



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

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. Arlett Nehring
Dipl.-Ing. agr. S. Köhler
Dipl.-Ing. agr. Annegret Thiele
Dipl.-Ing. (FH) D. Freund

Dornburg, Juni 2009

(P. Ritschel)
Präsident

(Dr. habil. A. Vetter)
Projektleiter

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
2	Material und Methoden	2
2.1	Standortcharakteristik	2
2.2	Witterungsverlauf und Klimatische Wasserbilanz	2
2.3	Versuchsdurchführung	5
2.4	Berechnungsgrundlagen	6
2.4.1	Nährstoffbilanz (N, P, K)	6
2.4.2	Humusbilanz	7
2.4.3	Theoretische Biogas- und Methangasausbeute	7
2.4.4	Statistik	7
3	Ergebnisse und Diskussion	8
3.1	Frischmasse- und Trockenmasseerträge	8
3.2	Winterweizenerträge	11
3.3	Nährstoffbilanz	12
3.4	Humusbilanz	17
3.5	Theoretische Biogas- und Methangasausbeute	19
3.6	Anbauempfehlungen für die Region	21
4	Zusammenfassung	22
5	Literatur	23
6	Anhang	24

1 Einleitung

Mit der zunehmenden Nachfrage an 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 (Ut₄).

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; IM 73,0 mm) folgte der Juli mit 74,0 mm (IM 66, mm) Niederschlag. Der August war im Vergleich zum langjährigen Mittel (15,9 °C; IM 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 mildereren Temperaturen auf, was eine Feststellung der Vegetationsruhe erheblich erschwerte. Das Versuchs-

Das Jahr **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 Panman-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 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.

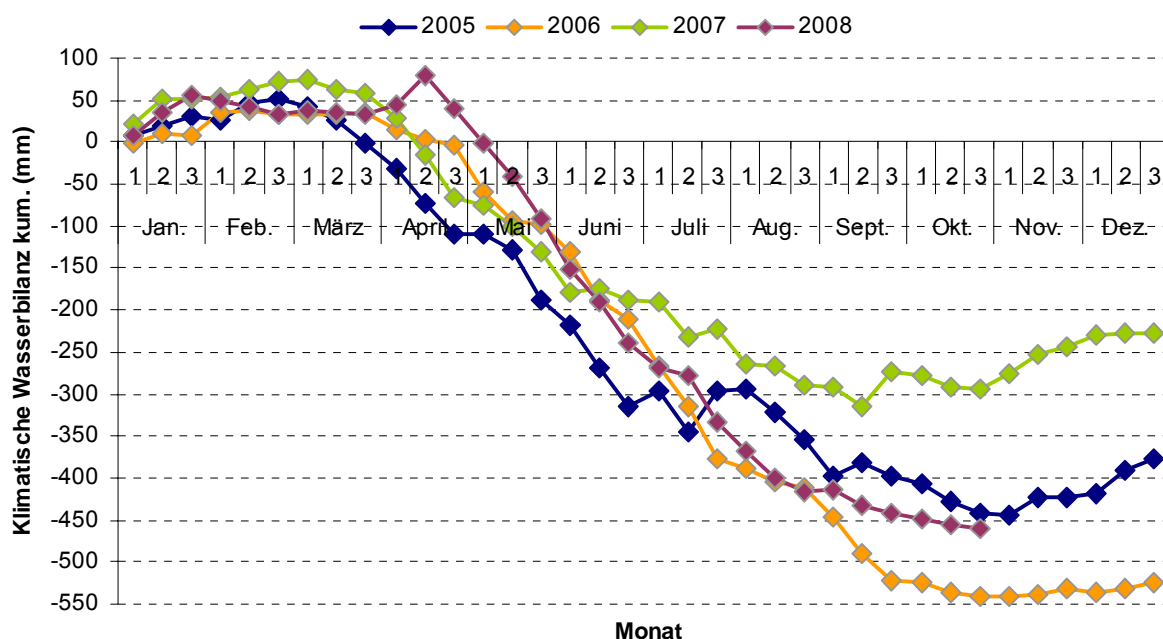


Abbildung 1: KWB der Jahre 2005 bis 2008 am Standort Dornburg.

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) / Örettich (SZF)	Sudangras / WZF Futterroggen	Mais / WZF Futterroggen	SG + US Luzerne o. Klee gras	Hafersortenmischung (GPS)	Hafer (GPS)	Energiemais	Topinamburkraut
2006/2007	Mais (HF)	Mais (ZF)	Sudangras (ZF)	Luzerne o. Klee gras	Wintertriticale (GPS)	Artenmischung WT/WW/WG (GPS)	Energiemais	Topinamburkraut
2007/2008	Wintertriticale (GPS) / SZF Zuckerhirse	Wintertriticale (Korn)	Wintertriticale (GPS) / einj. Weidelgras	Luzerne o. Klee gras	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-Methode¹. Als Stickstoffdünger wurde hauptsächlich Kalkammonsalpeter (KAS 27% N) eingesetzt. Teilweise erfolgte der Einsatz von Ammoniumsulfat (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, Örettich 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 Mähdrösch bei den Druschfrüchten zum Einsatz. Die Pflanzen zur Nutzung als Ganzpflanze, wie Mais und Hirsen wurden, mit dem

¹ SBA-Methode- Stickstoffbedarfsanalyse, Düngung in Thüringen 2007 nach „Guter fachlicher Praxis“

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 Landwirtschaft 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, NO₃-Auswaschung und N₂-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 ($\text{kg Humus-C ha}^{-1}$) aus der VDLUFA-Methode zurückgegriffen wird. Zu beachten ist, dass der Humusbilanzsaldo im Bereich zwischen -75 kg und $+125 \text{ kg Humus-C/ha/Jahr}$ liegen sollte bzw. den Wert von $-75 \text{ kg Humus C/kg/Jahr}$ 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 Dunnett 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 Fruchtfolgeeffekt 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 229,8 dt TM/ha bei konventioneller und 217,2 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 175,5² dt TM/ha und 163,3³ dt TM/ha sowie Mais (Fruchtfolge 3) mit 163,5 dt TM/ha und 164,1 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; 146,5 dt TM/ha v.s. 131,1 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 54,24 dt TM/ha und 67,24 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. 78,0 dt TM/ha. Die Sommerzwischenfrucht Zuckerhirse erreichte Erträge auf dem Niveau der WZF Futterroggen (57,4 dt TM/ha v.s. 65,0 dt TM/ha). Das einjährige Weidelgras liegt dagegen mit 35,5 dt TM/ha bzw. 37,6 dt TM/ha deutlich unter der Zuckerhirse und dem Futterroggen. Die Sommergetreidearten (Sommergerste, Hafer) lagen im Ertrag deutlich hinter den Wintergetreiden (Wintertriticale und Artenmischung). Winterraps erreichte standorttypische Kornerträge, je-

² Konventionelle Bodenbearbeitung

³ Minimalbodenbearbeitung

doch ergibt sich zwischen Fruchtfolge 5 und 6 eine Ertragsdifferenz von 4,5 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.

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).

Gesamt-trockenmasseerträge der Fruchtfolgen

In Abbildung 2 und 3 sind die Trockenmasseerträge der Fruchtfolgen bei konventioneller Bodenbearbeitung und minimaler Bodenbearbeitung dargestellt. Den höchsten Gesamt-trockenmasseertrag über die Versuchsjahre erreichte Fruchtfolge 7 (522,0 dt TM/ha v.s. 523,3 dt TM/ha), dicht gefolgt von der Fruchtfolge 3 mit 488,0 dt TM/ha bzw. 472,7 dt TM/ha. Wird bei Topinambur nur die oberirdische Biomasse betrachtet, so erreichte dieser einen Gesamtertrag von 473,0 dt TM/ha und liegt knapp hinter der Fruchtfolge 3. Bei den Fruchtfolgen 1 und 2 liegt der Energiepflanzenanteil bei 66,6 % bzw. 60,0 %. Mit der Fruchtfolge 1 wurde ein Gesamtertrag von 449,8 dt TM/ha bzw. 444,3 dt TM/ha erzielt, wohingegen die Erträge der Fruchtfolge 2 bei 431,0 dt TM/ha bzw. 419,6 dt TM/ha lagen. Deutlich geringere Erträge erreichten die Fruchtfolgen 5 und 6 mit 263,5 dt TM/ha und 241,2 dt TM/ha. Bei den beiden Fruchtfolgen handelt es sich um Getreide-Raps-Fruchtfolgen, wohingegen in den Fruchtfolgen 1, 2 und 3 C₃- und C₄-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).

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

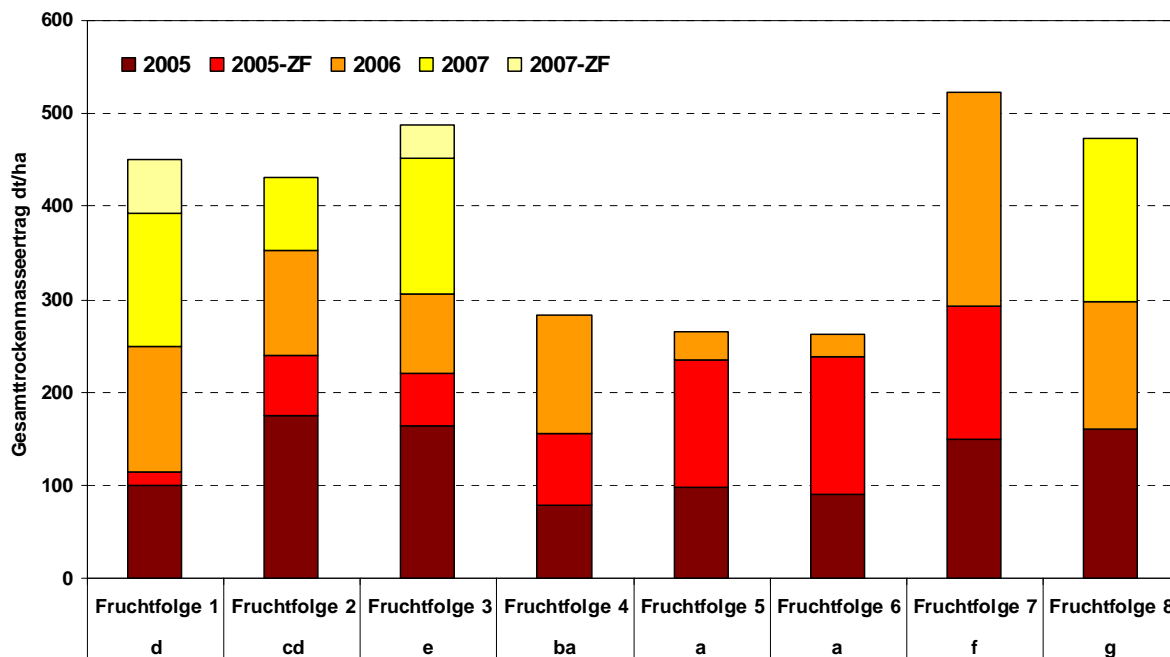


Abbildung 2: Aufsummierte Erträge der einzelnen Fruchfolgen Anlage I (05) konventionelle Bodenbearbeitung, dargestellt sind die arithmetischen Mittelwerte mit n=4, die Zeichen a-g bezeichnen signifikante Unterschiede.

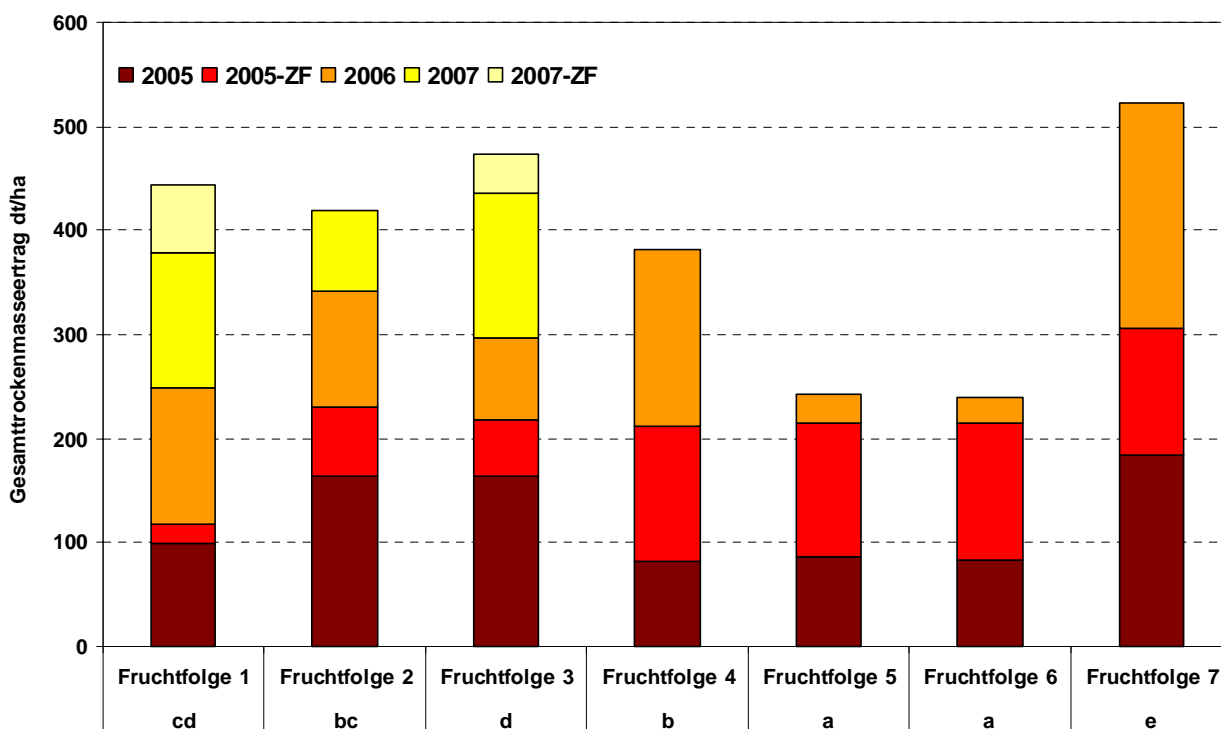


Abbildung 3: Aufsummierte Erträge der einzelnen Fruchfolgen Anlage I (05) minimale Bodenbearbeitung, dargestellt sind die arithmetischen Mittelwerte mit n=4, die Zeichen a-g bezeichnen signifikante Unterschiede.

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 114,4 dt /ha erzielt. Dicht gefolgt von der Fruchtfolge 3 mit 102,3 dt/ha und der Fruchtfolge 8 mit 100,4 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 83,8 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 (70,1 dt/ha), aber auch bei den Fruchtfolgen 6 (106,7 dt/ha) und 7 (96,3 dt/ha).

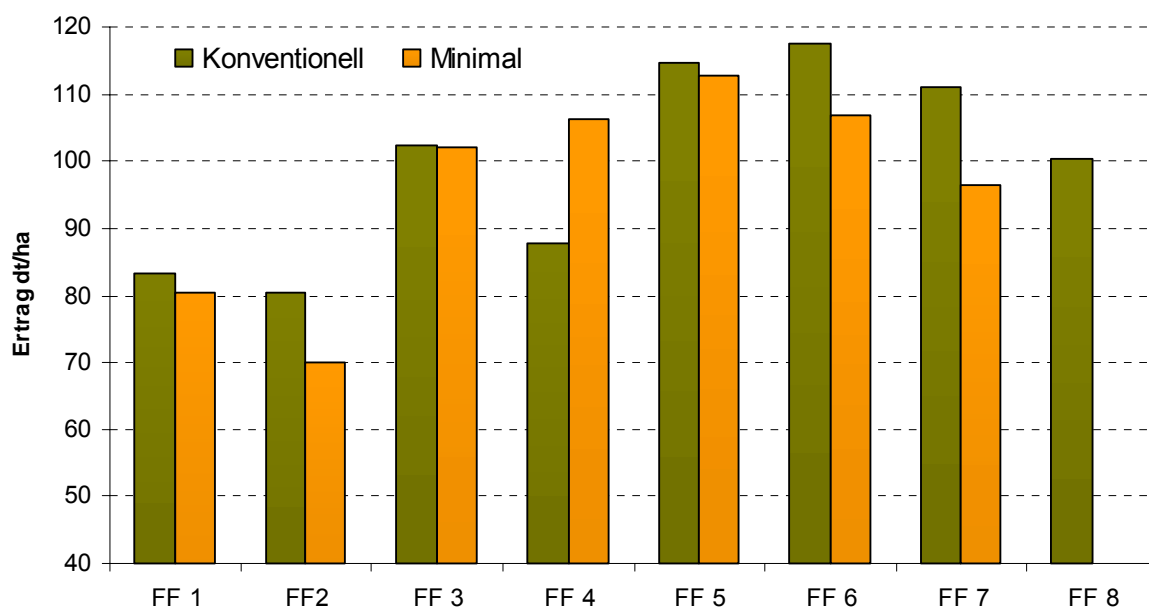


Abbildung 4: Kornertrag Winterweizen in Abhängigkeit von der Fruchtfolge und Bodenbearbeitung, dargestellt ist das arithmetische Mittel n=4.

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 233,2 kg N/ha erreicht wurde. Danach folgt Topinambur mit einem durchschnittlichen Entzug von 170,0 kg N/ha. Den geringsten Entzug hatten Ölrettich und einjähriges Weidelgras mit 47,8 bzw. 40,8 kg N/ha. Bei Mais und Sudangras in Hauptfruchtstellung (Fruchtfolge 2 und 3) lagen die N-Entzüge zwischen 180,1 und 212,1 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 160,5 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 100,0 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 85,0 kg N/ha.

Die höchste N-Zufuhr (Abbildung 5) erfolgte über die Jahre bei der Fruchtfolge 3 (sudangrasmais-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).

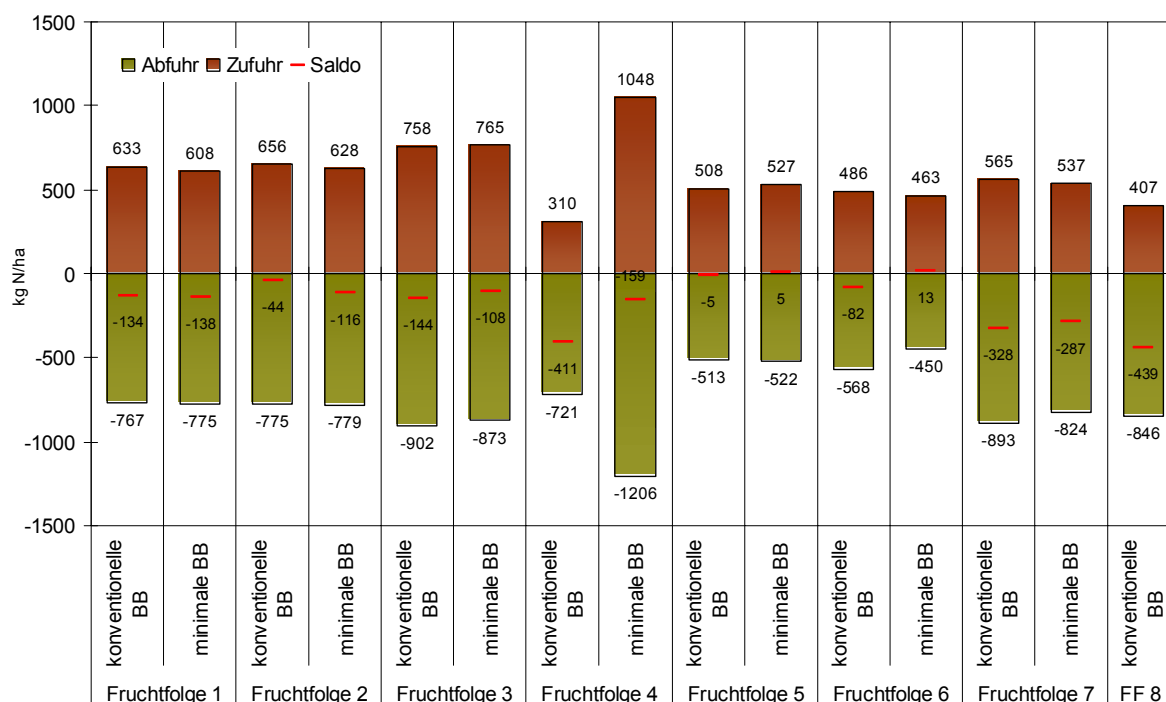


Abbildung 5: Stickstoffbilanz der einzelnen Fruchtfolgen summiert über die Jahre 2005 bis 2008, Anlage I, Vergleich konventioneller zu minimaler Bodenbearbeitung. Bei der Fruchtfolge 4 - minimale Bodenbearbeitung ist die N_2 -Fixierung der Luzerne als Zufuhr mit dargestellt.

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	Bodenbearbeitung	1	2	3	4	5	6	7	8
TM-Ertrag (dt TM/ha)	Pflug	450	431	488	290	265	262	522	473
	Minimal	445	419	472	382	242	239	523	
Düngung (kg N/ha)	Pflug	633	656	758	310	508	486	565	407
	Minimal	608	628	765	1048	527	463	537	
Stickstoff-Verwertung (dt TM/kg N)	Pflug	0,71	0,66	0,64	0,94	0,52	0,54	0,92	1,16
	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 (-90 kg P/ha / -84 kg P/ha) und 2 (- 85 kg P/ha / -97 kg P/ha) (Abbildung 6).

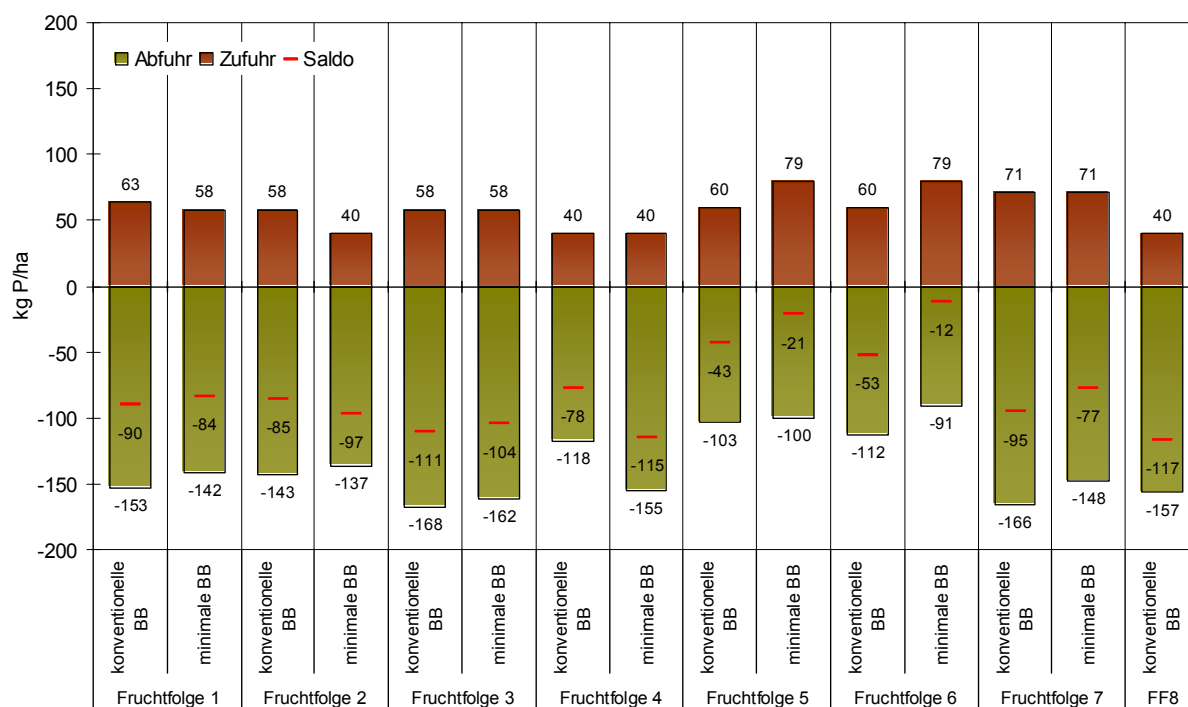


Abbildung 6: Phosphorbilanz der einzelnen Fruchtfolgen summiert über die Jahre 2005 bis 2008, Anlage I, Vergleich konventioneller zu minimaler Bodenbearbeitung.

Kaliumbilanz

Die höchste Kaliumdüngung 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).

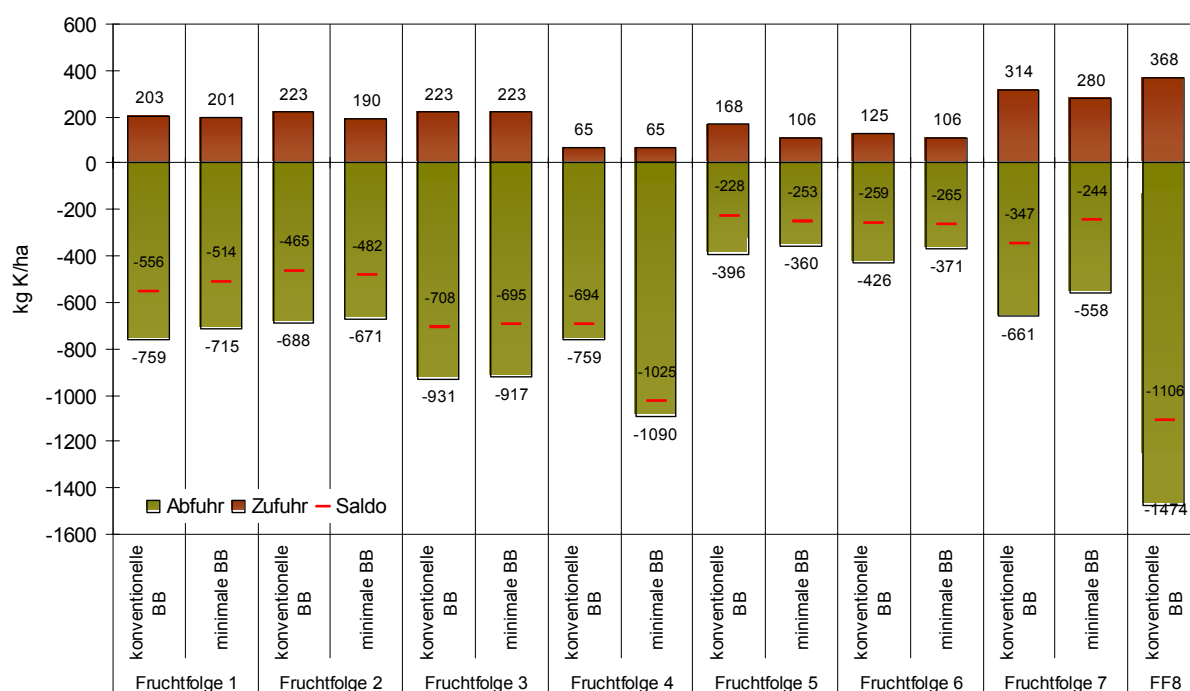


Abbildung 7: Kaliumbilanz der einzelnen Fruchtfolgen summiert über die Jahre 2005 bis 2008, Anlage I, Vergleich konventioneller zu minimaler Bodenbearbeitung.

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). Insgesamt 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.

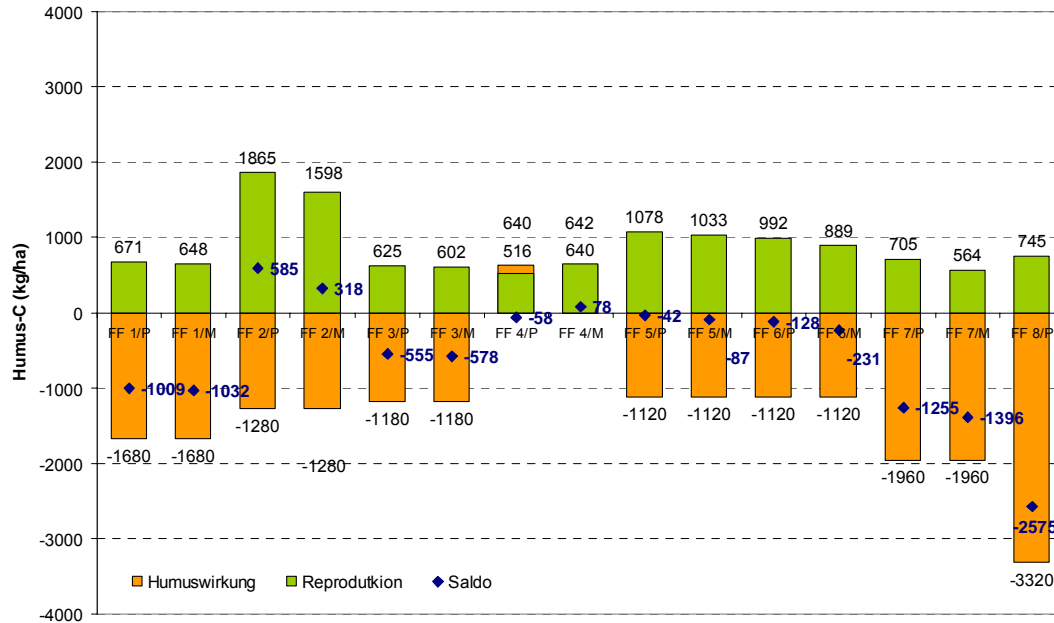


Abbildung 8: Humusbilanz, Anlage I, Vergleich konventionelle (P) und minimale (M) Bodenbearbeitung, 2005 bis 2008 ohne Rückführung des Gärrestes.

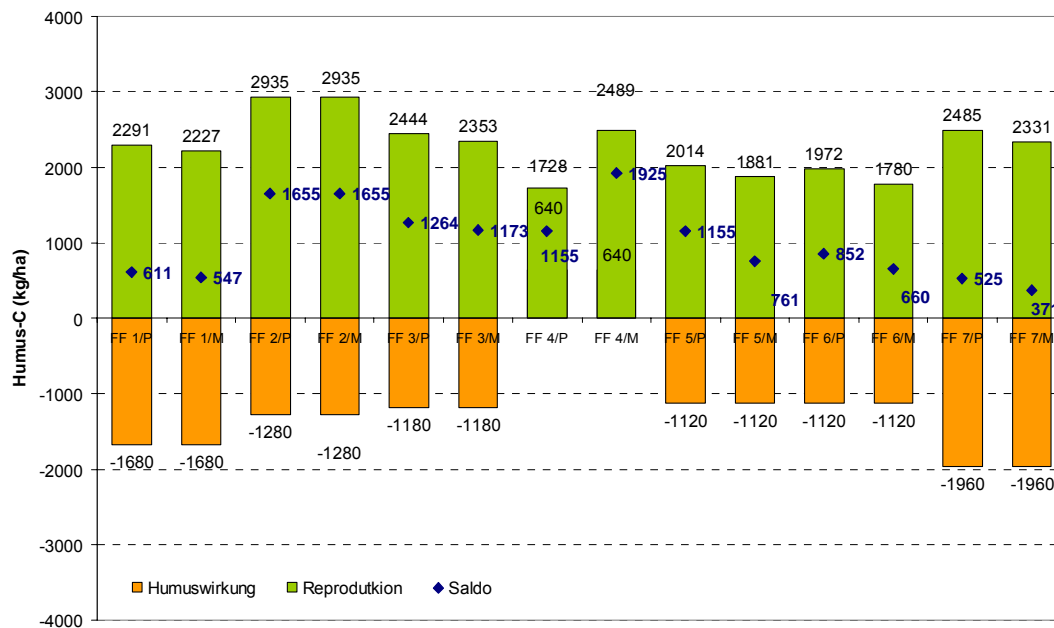


Abbildung 9: Humusbilanz, Anlage I, Vergleich konventionelle (P) und minimale (M) Bodenbearbeitung, 2005 bis 2008 mit Rückführung des Gärrestes.

3.5 Theoretische Biogas- und Methangasausbeute

Zunächst werden die spezifischen Methanerträge in m^3/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 ($4499 \text{ m}^3/\text{ha}$) gefolgt von Sudangras (HF) mit $3866 \text{ m}^3/\text{ha}$, der Artenmischung (WW, WT, WG; $3677 \text{ m}^3/\text{ha}$) und Wintertriticale mit $3579 \text{ m}^3/\text{ha}$. In der Zweitfruchtstellung erreicht der Mais im Vergleich zum Sudangras ebenfalls den höheren Methanertrag pro Hektar ($3180 \text{ m}^3/\text{ha}$ vs. $1857 \text{ m}^3/\text{ha}$). Mit den Zwischenfrüchten Futterroggen und Zuckerhirse wurden Methangaserträge von $1299 \text{ m}^3/\text{ha}$ und $1875 \text{ m}^3/\text{ha}$ erzielt. Mit den Sommergetreidearten sind im Vergleich zum Wintergetreide geringere Methangaserträge realisiert worden ($2188 \text{ m}^3/\text{ha}$ vs. $3628 \text{ m}^3/\text{ha}$).

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 $11.700 \text{ m}^3/\text{ha}$ bis $14.900 \text{ m}^3/\text{ha}$, 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 $5.900 \text{ m}^3/\text{ha}$ bis $7.500 \text{ m}^3/\text{ha}$).

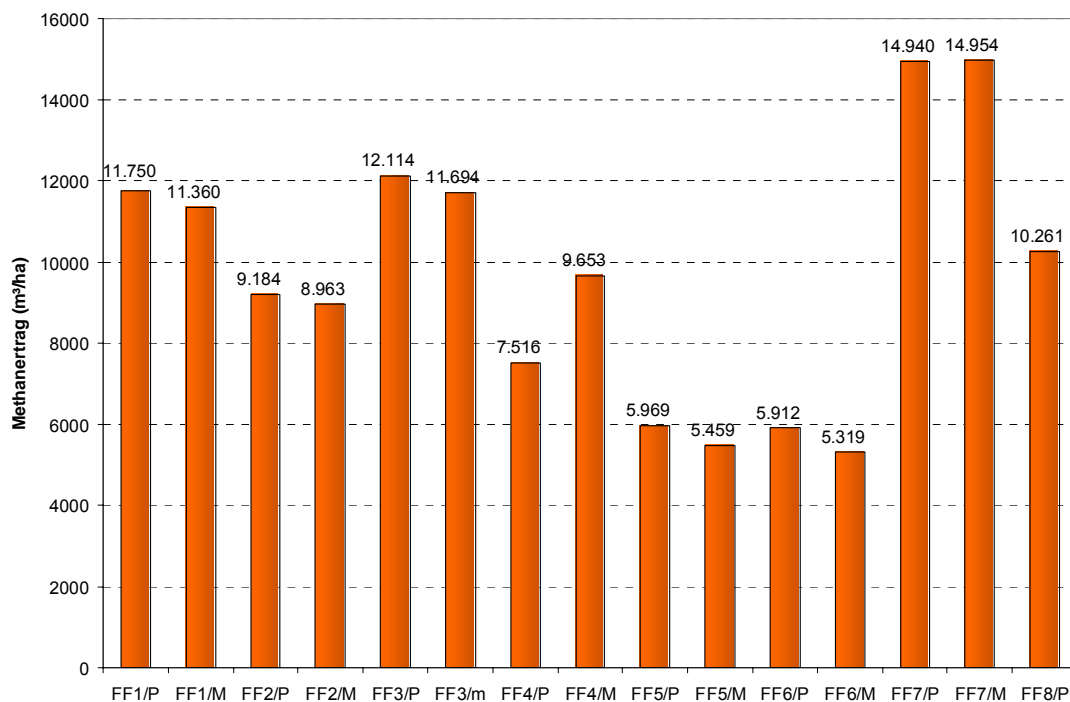


Abbildung 10: Kumulierte Methanerträge der einzelnen Fruchtfolgen, Anlage I, Vergleich konventionelle und minimale Bodenbearbeitung (2005 - 2008)

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, Nebenernte-Produkte 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 Düngerverordnung (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“

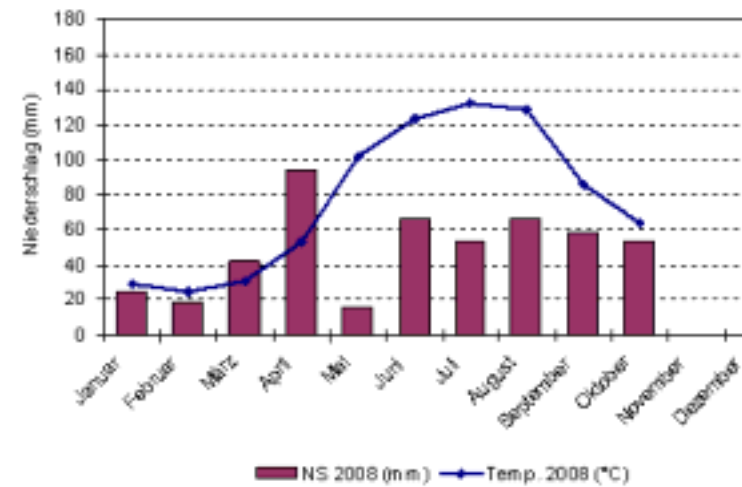
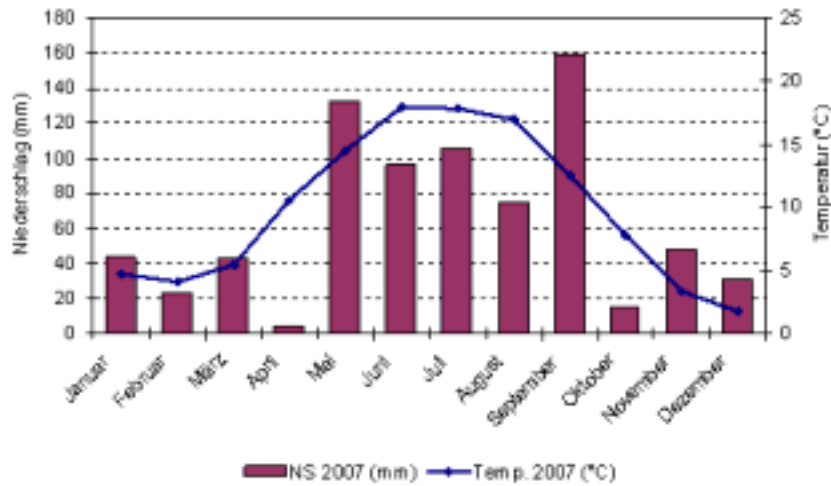
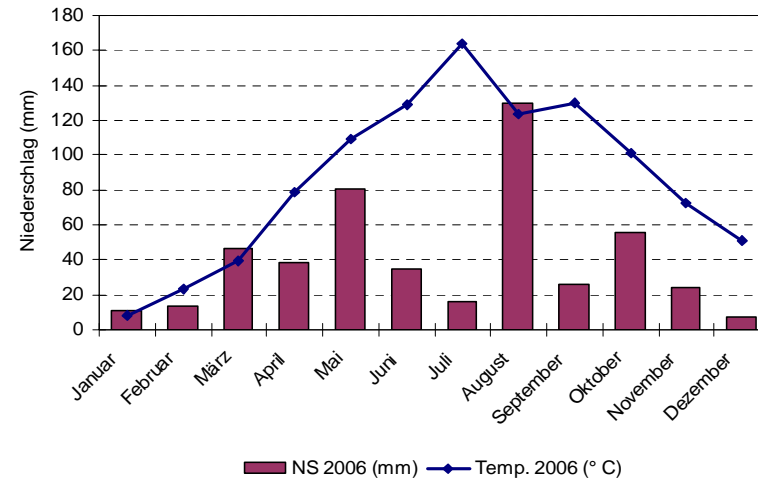
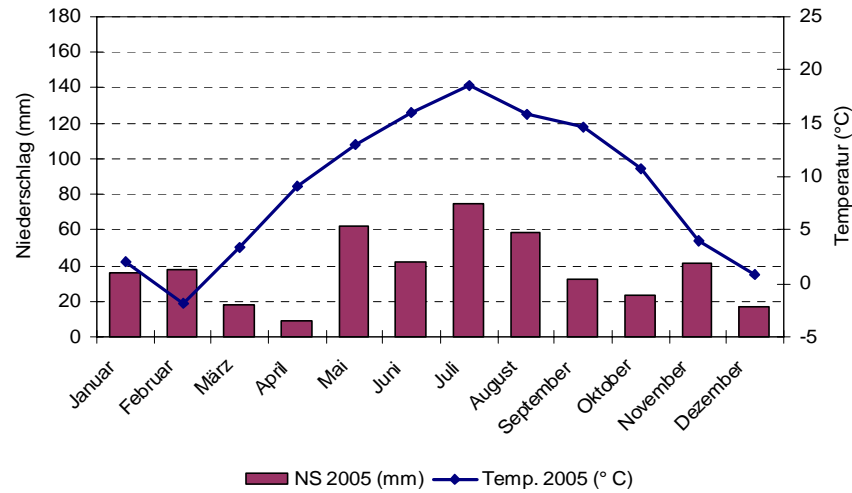
Munzert, M. (1992): Einführung in das pflanzenbauliche Versuchswesen. Verlag Paul Parey. Berlin und Hamburg

Schumann et al. (1997): Fallstudien und Konzepte zur Einführung bilanzorientierter Düngung in der deutschen Landwirtschaft. Landbauforschung Völnrode. 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

6 Anhang

Anhang 1: Witterungsverlauf der Versuchsjahr 2005 bis 2008 am Standort Dornburg



Anhang 2: Sorten und Saatstärken der einzelnen Kulturen

Kulturart		Sorte	Saatstärke
Artenmischung	Wintergerste	Naomie	
	Wintertriticale	SW Telentro	350 K/m ²
	Winterweizen	Elvis	
Grünschnittroggen		Protector	160 kg /ha
		Vitallo	160 kg /ha
Hafersortenmischung		Atego	
		Dominik	350 K/m ²
		Freddy	
Luzernegras	Luzerne	Planet	18 kg/ha
	Knautgras	Tresposno	2kg/ha
Mais		Maibi (HF)	9-10 Pf/m ²
		Constantino (ZF)	9-10 Pf/m ²
Ölrettich		Regresso	20 kg/ha
Sommergerste		Pasadena	300 K/m ²
Sudangrashybride		Susu	25 kg/ha
Topinambur		Topianka	5,3 Pf/m ²
Weidelgras (einjähr.)		Liquattro	40 kg/ha
Wintertriticale		Benetto	350 K/m ²
Winterweizen		Türkis	440 K/m ²

Anhang 3: Übersicht zu den agrotechnischen Maßnahmen

Angaben zur N-Düngung

Pflanzenart	I Anlage (2005)		II Anlage (2006)
	Pflug	Minimal	
Sommergerste (GP)	80	70	60
Ölrettich (SZF)	40	40	0
Mais (HF)	119	105	136
Wintertriticale (GP)	134	130	131
Zuckerhirse (SZF)	100	100	84
Winterweizen (K)	160	160	-
Sudangrashybride (HF)	150	140	80
Grünschnittroggen (WZF)	62	44	104
Mais (ZF)	110	110	80
Wintertriticale (K)	164	164	131
Winterweizen (K)	170	170	-
Mais (HF)	160	150	120
Grünschnittroggen (WZF)	74	66	94
Sudangrashybride (ZF)	125	150	80
Wintertriticale (GP)	134	134	126
einjähriges Weidelgras	60/50*	60/50*	40
Winterweizen (K)	155	155	-
Sommergerste (GP) + Untersaat Luzernegras	40	40	60
Luzernegras	0	0	0
Luzernegras	40/40/40*	0	40
Winterweizen (K)	150	150	-
Hafersortenmischung (GP)	70	60	40
Wintertriticale (GP)	72	76	94
Winterraps (K)	211	228	235
Winterweizen (K)	155	155	-
Hafer (GP)	70	60	40
AM (WG/WW/WT)	68	55	94
Winterraps (K)	236	228	235
Winterweizen (K)	120	120	-
Mais	160	150	120
Mais	105	86	111
Mais	125	126	145
Winterweizen (K)	175	175	-
Topinamburkraut	100	-	-
Topinamburkraut	15	-	-
Topinamburkraut+-knolle	117	-	-
Winterweizen (K)	175	-	-

* Düngung zu den Schnittterminen

Fortsetzung Anhang 3: Übersicht zu den agrotechnischen Maßnahmen

FF	Pflanzenart	I Anlage (2005)			II Anlage (2006)		
		Datum	Mittel	Menge	Datum	Mittel	Menge
11	Sommergerste (GP)	19.05.05	Basagran DP	2,5 l/ha	23.05.06	Basagran DP	2,5 l/ha
12	Ölrettich (SZF)	-	-	-	-	-	-
13	Mais (HF)	22.05.05	Artett/Motivell	2,5/1,0 l/ha	25.05.07	Clio Top Pack	1,5+1,2 l/ha
14	Wintertriticale (GP)	24.04.07	Camposan/ Opus Top	0,75/ 1,0 l/ha	01.04.08	Artus	50 g/ha
15	Zuckerhirse (SZF)	13.07.07	Certrol B	1,25 l/ha	08.05.08	Camposan	0,75 l/ha
16	Winterweizen (K)	30.04.08	Artus/CCC	50 g/ha; 1,4 l/ha	16.07.08	Artett	3,0 l/ha
		06.06.08	Juwel Top	1,0 l/ha	-	-	-
21	Sudangrasybride (HF)	08.06.05	Artett	3,0 l/ha	04.05.06	Stomp SC	3,0 l/ha
22	Grünschnittroggen (WZF)	-	-	-	-	-	-
23	Mais (ZF)	12.06.06	Artett/Motivell	2,5/1,0 l/ha	11.06.07	Clio Top Pack	1,5+1,2 l/ha
24	Wintertriticale (K)	25.04.07	Artus	50 g/ha	17.04.08	Artus	50 g/ha
		25.04.07	Camposan/ Opus Top	0,75/ 1,0 l/ha	08.05.08	Camposan	0,75 l/ha
25	Winterweizen (K)	30.04.08	Artus/CCC	50 g/ha; 1,4 l/ha	06.06.08	Pronto Plus	1,5 l/ha
		06.06.08	Juwel Top	1,0 l/ha	-	-	-
31	Mais (HF)	01.06.05	Artett/Motivell	2,5/1,0 l/ha	22.05.06	Artett/Motivell	2,5/1,0 l/ha
32	Grünschnittroggen (WZF)	-	-	-	-	-	-
33	Sudangrasybride (ZF)	12.05.06	Stomp SC	3,0 l/ha	22.05.06	Stomp SC	3,0 l/ha
34	Wintertriticale (GP)	25.04.07	Camposan/ Opus Top	0,75/ 1,0 l/ha	14.04.08	Artus	50 g/ha
35	einjähriges Weidelgras	-	-	-	08.05.08	Camposan	0,75 l/ha
36	Winterweizen (K)	30.04.08	Artus/CCC	50 g/ha; 1,4 l/ha	-	-	-
		06.06.08	Juwel Top	1,0 l/ha	-	-	-
51	Hafersortenmischung (GP)	19.05.05	Basagran DP	2,5 l/ha	23.05.06	Basagran DP	3,0 l/ha
52	Wintertriticale (GP)	-	-	-	09.03.07	Artus	50 g/ha
		-	-	-	25.04.07	Camposan/ Opus Top	0,75/ 1,0 l/ha
53	Winterraps (K)	23.08.06	Nimbus CS	3,0 l/ha	28.08.07	Nimbus CS	3,0 l/ha
		20.09.06	Caramba	1,5 l/ha	25.09.07	Caramba	1,5 l/ha
		08.03.07	Folicur	1,5 l/ha	31.03.08	Folicur/ Fastac SC	1,0+0,1 l/ha
		27.04.07	Cantus	0,5 kg/ha	-	-	-
54	Winterweizen (K)	30.04.08	Artus/CCC	50 g/ha; 1,4 l/ha	-	-	-
		06.06.08	Juwel Top	1,0 l/ha	-	-	-
61	Hafer (GP)	19.05.05	Basagran DP	2,5 l/ha	23.05.06	Basagran DP	3,0 l/ha
62	AM (WG/WW/WT)	-	-	-	09.03.07	Artus	50 g/ha
		-	-	-	25.04.07	Camposan/ Opus Top	0,75/ 1,0 l/ha
63	Winterraps (K)	23.08.06	Nimbus CS	3,0 l/ha	28.08.07	Nimbus CS	3,0 l/ha
		20.09.06	Caramba	1,5 l/ha	25.09.07	Caramba	1,5 l/ha
		08.03.07	Folicur	1,5 l/ha	31.03.08	Folicur/ Fastac SC	1,0+0,1 l/ha
		27.04.07	Cantus	0,5 kg/ha	-	-	-
64	Winterweizen (K)	30.04.08	Artus/CCC	50 g/ha; 1,4 l/ha	-	-	-
		06.06.08	Juwel Top	1,0 l/ha	-	-	-
71	Mais	01.06.05	Artett/Motivell	2,5/1,0 l/ha	22.05.06	Artett/Motivell	2,5/1,0 l/ha
72	Mais	22.05.06	Artett/Motivell	2,5/1,0 l/ha	25.05.07	Clio Top Pack	1,5+1,2 l/ha
73	Mais	25.05.07	Clio Top Pack	1,5+1,2 l/ha	27.05.08	Artett/Motivell	2,5/1,0 l/ha
74	Winterweizen (K)	30.04.08	Artus/CCC	50 g/ha; 1,4 l/ha	-	-	-
		06.06.08	Juwel Top	1,0 l/ha	-	-	-
81	Topinamburkraut	-	-	-	-	-	-
82	Topinamburkraut	-	-	-	-	-	-
83	Topinamburkraut+-knolle	-	-	-	-	-	-
84	Winterweizen (K)	30.04.08	Artus/CCC	50 g/ha; 1,4 l/ha	-	-	-
		06.06.08	Juwel Top	1,0 l/ha	-	-	-

