



**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](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 Rohstoffe 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. Anhal-

tende 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*

<b>Zeitraum</b>	<b>Niederschlags- summe [mm]</b>	<b>Durchschnitts- temperatur [°C]</b>	<b>Besonderheiten</b>
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 Versuchspartzen 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.

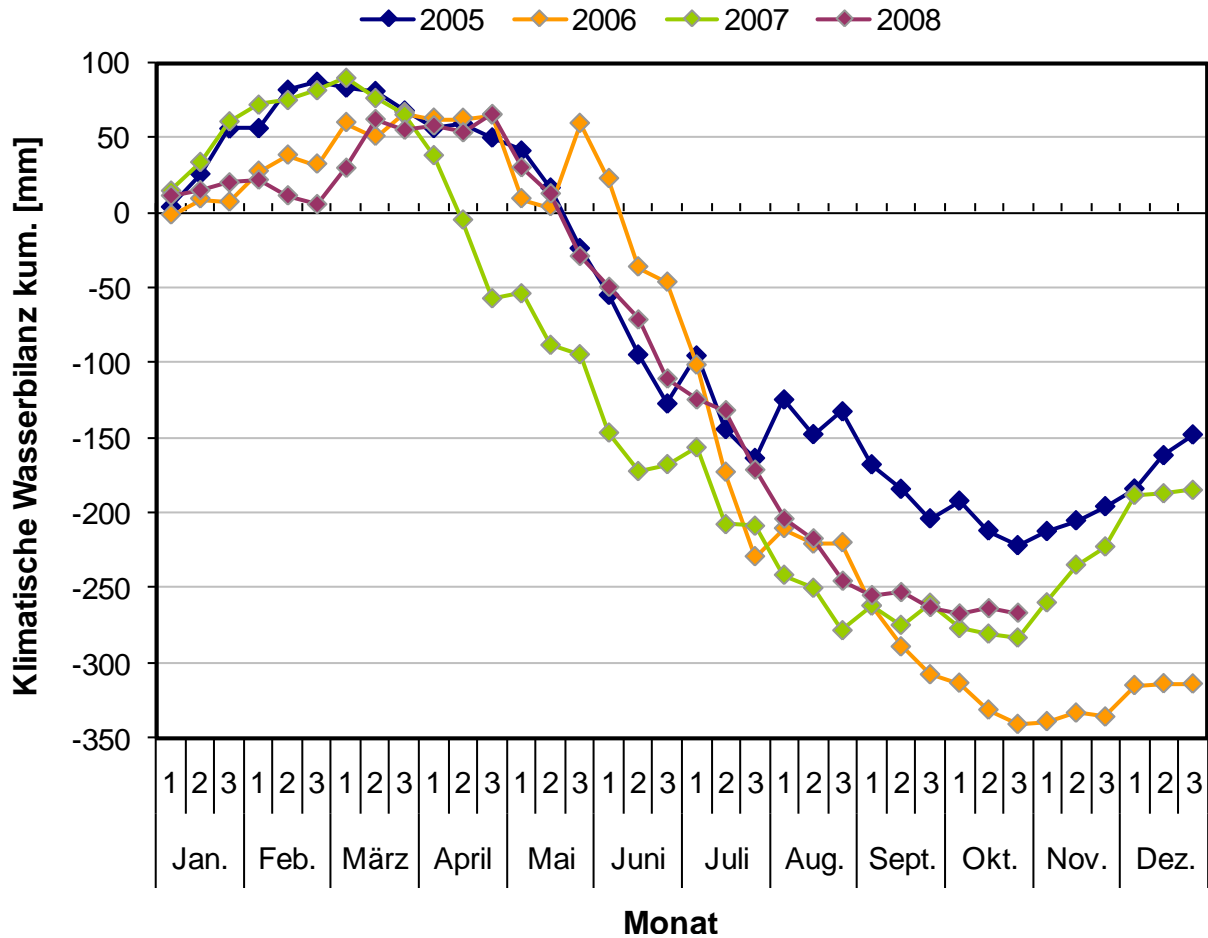


Abbildung 1: Klimatische Wasserbilanzen der Jahre 2005 bis 2008; dargestellt ist die Differenz zwischen Niederschlag und potentieller Evaporation (nach Penman) jeweils über ein Kalenderjahr akkumuliert

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 Fruchtfolgewardung 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 Randeefekte zu vermeiden. Die beerntete Parzellenfläche beträgt 12 m<sup>2</sup>. 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 Marktf Frucht oder Futtermittel*

<b>Kernfruchtfolgen</b>					
<b>Jahr</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>
2005	<b>S.Gerste Ölrettich</b>	<b>Sorghumhybride</b>	<b>Mais</b>	<b>S.Gerste mit Kleegras- Untersaat</b>	<b>Hafer- Sorten- mischung</b>
2006	<b>Mais</b>	<b>Futterroggen Mais</b>	<b>Futterroggen Sorghumhybride</b>	<b>Kleegras</b>	<b>W.Triticale</b>
2007	<b>W.Triticale Sorghum</b>	W.Triticale	<b>W.Triticale Welsches Weidelgras</b>	<b>Kleegras</b>	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

Jahr	Regionalfruchtfolgen		
	6	7	8
2005	Silomais	Corn-Cob-Mais (CCM)	Körnermais
2006	<b>Futterroggen</b> Silomais	<b>W.Weizen</b>	<b>Welsches Weidelgras</b> Kartoffeln
2007	<b>Wickroggen</b> <b>Sorghumhybride</b>	<b>W.Raps-GPS</b> <b>Sorghumhybride</b>	<b>W.Weizen</b> <b>Erbsen</b>
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<sup>2</sup> 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<sub>min</sub>-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 (= *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.



### 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 Gesamtbeurteilung war Fruchtfolge 3 die ertragreichste der angebauten Fruchtfolgen, an zweiter Stelle lag Fruchtfolge 6. Beide Fruchtfolgen enthalten einen hohen Anteil schnellwachsender C<sub>4</sub>-Pflanzen wie Mais und Sorghumhybride sowie rasche Kulturabfolgen von Erst- und Zweitfrüchten. Die Fruchtfolge 4 erzielte mit dem dreimal geschnittenen Klee gras vergleichbar hohe Erträge wie die Fruchtfolgen 1 und 2, bei welchen Mais als drittes Fruchtfolgeglied den Hauptertragsbildner darstellte.

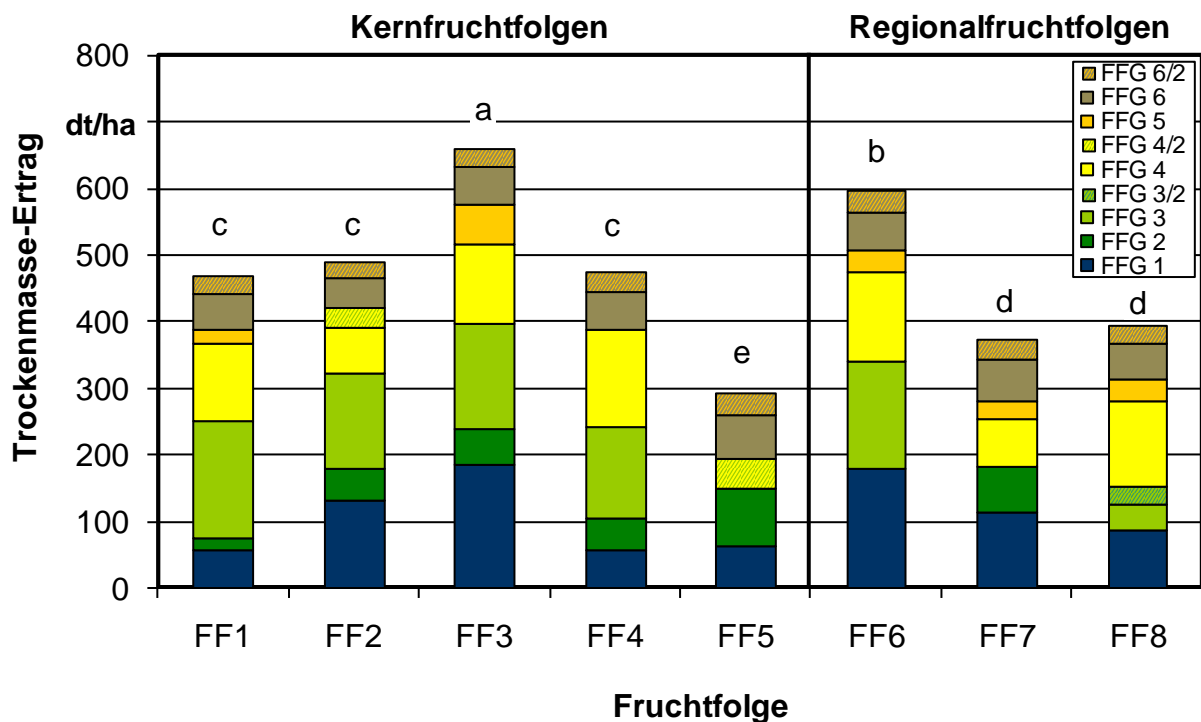


Abbildung 2: Trockenmasse-Erträge in den Kern- und Regionalfruchtfolgen 1 bis 8 im Grundversuch 1. Anlage am Versuchsstandort Ascha in Bayern, Anbauzeitraum 2005 - 2008; schraffierte Flächen (in der Legende mit 3/2, 4/2 und 6/2 gekennzeichnet) stehen für Nebenernte produkte; dargestellt sind arithmetische 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 Stroh mengen 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.

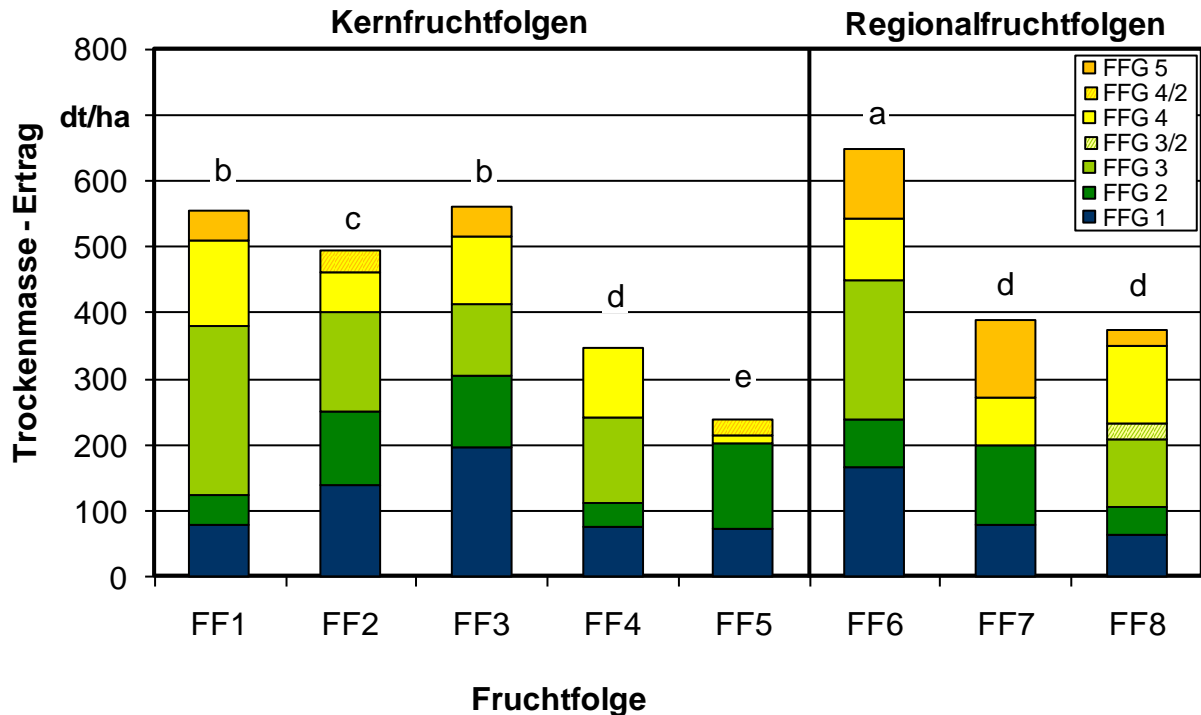


Abbildung 3: Trockenmasse-Erträge in den Kern- und Regionalfruchtfolgen 1 bis 8 im Grundversuch 2. Anlage am Versuchsstandort Ascha in Bayern, Anbauzeitraum 2006 - 2008; schraffierte Flächen (in der Legende mit 3/2 bzw. 4/2 gekennzeichnet) stehen für Nebenernteprodukte; dargestellt sind arithmetische Mittelwerte mit  $n = 4$ , signifikante Unterschiede sind durch die Zeichen a bis e gekennzeichnet

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 Kleeergras war 2007 deutlich weniger produktiv als Mais. Hier war evtl. 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 marktorientierte 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.

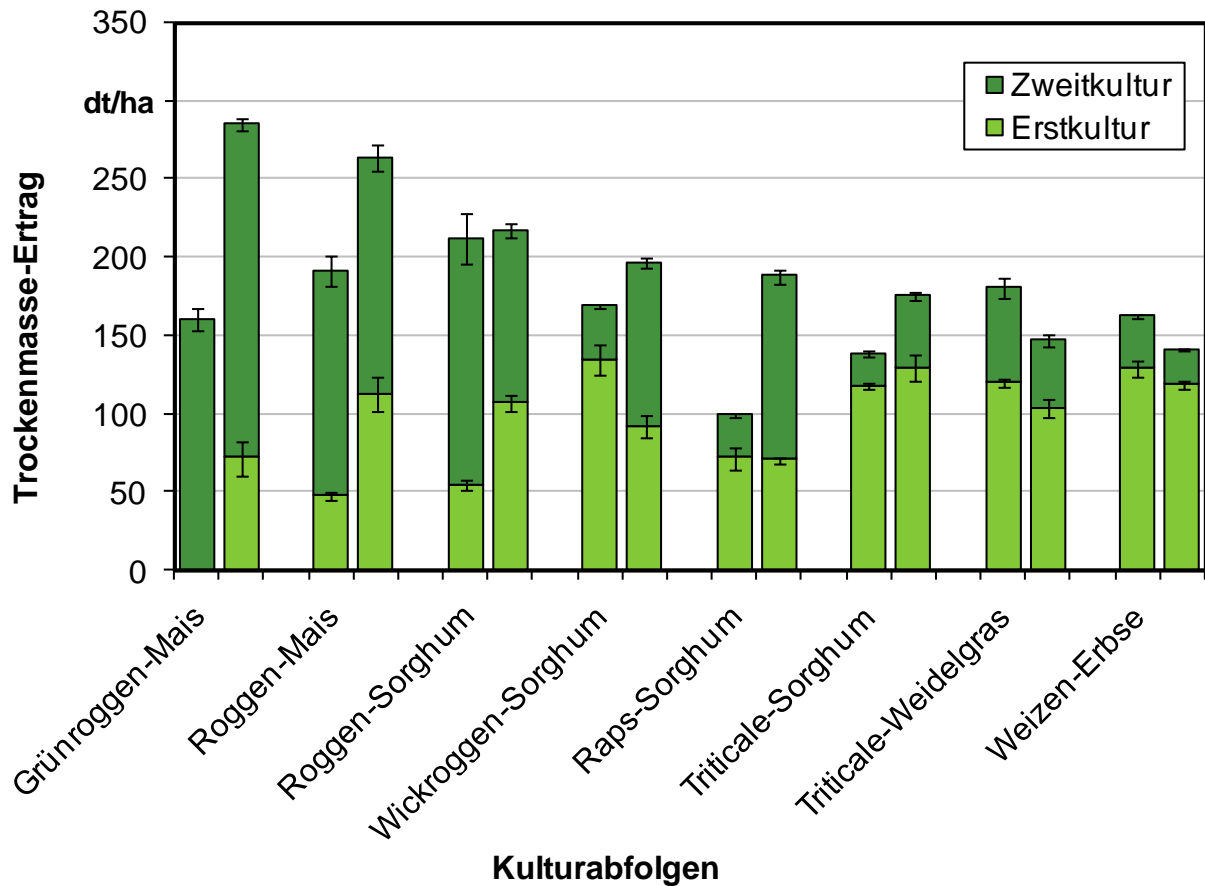


Abbildung 4: Trockenmasse-Erträge von Kulturabfolgen aus der 1. und 2. Versuchsanlage aus den Jahren 2006 - 2008; die erste Säule repräsentiert jeweils Erträge aus der 1. Versuchsanlage, die zweite Säule Erträge aus der 2. Versuchsanlage; dargestellt sind arithmetische Mittelwerte mit  $n = 4$  und deren 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 Aussattermin 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 Aussattermin er-

zielt. 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 Regionalfuchtfolge 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 Klee gras 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.

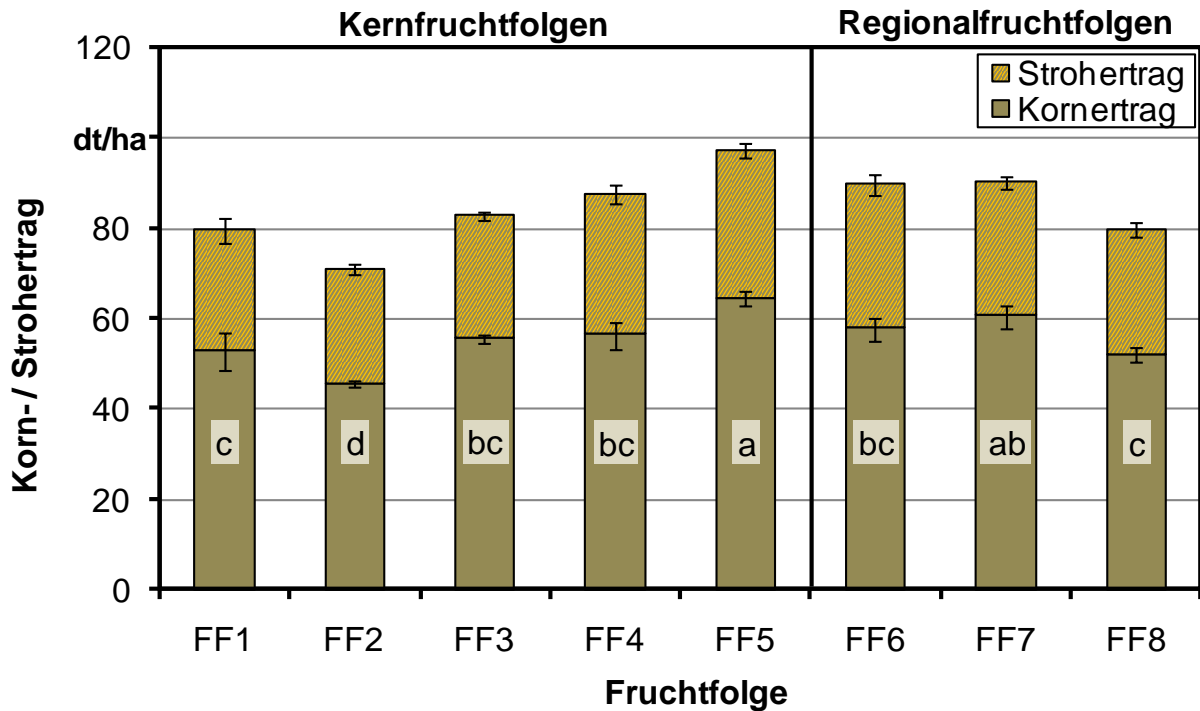


Abbildung 5: Korn- und Stroherträge in den Kern- und Regionalfruchtfolgen 1 bis 8 im Grundversuch 1. Anlage am Versuchsstandort Ascha in Bayern, 2008; dargestellt sind arithmetische Mittelwerte mit  $n = 4$  und deren Standardfehler; signifikante Unterschiede in den Kornerträgen sind durch die Zeichen 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.

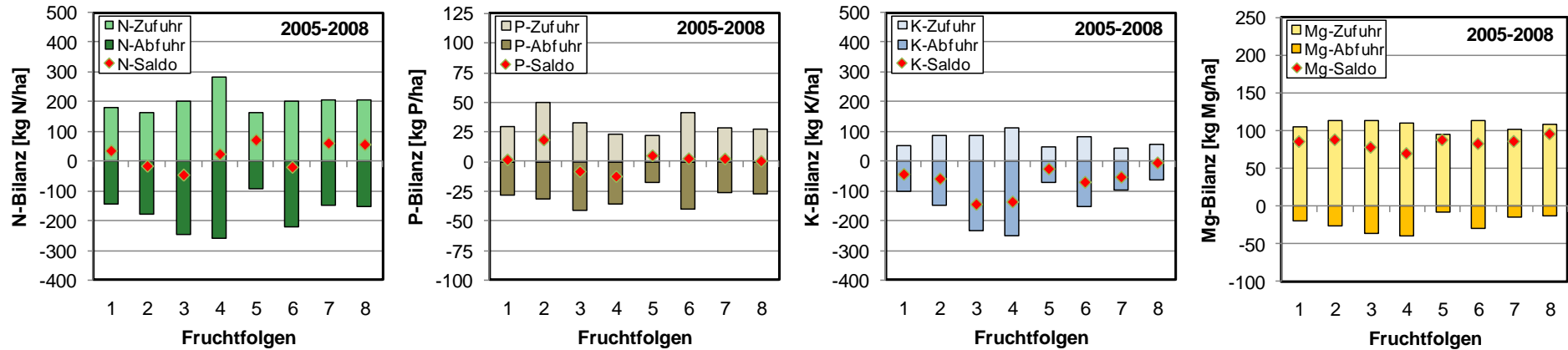


Abbildung 6: Mittlere jährliche Nährstoffbilanzen für Stickstoff, Phosphat, Kalium und Magnesium (von links nach rechts) der Kern- und Regionalfruchtfolgen, 1. Versuchsanlage, 2005 - 2008; dargestellt sind arithmetische Mittelwerte mit  $n = 4$

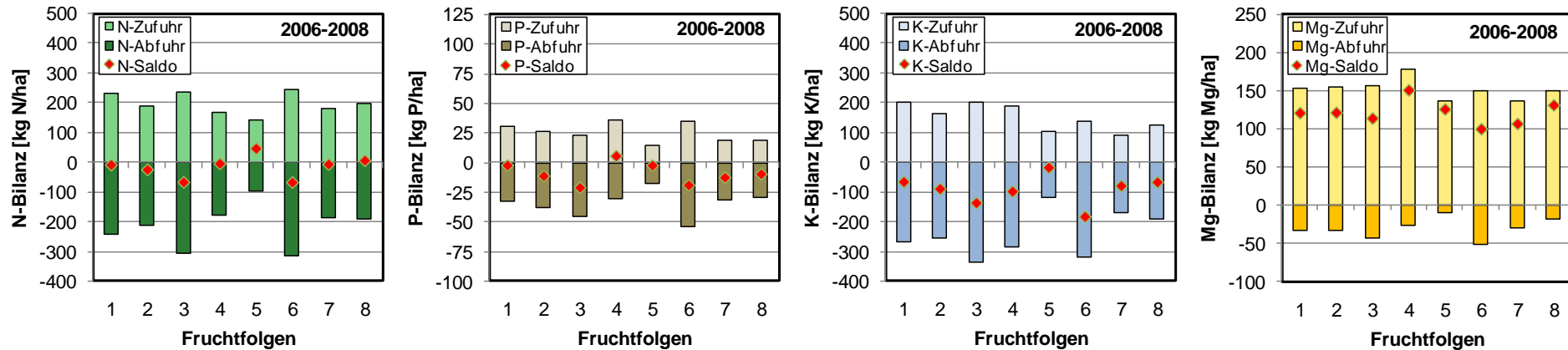


Abbildung 7: Mittlere jährliche Nährstoffbilanzen für Stickstoff, Phosphat, Kalium und Magnesium (von links nach rechts) der Kern- und Regionalfruchtfolgen, 2. Versuchsanlage, 2006 - 2008; dargestellt sind arithmetische Mittelwerte mit  $n = 4$

### 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-Übersorgung 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.

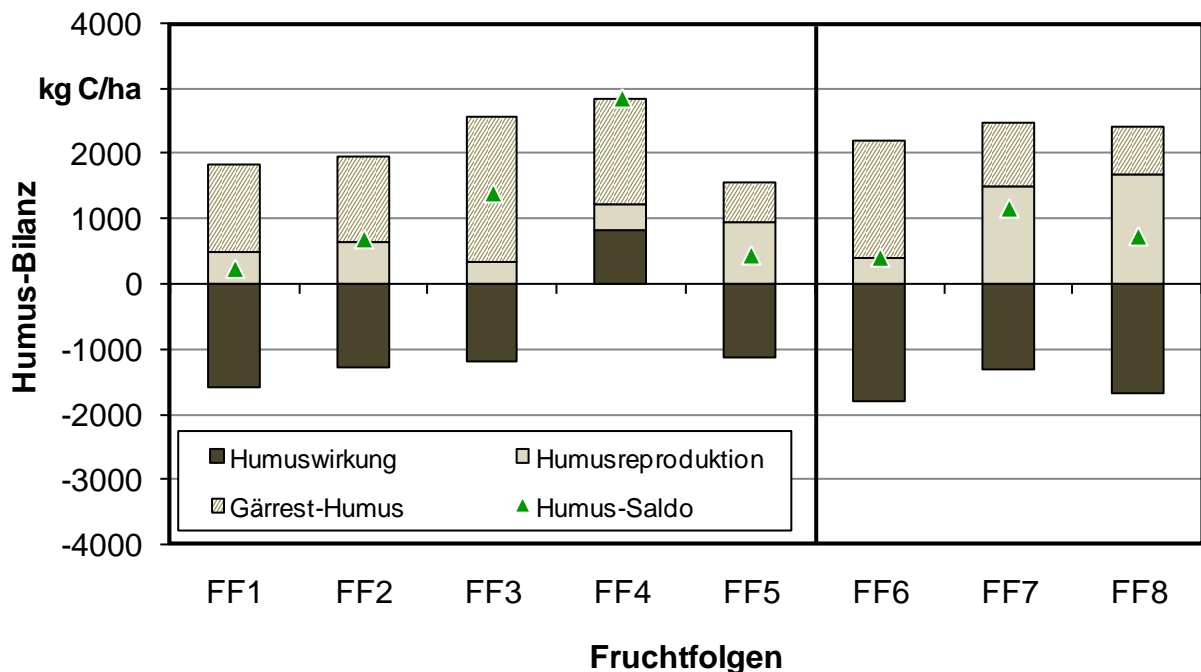


Abbildung 8: Humusbilanzen der Kern- und Regionalfruchtfolgen, 1. Versuchsanlage, 2005 - 2008; dargestellt sind die über die Fruchtfolgeglieder aufsummierte fruchtartsspezifische Humuswirkung, die Humusreproduktion durch Gründüngung oder Nebenernteprodukte sowie durch Gärrest (bei 100 %iger Rückführung)

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 fruchtartsspezifische Humuswirkung noch erhebliche Lücken in der Datengrundlage, die einer-



seits durch die veränderte Nutzung von Fruchtarten (Ganzpflanzennutzung statt Körnerernte) bzw. durch die Einführung neuer Kulturarten bedingt sind.

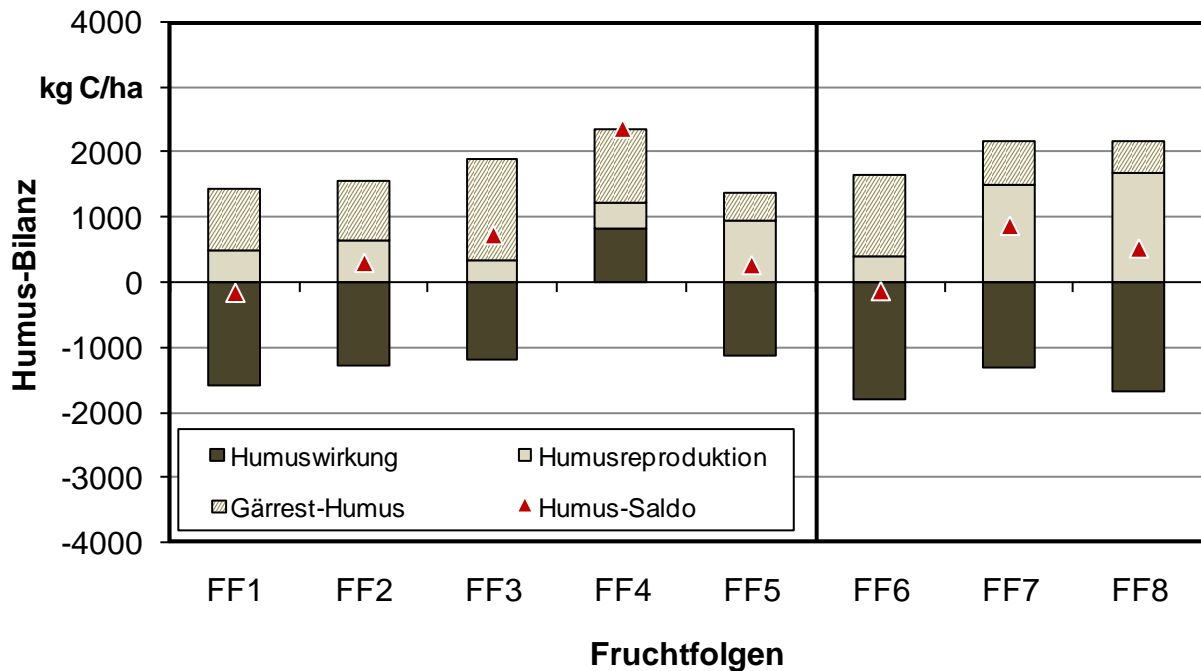


Abbildung 9: Modifizierte Humusbilanzen der Kern- und Regionalfruchtfolgen, 1. Versuchsanlage, 2005 - 2008; dargestellt sind die über die Fruchtfolgeglieder aufsummierte fruchtartsspezifische Humuswirkung, die Humusreproduktion durch Gründüngung oder Nebenernteprodukte sowie durch Gärrest (bei 20 % Ertragsabschlag 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<sup>3</sup> Methan je ha deutlich unterstrichen (Tabelle 5). Auch als Zweitfrucht (Saat Anfang bis Mitte Juni) erzielte er noch durchschnittlich 4185 m<sup>3</sup>/ha. Klee gras erreichte bei sehr stabilen Erträgen im Mittel 67 % des Methanertrags von Mais. Ein ähnliches Ertragspotenzial (maximal 3789 m<sup>3</sup> Methan je ha) wies die Sorghumhybride auf, wobei dieses nur bei ausreichender Vegetationszeit und Temperatursumme ausgeschöpft werden konnte. Bei späterer 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<sup>3</sup> Methan/ha von Grünroggen im Vergleich zu Wintertriticale bzw. -weizen ins Verhältnis zu den Ertragssteigerungen durch eine frühere Saat von über 1000 m<sup>3</sup> 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 <sup>3</sup> /ha]			Spezifische Methan- ausbeute [NI/kg oTM]
	Min.	Max.	Mittelwert	Min.	Max.	Mittelwert	
Mais / Hauptfrucht	161	259	<b>191</b>	4067	7308	<b>5116</b>	307
Mais / Zweitfrucht	143	151	<b>147</b>	4000	4371	<b>4185</b>	303
Kleegras	106	146	<b>129</b>	2887	3871	<b>3453</b>	276
Kleegras / Untersaat	37	49	<b>43</b>	1074	1360	<b>1217</b>	324
Sorghum / früh	110	158	<b>134</b>	2800	3789	<b>3194</b>	276
Sorghum / spät	27	117	<b>71</b>	763	3276	<b>1981</b>	306
Wel. Weidelgras	43	61	<b>49</b>	596	1794	<b>1230</b>	322
Hafersortenmischung	59	72	<b>65</b>	1369	1749	<b>1559</b>	263
Sommergerste	52	79	<b>64</b>	1243	1851	<b>1523</b>	256
Erbse	23	33	<b>28</b>	590	890	<b>740</b>	281
Wickroggen	92	135	<b>114</b>	2577	3644	<b>3111</b>	282
Wintertriticale	46	129	<b>98</b>	2236	3473	<b>2930</b>	284
Winterweizen	69	129	<b>110</b>	1785	3381	<b>2847</b>	271
Winterroggen	48	113	<b>79</b>	1335	2943	<b>2095</b>	272
Winterraps	70	72	<b>71</b>	1860	2052	<b>1956</b>	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.

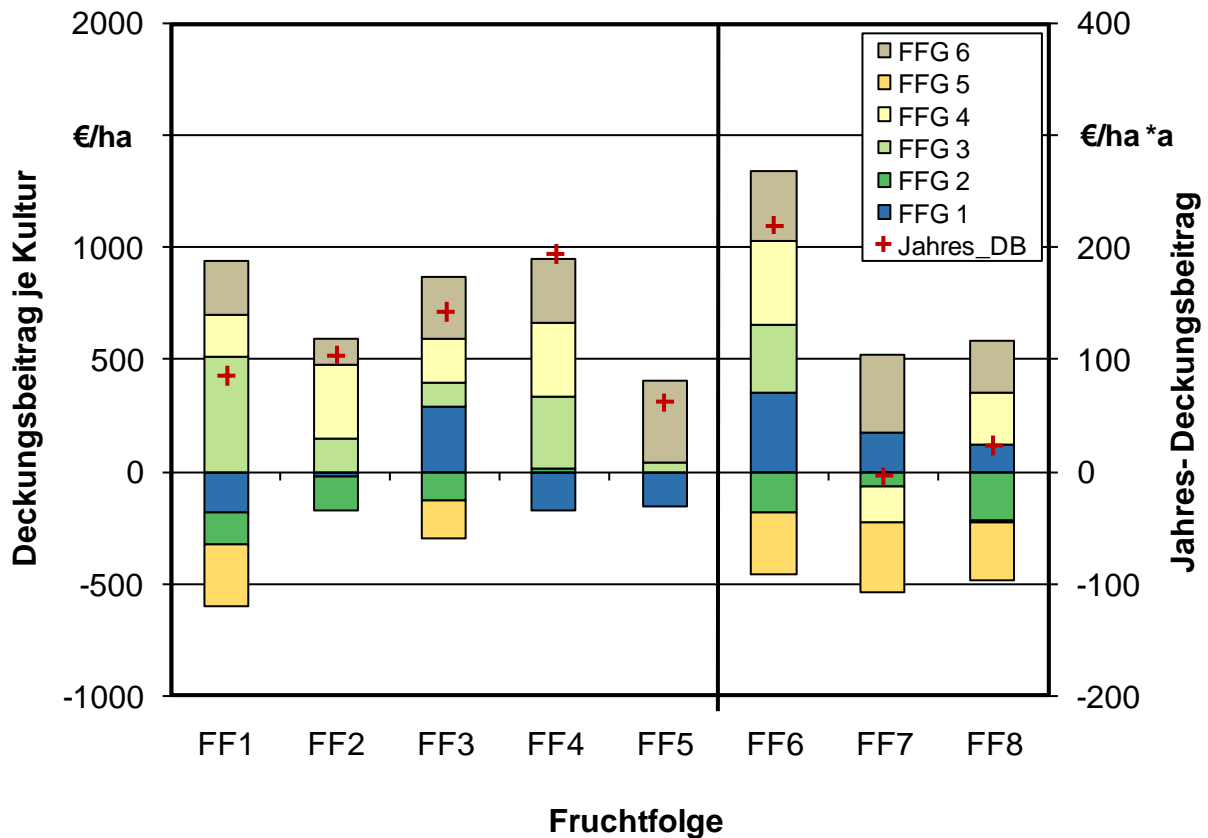


Abbildung 10: Vergleich des durchschnittlichen Jahresdeckungsbeitrag der Kern- und Regionalfruchtfolgen, 1. Versuchsanlage, 2005 - 2008 (linke Achse), sowie Deckungsbeiträge der einzelnen Fruchtfolgeglieder jeweils über die Fruchtfolge aufsummiert (rechte Achse); die Werte sind im Anhang, Tabelle 9 aufgeführt

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 Klee gras 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 Fruchtfolglied 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.

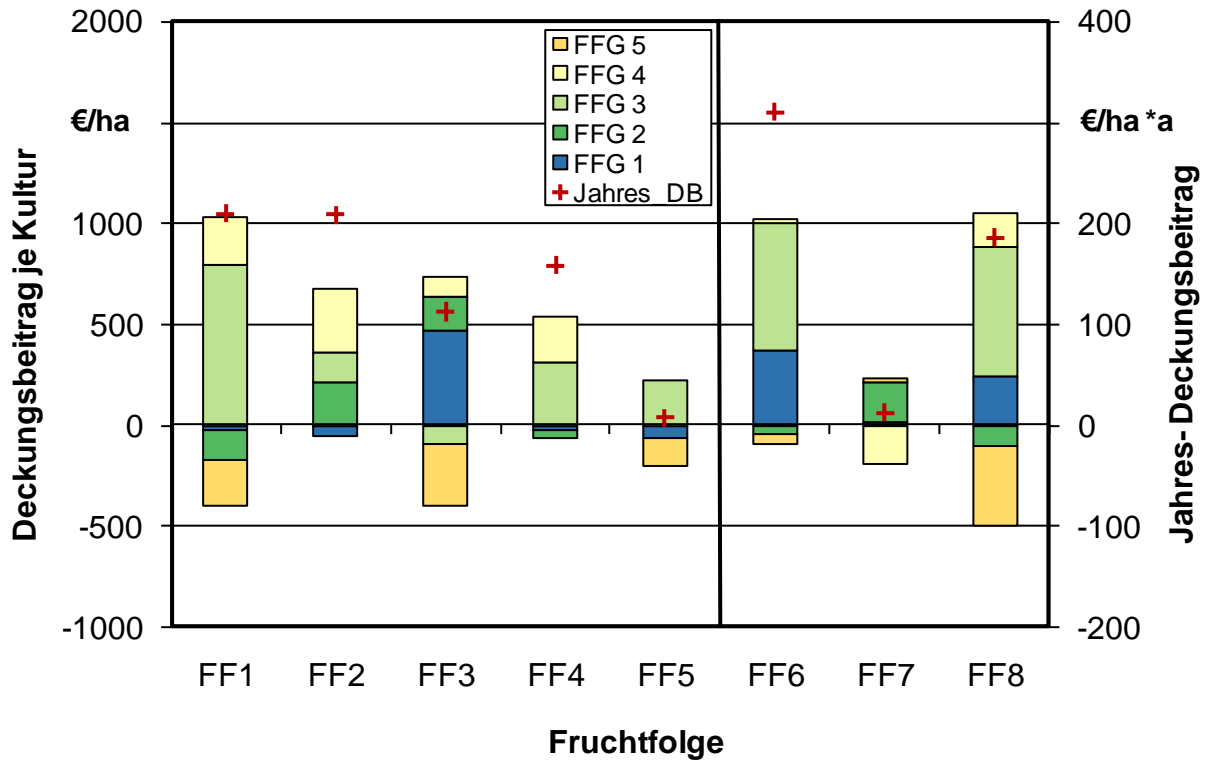


Abbildung 11: Vergleich des durchschnittlichen Jahresdeckungsbeitrag der Kern- und Regionalf Fruchtfolgen, 2. Versuchsanlage, 2006 - 2008 (linke Achse), sowie Deckungsbeiträge der einzelnen Fruchtfolgeglieder jeweils über die Fruchtfolge aufsummiert (rechte Achse); die Werte sind im Anhang, Tabelle 10 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 Klee gras 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 Ganzpflanzennutzung 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<sub>4</sub>-Pflanzen wie Mais und Sorghumhybriden erreichen die höchsten Trockenmasse-Erträge. Daneben liefert aber auch dreimal geschnittenes Klee gras eine gute Ertragsleistung. Bei den Getreiden mit Ganzpflanzennutzung zeigt Winterroggen 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 Aussatterminen 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 Klee-grasbetonte 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 Klee-gras 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](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.