und Erreger, n = 40

Auch bei der statistischen Auswertung wurden ausschließlich die Halmbasis-Fusarien berücksichtigt, da sich die Datensätze der übrigen Krankheitserreger aufgrund der geringen Befallsintensitäten statistisch nicht auswerten ließen. Die Roggenstandorte wurden bei den Auswertungen zum Auftreten von *Fusarium spp.* ebenfalls ausgeschlossen, da Roggen gegenüber *Fusarium spp*. eine geringere Anfälligkeit aufweist als Weizen und somit keine Vergleichbarkeit zwischen den Roggen- und Weizenstandorten besteht.

Boxplots vermitteln einen ersten Einblick in welchem Bereich die Daten liegen und wie sich die Daten über diesen Bereich verteilen (Abb. 2). Neben den verschiedenen Streuungs- und Lagemaßen – dem Median, den zwei Quartilen und den beiden Extremwerten – weist der Boxplot Einkerbungen in der „Box" auf. Wenn diese Einkerbungen von 2 Boxplots sich nicht überlappen, ist anzunehmen, dass sich die zwei Mediane signifikant unterscheiden. [1] Mithilfe der Boxplots ist grafisch die Häufigkeit des Fusariumbefalls aus den einzelnen Parzellenboniturен (n=10) darstellt. Die Daten wurden einerseits je Fruchtfolge über alle Standorte und andererseits je Standort über alle Fruchtfolgen summiert zusammengefasst (Abb. 2). Betrachtet man den Einfluss der Fruchtfolge auf das Infektionsgeschehen von *Fusarium spp.* summiert über alle Standorte, so sieht man, dass die Fruchtfolge 4 am stärksten von diesem Erregerkomplex betroffen war, der Median liegt bei 7 befallenen Halmen je Wiederholung. Trotz des hohen Anbauumfangs von Getreide und Mais war Fruchtfolge 3 am geringsten mit *Fusarium spp.* infiziert, der Median liegt bei ca. 5,5 befallenen Halmen je Wiederholung. Signifikante Unterschiede zwischen den Fruchtfolgen können anhand der Boxplots jedoch nicht festgestellt werden (Einkerbungen überlappen sich). Vergleicht man die Standorte über alle Fruchtfolgen miteinander treten zwischen den Standorten signifikante Unterschiede auf: Mecklenburg Vorpommern wies im Vergleich mit allen anderen Standorten den signifikant geringsten Befall mit Halmbasis-Fusarien auf. Auch Baden-Württemberg unterschied sich signifikant von den Standorten Bayern, Niedersachsen und Thüringen, die alle ein ähnlich hohes Infektionsniveau mit *Fusarium spp.* aufwiesen.

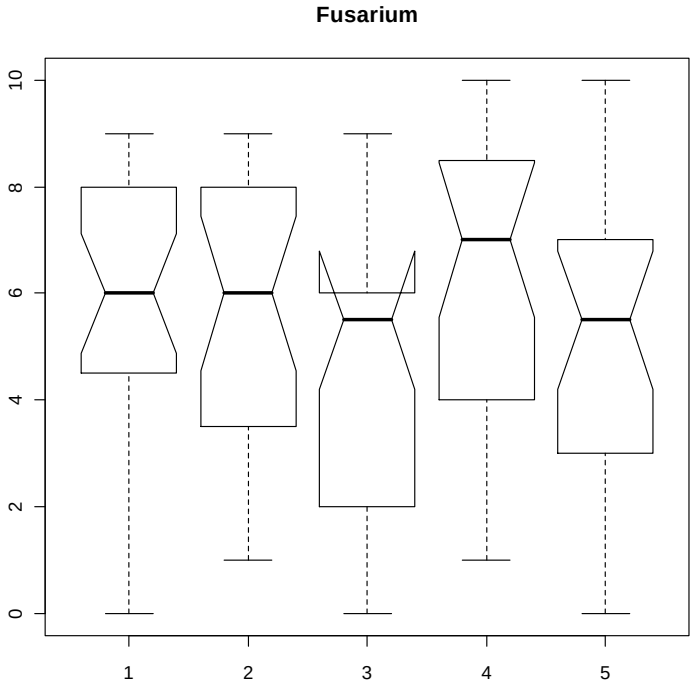
Die Varianzanalyse (glm-Modell, quasibinomiale Verteilung zugrunde gelegt) wurde sowohl über alle Standorte und Fruchtfolgen summiert als auch für jeden Standort getrennt durchgeführt. Mithilfe des glm-Modells kann einerseits der Zusammenhang zwischen der abhängigen (Befall mit *Fusarium spp.*) und den unabhängigen Variablen (Standort und Fruchtfolge) bewertet und andererseits signifikante Unterschiede zu einer Referenzgröße festgestellt werden.

Als Referenz wurde bei der Varianzanalyse der „gesündeste" Standort und die „gesündeste" Fruchtfolge festgelegt, im Falle von *Fusarium spp*. wies Mecklenburg Vorpommern und die Fruchtfolge 3 den geringsten Befall auf. Im Gegensatz zu den Standorten hatten die Fruchtfolgen einen sehr geringen Einfluss auf den Befall mit *Fusarium spp*.: 55 % der Varianz konnte durch den Einfluss des Standortes und nur 4,2 % der Varianz durch den Einfluss der Fruchtfolge erklärt werden (R^2 = 55% bzw. 4,2%). Signifikante Unterschiede bestanden zwischen dem Referenzstandort Mecklenburg Vorpommern und den übrigen Weizenstandorten und zwischen der Referenzfruchtfolge 3 und den Fruchtfolgen 1, 2 und 4.

Bei der Varianzanalyse für jeden einzelnen Standort wurden in Mecklenburg Vorpommern und Thüringen pfluglos keine signifikanten Unterschiede zwischen den Fruchtfolgen festgestellt. In Bayern, Baden-Württemberg und Niedersachsen wies Fruchtfolge 3 den geringsten

[1] Chambers, J. M., Cleveland, W. S., Kleiner, B. and Tukey, P. A. (1983) *Graphical Methods for Data Analysis.* Wadsworth & Brooks/Cole, p.62.

Befall mit *Fusarium spp*. auf und von dieser Fruchtfolge waren die Fruchtfolge 4, 1 bzw. 2 signifikant unterschiedlich. In Thüringen konnten signifikante Unterschiede zwischen der „gesündesten“ Fruchtfolge 2 und der Fruchtfolge 4 festgestellt werden.



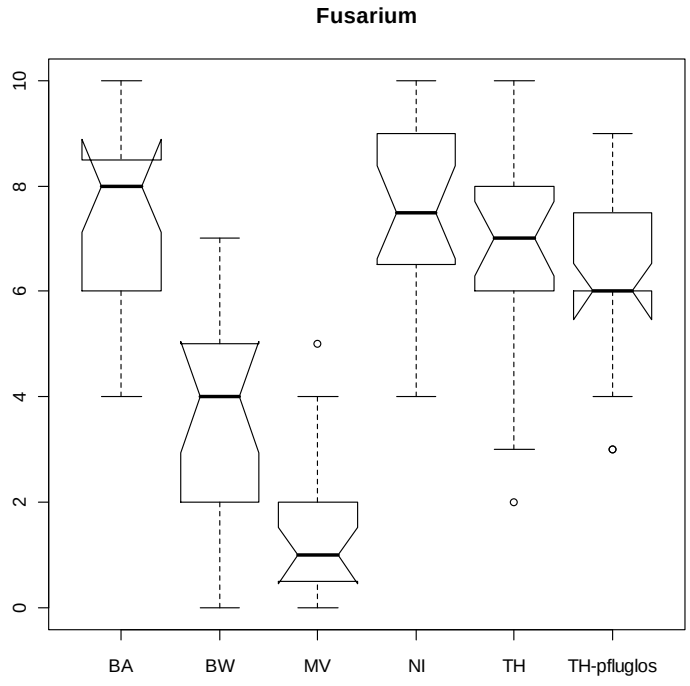


Abbildung 2.: Darstellung des Befalls mit Halmbasis-Fusarien aus den einzelnen Parzellenbonituren (n=10) in Boxplots je Fruchtfolge (summiert über alle Standorte) und je Weizenstandort (summiert über alle Fruchtfolgen)

3 Qualitätsuntersuchung

3.1 Material und Methoden

Die Qualitätsuntersuchungen (Mykotoxinanalyse) wurden an Kornproben aus 5 Fruchtfolgen von 5 ausgewählten Standorten (Niedersachsen, Baden-Württemberg, Thüringen - Pflug und pfluglos - und Bayern) durchgeführt. Dabei wurden 100 Kornproben (n = 4) gereinigt, gemahlen und durch einen quantitativen ELISA (Ridascreen® DON Elisa-Kit, Fa. Biopharm, Darmstadt) auf den Gehalt von Deoxynivalenol (DON) geprüft.

3.2 Ergebnisse

Die Analysen ergaben, dass die Kornbelastung durch DON in den unterschiedlichen Fruchtfolgen und an den 5 Standorten im Untersuchungsjahr 2008 relativ gering war (Tab. 4 und 5). Die signifikant höchsten Werte konnten in Bayern (273,77 µg DON/kg TM) und Thüringen (Standort mit Minimalbodenbearbeitung, 127,32 µg DON/kg TM) nachgewiesen werden. Am Standort in Niedersachsen (nördliches Bundesgebiet) wurden die signifikant geringsten Toxinwerte (4,98 µg DON/kg TM) ermittelt (Tab. 4). Zwischen den beiden Standorten in Thüringen mit unterschiedlicher Bodenbearbeitung konnte zwar kein signifikanter Unterschied ermittelt werden, aber im Trend war der Toxingehalt in den Proben vom Standort mit wendender Bodenbearbeitung (Pflug) geringer. Auffallend ist, dass am Standort in Bayern trotz wendender Bodenbearbeitung und einer Ährenapplikation gegen Ährenfusariosen (0,5l/ha Taspa) hier die signifikant höchsten Toxinwerte im Vergleich zu den anderen Standorten, gepoolt über die 5 Standardfruchtfolgen, auftraten (Tab. 4).

Tabelle 4: DON-Kontamination (µg/kg TM) in reifen Kornproben (Winterweizen) von 5 verschiedenen Standorten. Abweichende Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Standorten auf dem Niveau p=0,05 nach Fisher LSD-Test, n=20.

Standort	DON-Gehalt (µg/kg TM)	Gruppenrang
Niedersachsen	4,98	a
Baden-Württemberg	42,46	ab
Thüringen - Pflug	115,9	ab
Thüringen - pfluglos	127,32	b
Bayern	273,77	c

Die signifikant höchsten Toxinwerte in den einzelnen Standardfruchtfolgen (1-5) gemittelt über alle Standorte konnten in der FRUCHTFOLGE 1 mit im Mittel 246,54 µg DON/kg TM festgestellt werden. Die weiteren Fruchtfolgen unterschieden sich nicht signifikant voneinander (Tab. 5).

Tabelle 5: DON-Belastungen (µg/kg TM) in reifen Kornproben (Winterweizen) aus 5 verschiedenen Standardfruchtfolgen gepoolt von 5 Standorten. Abweichende Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede zwischen den Fruchtfolgen auf dem Niveau p=0,05 nach Fisher LSD-Test, n=20.

Fruchtfolge	DON-Gehalt (µg/kg TM)	Gruppenrang
1	246,54	a
2	59,11	b
3	67,74	b
4	115,30	b
5	75,74	b

Gruppiert nach den einzelnen Standorten zeigten die Toxinwerte der einzelnen Fruchtfolgen nur an den Standorten in Niedersachsen (Nds.), Baden-Württemberg (Ba-Wü) und Thüringen mit Pflugbearbeitung (Thür.- Pflug) signifikante Unterschiede (Abb. 3).

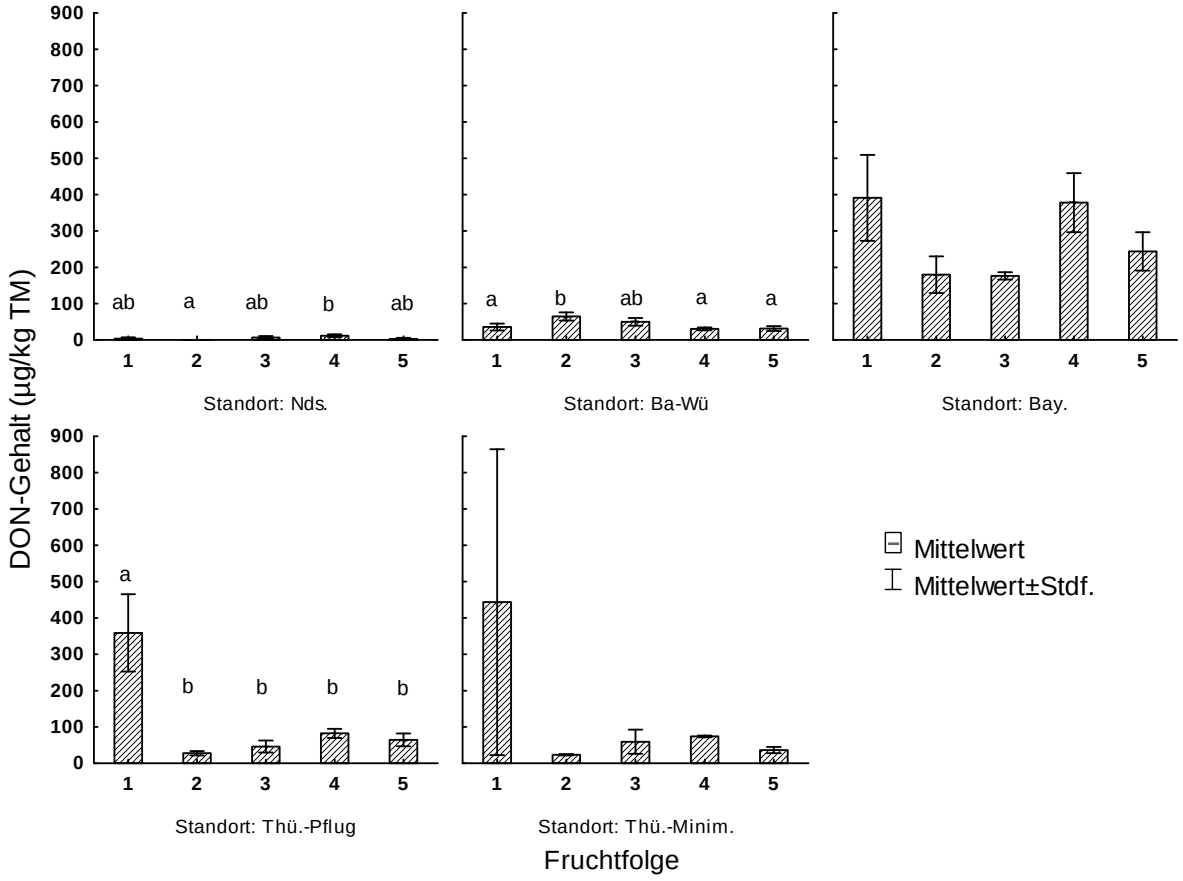


Abbildung 3: Toxinmengen (µg/kg TM) in Kornproben (Winterweizen) der einzelnen Standardfruchtfolgen 1-5, differenziert nach Standorten. Verschiedene Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede auf dem Niveau p=0,05 nach Fisher LSD-Test, n=4. Pflanzenbauliche Maßnahmen und Fruchtfolgeglieder siehe Tabellen 1 u. 2.
Nds. = Niedersachsen; Ba-Wü = Baden-Württemberg; Bay. = Bayern;
Thü.-Pflug = Thüringen, Pflugbodenbearbeitung;
Thü.-Minim. = Thüringen, Minimalbodenbearbeitung

Am Standort Niedersachsen wurde auf sehr niedrigem Niveau ein signifikanter Unterschied zwischen den Fruchtfolge 2 (0,0 µg DON/kg TM) und 4 (11,61 µg DON/kg TM) ermittelt. In Baden-Württemberg hingegen hebt sich der mittlere Toxinwert der Fruchtfolge 2 (64,63 µg DON/kg TM) signifikant von den übrigen Fruchtfolge-Varianten ab. Die analysierten Toxinmengen in den Proben vom Standort in Thüringen mit Pflugbodenbearbeitung zeigten, dass in der Fruchtfolge 1 (443,42 µg DON/kg TM) der signifikant höchste DON-Wert im Vergleich zu den anderen ermittelt wurde.

4 Schlussfolgerungen

Aufgrund der trockenen Witterung im Frühsommer 2008 ist der Infektionsdruck mit Halmbasis- und Wurzelpathogenen gering gewesen, nur *Fusarium spp*. erreichte an einigen Standorten hohe Befallshäufigkeiten von > 30 %. Wegen des sehr geringen Infektionsdruck *Ophiobolus*, *Pseudocercosporella* und *Rhizoctonia* konnten die Boniturdaten nicht weiter ausgewertet werden.

Hinsichtlich des Befalls mit *Fusarium spp*. konnten signifikante Unterschiede zwischen dem „gesündesten“ Standort Mecklenburg Vorpommern und allen übrigen Weizenstandorten festgestellt werden. Mecklenburg Vorpommern war der einzige Weizenstandort, an dem die Weizensorte TORAS mit einer sehr geringen Anfälligkeit für Ährenfusarium angebaut wurde. Möglicherweise lässt sich diese geringe Anfälligkeit auf Halmbasis-Fusarien übertragen und erklärt somit den signifikant geringen Befall mit diesem Erregerkomplex. Im Gegensatz zum Standort hatten die Fruchtfolgen im Untersuchungsjahr einen sehr geringen Einfluss auf das Auftreten von Halmbasis-Fusarien, deshalb müssen signifikante Unterschiede zwischen den Fruchtfolgen summiert über alle Standorte vorsichtig bewertet werden. Außerdem können Fruchtfolgeeffekte aufgrund der für Fruchtfolgeversuche kurzen Versuchsdauer noch nicht erwartet werden.

Allgemein gilt die Witterung (d.h. Regenfälle zum anfälligen Stadium der Blüte des Weizens) als größter Einflussfaktor auf eine mögliche Mykotoxinkontamination des Ernteguts. Durch die trockene Witterung sind daher nicht nur der geringe Infektionsdruck von Halmbasis- und Wurzelpathogenen, sondern auch die niedrigen Toxinwerte zu erklären. Trotz des niedrigen Niveaus konnten signifikante Unterschiede festgestellt werden. Die Fruchtfolge 1 (ermittelt über alle Standorte) zeigt somit den signifikant höchsten Toxinwert. Die Vorfrucht wird neben der Witterung als eine wichtige Einflussgröße auf ein mögliches Toxinrisiko angesehen, dabei nimmt gerade der Mais eine - im negativen Sinn - herausragende Stellung ein. Die „Risiko-Vorfrucht“ Mais kommt in der Fruchtfolge 1 vor, sie steht interessanterweise schon im Sommer 2006 in dieser Fruchtfolge. Somit steht hier der Mais als Vor-Vorfrucht. Auch in der Fruchtfolge 2 (59,11 µg DON/kg TM) wurde der Mais als Vor-Vorfrucht im Jahr 2006 angebaut, doch hier ist der Toxinwert signifikant geringer im Vergleich zur Fruchtfolge 1 (246,54 µg DON/kg TM). Der Grund für diesen Unterschied könnte in der spezifischen Vorfruchtkombination mit Mais liegen. Denn in der Fruchtfolge 1 wurde im Unterschied zur Fruchtfolge 2 eine Sommerzwischenfrucht (Futterhirse) angebaut. Diese könnte das Fusariuminokulum verstärkt haben und somit die signifikant höheren Toxinwerte im Weizen der Fruchtfolge 1 verursacht haben.