



**Technologie- und Förderzentrum**  
im Kompetenzzentrum für Nachwachsende Rohstoffe

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

**- Faktorminimierung -**

(Reduktion von Pflanzenschutzmitteln und Düngung, Bayern)

**Abschlussbericht**

19.12.2008

Dr. Kathrin Deiglmayr  
Dr. Maendy Fritz  
Franz Heimler  
Dr. Bernhard Widmann

Laufzeit des Projekts:  
15.03.2005 bis 31.01.2009

## 1 Einleitung

Seit der Novellierung des „Erneuerbare-Energien-Gesetzes“ (EEG) im Jahr 2004 hat die landwirtschaftliche Produktion von Substraten für die Biogasanlage sehr stark an Bedeutung gewonnen. Der Anbauumfang betrug im Jahr 2008 etwa 500.000 ha und hat damit gegenüber 2007 einen Flächenzuwachs von 25 % erfahren. Effiziente und nachhaltige Anbausysteme für Energiepflanzen sind deswegen für eine zukunftsfähige Entwicklung der Biogasbranche unabdingbar. Der optimierte Produktionsmittleinsatz spielt unter diesen Rahmenbedingungen eine wichtige Rolle, da hier einerseits die Fundamente für eine wirtschaftliche Produktion gelegt und andererseits eine ökologisch nachhaltige Landbewirtschaftung sichergestellt wird.

## 2 Problemstellung und Zielsetzung

Seit 2005 läuft das vom Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (BMELV) geförderte und von der Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR) betreute Verbundvorhaben „EVA I“ an sieben Standorten in Deutschland. In diesem Vorhaben werden Kulturarten in verschiedenen Anbausystemen auf ihre Ertragsfähigkeit und ihre Eignung für die Biogasproduktion geprüft. Das Ziel dieses Verbundprojektes ist es, konkrete Anbauempfehlungen und Fruchtfolgevorschlage für die in der Energieproduktion empfehlenswerten Kulturen zu entwickeln.

Der Satellitenversuch zu Minimierungsstrategien im Energiepflanzenbau soll klaren, ob ein reduzierter Faktoreinsatz wirtschaftliche und ökologische Vorteile bringt. Aufgrund des drastischen Preisanstiegs bei den Mineraldüngern hat der optimale Dungemittleinsatz einen stärkeren Einfluss auf den erzielbaren Gewinn der Pflanzenproduktion gewonnen. Daneben ist insbesondere die mineralische Stickstoffdüngung im Hinblick auf die Energiebilanz von großer Bedeutung. Die optimale Dungeintensitat liegt deswegen möglicherweise etwas niedriger als für das Ausschöpfen des maximalen Ertragsniveaus nötig.

Spezielle Aspekte im Energiepflanzenanbau, wie früher Erntetermin, geringe Erntereste auf der Fläche, geringe Anforderungen an Schmackhaftigkeit beziehungsweise den Gehalt an Giftstoffen sowie eine Pflanzenarchitektur, die strohreichere Typen erlaubt, lassen die Hypothese zu, dass extensivere Produktionsverfahren möglich sind. Da auch die Segetalflora einen Beitrag zur Methanproduktion leistet, kann der Herbizideinsatz im Energiepflanzenanbau eventuell reduziert werden. Zudem können hochwachsende Unkrautarten durch eine frühe Beerntung an der Samenproduktion gehindert werden.

Mittel- und langfristige Folgen der Minimierung könnten allerdings eine Abnahme des pflanzenverfügbaren Stickstoffs im Boden und eine Steigerung des Unkrautsamenpotentials sein, die bei der Produktion von Marktfrüchten zu Problemen führen könnten. Daher ist die Untersuchung der Minimierungsstrategien in Fruchtfolgen mit Energiepflanzen und optimal geführten Marktfrüchten zur Abschätzung der langfristigen Effekte essentiell.

## **3 Versuchsaufbau und Methoden**

### **3.1 Lage der Versuchsflächen**

Im Teilprojekt 1 des Verbundprojektes „EVA I“ repräsentiert Bayern die Standorte der Vorgebirgs- und Mittelgebirgsregionen mit schlechten bis mittleren Böden, einer niedrigen Temperatursumme und einer guten bis sehr guten Wasserversorgung. Typische Kulturen sind Wintergerste und Ackerfutter.

Am Standort Ascha, ca. 20 km nördlich von Straubing gelegen, kommen die Minimierungsvarianten, die in die Kern- und Regionalfruchtfolgen eingebettet sind, zum Anbau. Die Versuchsfläche liegt in ca. 430 m Höhe über NN in leichter Neigung an einem Hang. Bei einer mittleren Jahrestemperatur von 7,5 °C und einer jährlichen Niederschlagshöhe von 807 mm beträgt die Vegetationszeit in der Regel 190 bis 210 Tage. Das Ausgangsmaterial der Bodenbildung sind Granite und Gneise mit nur geringen Löss- bzw. Lösslehmbeimengungen. Die Leitböden in der Region sind als Braunerden anzusprechen und weisen einen Gehalt an organischem Kohlenstoff von 1,2 % auf. Im Hinblick auf die Nährstoffversorgung ist insbesondere die relativ niedrige Phosphor-Versorgung des Standorts bei der Düngeplanung zu berücksichtigen.

### **3.2 Versuchsaufbau**

Der Versuch zur Minimierung von Düngung und Pflanzenschutz wurde in die Versuchsanlage des Grundversuchs (Kern- plus Regionalfruchtfolgen) in Form einer Spaltanlage integriert. Die Fruchtfolgen 3, 6 und 8 (siehe Tabelle 1) wurden mit dreifacher Parzellenanzahl angebaut und entsprechend den Minimierungsstufen in Tabelle 2 gepflegt. Jede Ernteparzelle hat 1,50 m breite Stirnränder und ist beidseitig von einer Trennparzelle flankiert, um verfälschende Randeffekte zu vermeiden. Die beerntete Parzellenfläche beträgt 12 m<sup>2</sup>.

Die drei untersuchten Fruchtfolgen decken folgende Produktionsschwerpunkte ab: Fruchtfolge 3 zielt vorwiegend auf die Produktion von Biomasse zur energetischen Nutzung ab, bei Fruchtfolge 6 und 8 wird der Energiepflanzenanbau in die Futter- bzw. Marktfruchtproduktion integriert. Alle drei Fruchtfolgen starteten jeweils mit Mais, wobei hier drei Sorten mit unterschiedlichen Nutzungszielen (Energienmais, Silomais, Körnermais) angebaut wurden.

Tabelle 1: Überblick über die drei Fruchtfolgen des Versuchs zur Faktorminimierung; fett gedruckte Kulturen werden zur Energienutzung verwendet, die übrigen als Marktfrucht oder Futtermittel

Fruchtfolgen mit reduziertem Faktoreinsatz			
Jahr	3	6	8
2005	<b>Mais</b>	Silomais	Körnermais
2006	<b>Futterroggen</b> <b>Sorghumhybride</b>	<b>Futterroggen</b> Silomais	<b>Welsches Weidelgras</b> Kartoffeln
2007	<b>W.Triticale</b> <b>Welsches Weidelgras</b>	<b>Wickroggen</b> <b>Sorghumhybride</b>	<b>W.Weizen</b> <b>Erbsen</b>
2008	W.Weizen	W.Weizen	W.Weizen

Im Rahmen des Grundversuchs wurden die Kulturen ortsüblich optimal gedüngt und bei Erreichen der Schadschwellen gegebenenfalls mit Pflanzenschutzmitteln (PSM) behandelt. In der ersten Stufe der Minimierung wurde der Stickstoffdünger um 30 kg N ha<sup>-1</sup> je Kultur vermindert, in der zweiten Stufe wurde zusätzlich zur reduzierten Stickstoffdüngung auch vollständig auf PSM (insbesondere Herbizide) verzichtet. Marktfrüchte wie beispielsweise Kartoffeln in Regionalfruchtfolge 8 sind von der Minimierung ausgenommen. Der Versuch wurde 2005 und 2006 parallel angelegt, so dass der witterungsbedingte Jahreseffekt in der Auswertung berücksichtigt werden kann.

Tabelle 2: Darstellung der Intensitätsstufen im Minimierungs-Satellitenversuch

Variante	Grundversuch	Minimierung 1	Minimierung 2
Intensität	ortsüblich optimal	- 30 kg N ha <sup>-1</sup> je Kultur	- 30 kg N ha <sup>-1</sup> je Kultur und Verzicht auf PSM

### 3.3 Wetterdaten über die Versuchsdauer 2005 bis 2008

Die Jahre 2005 bis 2008 waren im Vergleich zum langjährigen Mittel überdurchschnittlich warm und niederschlagsreich (Tabelle 3). Gleichzeitig waren die Jahre durch viele Wetterextreme geprägt. Das Frühjahr 2005 war sehr niederschlagsreich und warm. Die günstige Witterung setzte sich im Frühsommer fort, Juni und Juli wiesen im Durchschnitt 1,6 °C bzw. 0,6 °C höhere Temperaturen auf wie das langjährige Mittel. Der August dagegen war eher kühl, gefolgt von einem milden und trockenen Herbst. Der Winter 2005/2006 war sehr kalt und führte bei manchen Winterungen zu einer stark verzögerten Bestandesentwicklung. Erst ab Mitte April konnten sich dann

wieder frühlingshaftere Temperaturen durchsetzen. Der niederschlagsreiche Mai und warme Juni boten ideale Bedingungen für das Pflanzenwachstum. Der Juli 2006 war ausgesprochen trocken und löste bei vielen Kulturen eine beschleunigte Abreife aus. Nach einem kühlen und relativ feuchten August folgten milde Herbstmonate mit sehr geringen Niederschlägen.

Ein ungewöhnlich warmer Winter 2006/2007, in dem die Monatsdurchschnittstemperaturen nicht den Gefrierpunkt erreichten, führte zu einer sehr langen und üppigen Bestandesentwicklung der Kulturen. Durch die Trockenheit im April litten die Winterungen unter Trockenstress, die weiterhin ungewöhnlich hohen Temperaturen beschleunigten die Bestandesentwicklung enorm. Im Mai hingegen war die Summe der Niederschläge mehr als doppelt so hoch wie im langjährigen Mittel. Anhaltende Feuchtphasen im Juni und Juli erschwerten die Aussaat einiger Zweitkulturen, so dass diese erst Mitte Juli (für eine normale Bestandesentwicklung deutlich zu spät) durchgeführt werden konnte.

*Tabelle 3: Niederschlagssummen und Lufttemperaturen über die Jahre 2005 bis 2008, in Klammern die Differenz zum langjährigen Mittel. Daten der Wetterstation Steinach der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft, ca. 10 km Luftlinie von Ascha entfernt*

<b>Zeitraum</b>	<b>Niederschlags- summe</b> <b>[mm]</b>	<b>Durchschnitts- temperatur</b> <b>[°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)	8,76 (+1,2)	Wenig Niederschlag in Herbst und Winter, relativ milde Temperaturen, Frühjahr sehr niederschlagsreich, Mai sehr warm und relativ trocken, Sommer durchschnittlich warm mit ausreichend Niederschlägen

Während der September 2007 überdurchschnittlich hohe Niederschläge zu verzeichnen hatte, war der Oktober sehr trocken. Der darauffolgende Winter war sehr mild mit im Vergleich zum langjährigen Mittel etwas geringeren Niederschlägen. Die Bestände konnten sich dennoch üppig entwickeln. März und April 2008 waren bei durchschnittlichen Temperaturen übermäßig niederschlagsreich, so dass teilweise 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 abreifen und die Zweitkulturen ab Mitte Juni gesät werden konnten.

### **3.4 Datenerhebung und Berechnung des Biogasertrags**

Die Datenerfassung erfolgt im Verbundprojekt nach einheitlichen Kriterien. In allen Versuchen wurden zu festgelegten Wuchsstadien Daten zur Bodenbedeckung der Kulturen sowie des Unkrautbesatzes, zum Krankheits- und Schädlingsbefall und zur Bestandeshöhe erhoben. Die Ertragsentwicklung wurde mit mehreren Zeiternten auf Teilflächen von 1 m<sup>2</sup> verfolgt. Zur Ernte wurde der Frischmasse-Ertrag der Ernteparzelle gewogen. Bei Druschfrüchten wurden die Erntedaten nach Korn und Stroh getrennt erfasst und analysiert. Von allen Kulturen wurden repräsentative Pflanzenproben zur Bestimmung der Trockensubstanz und zur Analyse der Inhaltsstoffe entnommen. In den Minimierungsvarianten wurden jeweils prüfgliedweise die Makronährstoffe N, P, K und Mg analysiert sowie eine einfache Weender-Analyse durchgeführt.

Über die Inhaltsstoffe und die Trockenmasseerträge wurde mittels Schätzformeln die Biogas- und Methanausbeute je kg organischer Trockenmasse (im Folgenden je kg oTM) und die Biogas- und Methanerträge in Kubikmeter je Hektar der jeweiligen Kultur bestimmt. Dabei wurden für jede Kultur wuchsstadienspezifische Verdaulichkeitskoeffizienten der relevanten Inhaltsstoffe verwendet. Bei Kulturen, für die in der Literatur keine Verdaulichkeitskoeffizienten vorliegen, wurden die Verdaulichkeiten ähnlicher Kulturarten (z.B. Werte von Sudangras (= *Sorghum sudanense*) für Futterhirse (= *Sorghum bicolor* x *Sorghum sudanense*)) zur Berechnung herangezogen. Fehlten die entsprechenden wuchsstadienspezifischen Werte, wurden frühere Reifestadien der Kulturen verwendet. Als Verdaulichkeitskoeffizienten für Wintertriticale wurden die gemittelten Werte von Weizen und Roggen verwendet.

Daneben wurden regelmäßig Bodenproben gezogen und auf Ammonium-, Nitrat-, Phosphat-, Kalium- und Magnesiumgehalte untersucht. Diese Werte bilden die Basis der Düngeplanung sowie der Nährstoffbilanzierung. Da letztere wie auch die Humusbilanzierung durch das Institut für Landnutzungssysteme und Landschaftsökologie am Leibniz-Zentrum für Agrarlandschaftsforschung (ZALF) e.V. in der ökologischen Begleitforschung über alle Standorte untersucht wird, wurden diese Werte zusammen mit den Ertragsdaten und Nährstoffanalysen entsprechend weitergegeben. Zudem wurden die Wetterdaten des Versuchsstandorts zur Berechnung der klimatischen Wasserbilanz zur Verfügung gestellt.

Die ökonomische Bewertung der verschiedenen Fruchtfolgen wurde für alle Standorte des Verbundprojekts vom Institut für Betriebslehre der Agrar- und Ernährungswirtschaft der Justus-Liebig-Universität in Gießen durchgeführt. Neben den Ertragsdaten

wurden hierzu alle Arbeitsschritte und Einsatzfaktoren detailliert aufgelistet und an den Projektpartner weitergegeben.

Zur statistischen Auswertung wurden die Ertragsdaten nach Fruchtfolge und Intensitätsstufe für die einzelnen Anbaujahre aufsummiert und in einer Varianzanalyse in SAS (Version 9.1) auf signifikante Unterschiede geprüft. Ebenso wurden die Erträge des abschließenden Fruchtfolgeglieds Winterweizen auf signifikante Unterschiede getestet, um akkumulierte Fruchtfolge- bzw. Vorfruchteffekte bewerten zu können.

### **3.5 Berechnung der Stickstoffeffizienz**

Zur Berechnung der Stickstoffeffizienz wurde der erzielte Trockenmasseertrag in Relation zum aufgewandten Düngemittel-Stickstoff berechnet. Hierfür wurden die Trockenmasse-Erträge der einzelnen Kulturen sowie die jeweiligen N-Düngegaben über die Fruchtfolge aufsummiert.

### **3.6 Berechnung der Energiebilanz**

Um die Auswirkungen des reduzierten Produktionsmitteleinsatzes auf die Energiebilanz zu untersuchen, wurde die Differenz im Energie-Input und -Output der Minimierungsvarianten zur optimal geführten Variante berechnet. Die Methode zur Berechnung der Energiebilanz wurde von Herrn Willms (ZALF e.V.) entwickelt. So wurden die Einsparungen im Energieaufwand (= Energie-Input) für Stickstoffdüngung und Pflanzenschutz auf Basis von Werten berechnet, die von Herrn Lackemann und Herrn Willms (ZALF e.V.) zur Verfügung gestellt wurden. Der Nettoenergieertrag (= Energie-Output) wurde durch den Heizwert des Methanertrags dargestellt. Dabei wurde für Methan ein Heizwert von  $36 \text{ MJ je Nm}^3$  angenommen. Alle Werte wurden bezogen auf die Fläche berechnet, da diese der am stärksten limitierende Produktionsfaktor ist.

## 4 Ergebnisse und Diskussion

### 4.1 Fruchtfolgeerträge

In dem Satellitenversuch zur Faktorminimierung in Bayern wurde in einer ersten Stufe die Stickstoffdüngung um 30 kg je ha und Kultur reduziert und in einer zweiten Stufe zusätzlich auf den Einsatz von Pflanzenschutzmitteln verzichtet. Nach dem ersten Fruchtfolgezyklus in der 1. Versuchsanlage zeichnete sich vor allem der Einfluss der in beiden Minimierungsvarianten verminderten Stickstoffdüngung mit Ertragseinbußen von 11 % ab (Abbildung 1).

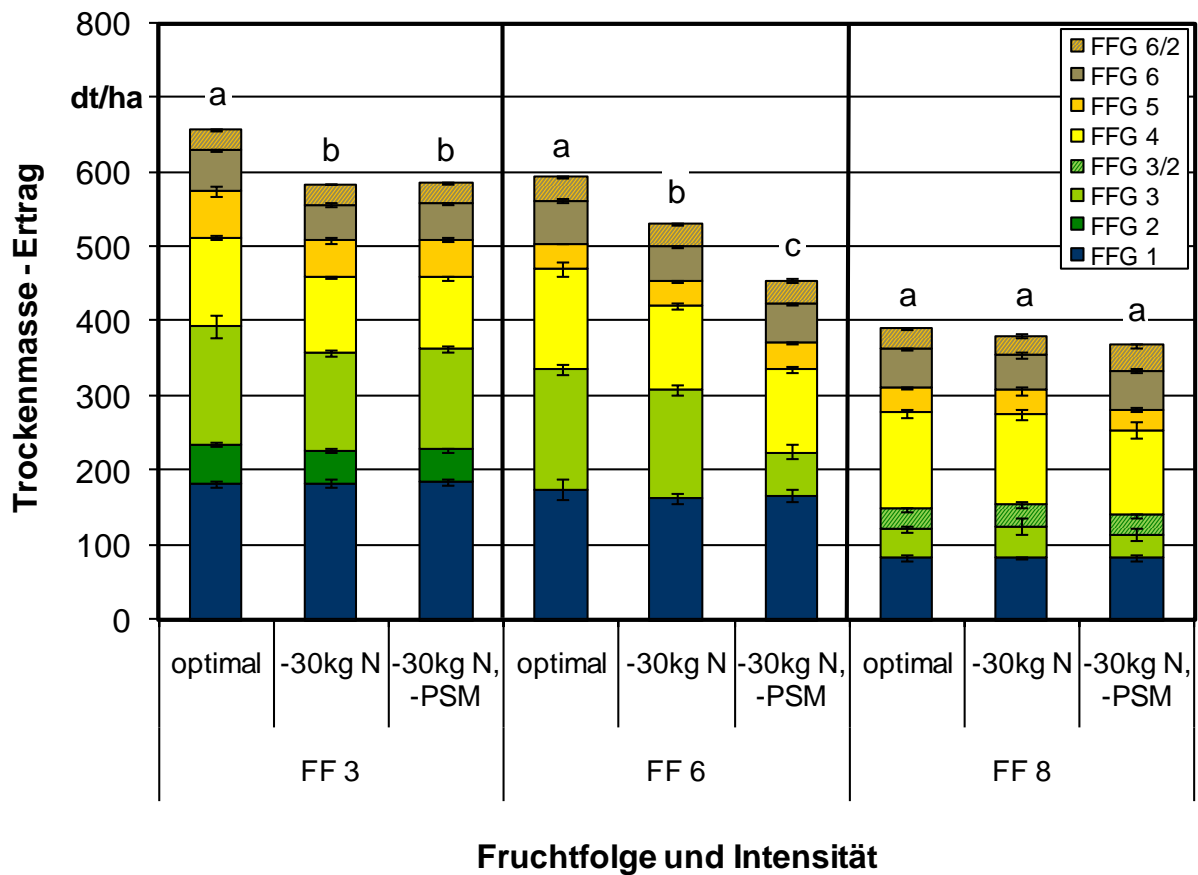


Abbildung 1: Aufsummierte Erträge der Fruchtfolgen im Satellitenversuch zu Minimierungsstrategien im Fruchtfolgeversuch 1. Anlage, Anbauzeitraum 2005-2008.; schraffierte Flächen (FFG 3/2 und FFG 6/2) stehen für die nebenernteprodukte der angebauten Marktfrucht; dargestellt sind arithmetische Mittelwerte mit  $n = 4$  und deren Standardfehler, die Zeichen a - c bezeichnen signifikante Unterschiede

In Fruchtfolge 6 trat ein ähnlicher Minderertrag durch die verringerte Stickstoffgabe auf. Noch deutlicher wirkte sich jedoch der Verzicht von Pflanzenschutzmitteln mit Ertragseinbußen von insgesamt 139 dt/ha (= 23 %) aus. In Fruchtfolge 8 dagegen wurden keine signifikanten Mindererträge in den Minimierungsvarianten festgestellt, wobei hier die Marktfrucht Kartoffel ebenso wie der Winterweizen als letztes Frucht-



folgeglied von der Faktorreduzierung ausgeschlossen war. Betrachtet man die einzelnen Fruchtfolgeglieder, fällt auf, dass im ersten Jahr bei den drei Maissorten kein Einfluss der unterschiedlichen Varianten erkennbar ist. Aufgrund der zweifachen Bodenbearbeitung bei Versuchsanlage und zur Maissaat kam fast kein Unkraut auf, so dass in diesem Jahr Mais auch ohne Herbizideinsatz erfolgreich angebaut werden konnte. In 2006 jedoch traten gravierende Ertragseinbußen in Mais (3. Fruchtfolgeglied, Fruchtfolge 6) in der zweiten Minimierungsstufe auf. Andere Kulturen wie Sorghumhybride, Welsches Weidelgras und Getreide-GPS waren konkurrenzstärker bzw. zeigten eine gute Unkrautunterdrückung, so dass trotz des fehlenden Pflanzenschutzes gleiche Erträge erzielt werden konnten. Allerdings reagierte Getreide-GPS (insbesondere Winterroggen, -triticale und Wickroggen) und auch Sorghumhybride mit teilweise signifikanten Mindererträgen stärker auf die reduzierte Stickstoffdüngung.

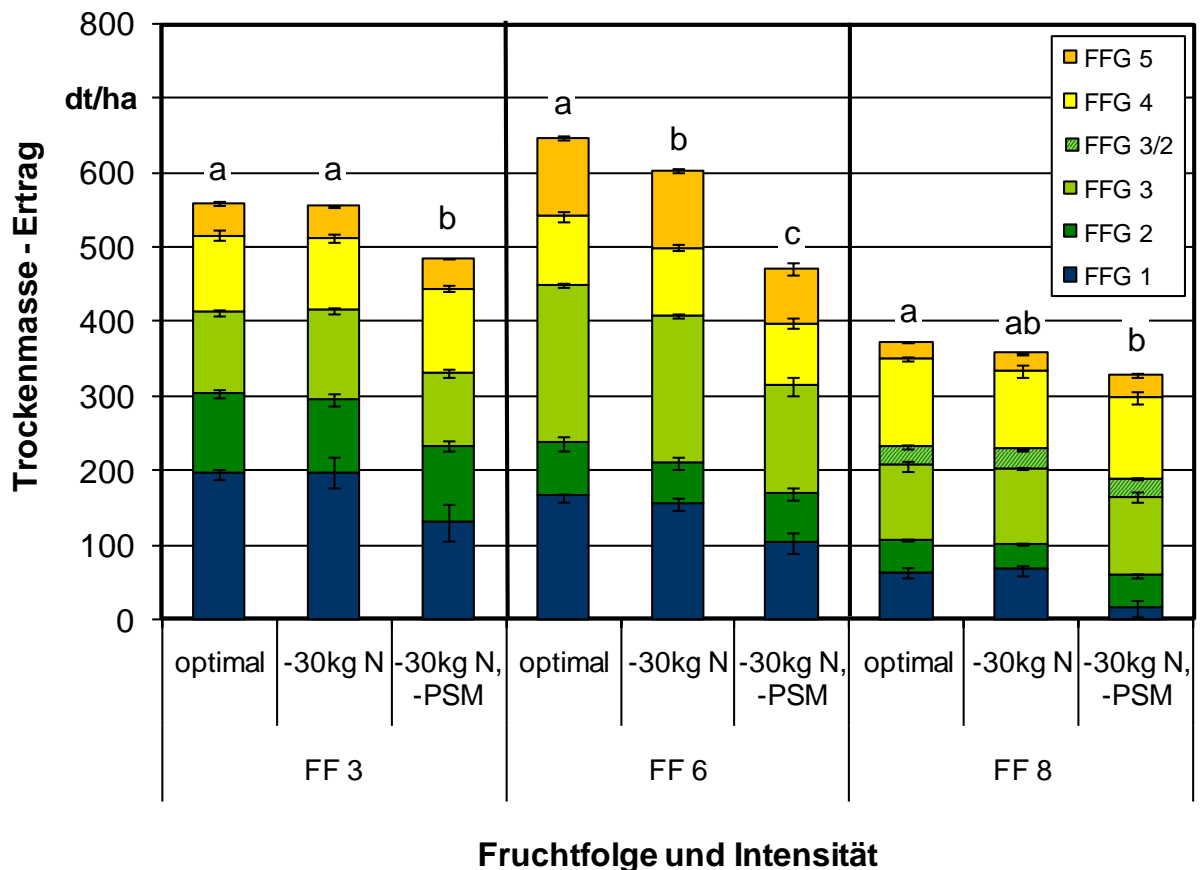


Abbildung 2: Aufsummierte Erträge der Fruchtfolgen im Satellitenversuch zu Minimierungsstrategien im Fruchtfolgeversuch 2. Anlage, Anbauzeitraum 2006-2007; schraffierte Flächen (FFG 3/2) stehen für die Nebenernteprodukte der angebauten Marktfrucht; dargestellt sind arithmetische Mittelwerte mit  $n = 4$  und deren Standardfehler, die Zeichen a - c bezeichnen signifikante Unterschiede

In Abbildung 2 zeichnen sich in den Gesamterträgen der 2. Versuchsanlage die negativen Ertragseffekte durch den Verzicht auf Pflanzenschutzmittel deutlich ab, da schon das jeweils erste Fruchtfolgeglied Mais hohe Ertragseinbußen aufwies. So wurden in Fruchtfolge 3 die Gesamterträge um 74 dt/ha (= 13 %) innerhalb von drei Jahren reduziert. In Fruchtfolge 6 summierten sich die Ertragsausfälle in der zweiten Minimierungsstufe auf 175 dt/ha (=27 %). Hier zeigte sich, dass neben dem Mais auch die Sorghumhybride bei hohem Unkrautdruck keine ausreichende Konkurrenzskraft aufwies und ohne Herbizideinsatz Mindererträge von ca. 30 % einbrachte. Die reduzierte Stickstoffdüngung führte in Fruchtfolge 6 zu einem geringeren Gesamtertrag von 42 dt/ha, der jedoch auf die ersten drei Fruchtfolgeglieder zurückgeht. Wickroggen und Sorghumhybride (Fruchtfolgeglied 4 und 5) erzielten trotz geringerer Stickstoffversorgung gleich hohe Erträge wie die optimal gedüngte Variante. Auch Fruchtfolge 3 und 8 zeigten sich unbeeinflusst durch die reduzierte Stickstoffgabe. In Fruchtfolge 8 ist der nahezu Totalverlust des Körnermais in der Minimierungsstufe ohne Pflanzenschutzmittel zu sehen. In den nachfolgenden Kulturen Welsches Weidelgras als Winterzwischenfrucht und Kartoffeln, die als Marktfrüchte von der Minimierung ausgenommen sind, zeichneten sich keine Folgewirkungen durch einen erhöhten Unkrautdruck ab.

#### **4.2 Winterweizenerträge**

Der Winterweizen, das letzte Fruchtfolgeglied der ersten Versuchsanlage, wurde als Marktfrucht angebaut und deswegen in allen drei Varianten optimal geführt. Hier zeichnete sich die Folgewirkung der reduzierten Stickstoffdüngung deutlich ab (Abbildung 3). Ein Teil dieses Effekts ist auf einen Düngungsfehler zurückzuführen, der einige Parzellen der Minimierungsvariante 1 (reduzierte N-Düngung) betraf, da hier ein Streifen bei der ersten Düngegabe nicht gedüngt wurde. Aber auch in der Minimierungsvariante 2, die von dem Düngungsfehler unbeeinflusst optimal gedüngt wurde, traten in Fruchtfolge 3 und 6 Mindererträge von 7 bzw. 6 dt/ha auf. Offensichtlich zehrten diese ertragreichen Varianten vermehrt an den Stickstoffvorräten des Bodens, so dass hier die N-Nachlieferung aus der organischen Substanz des Bodens nach drei Jahren differenzierter Behandlung schon deutlich eingeschränkt war. Dagegen war hinsichtlich der fehlenden Unkrautkontrolle keine Folgewirkung auf die Ertragsbildung im Winterweizen zu erkennen. Tendenziell kam es sogar zu geringen Mehrerträgen in den Minimierungsvarianten ohne Pflanzenschutz gegenüber denjenigen, in denen nur die Stickstoffdüngung reduziert war. Möglicherweise kam es hier durch den erhöhten Unkrautaufwuchs, der nur teilweise bei der Ernte erfasst wurde, zu einer stärkeren Rückführung an leicht zersetzbarer organischer Substanz.

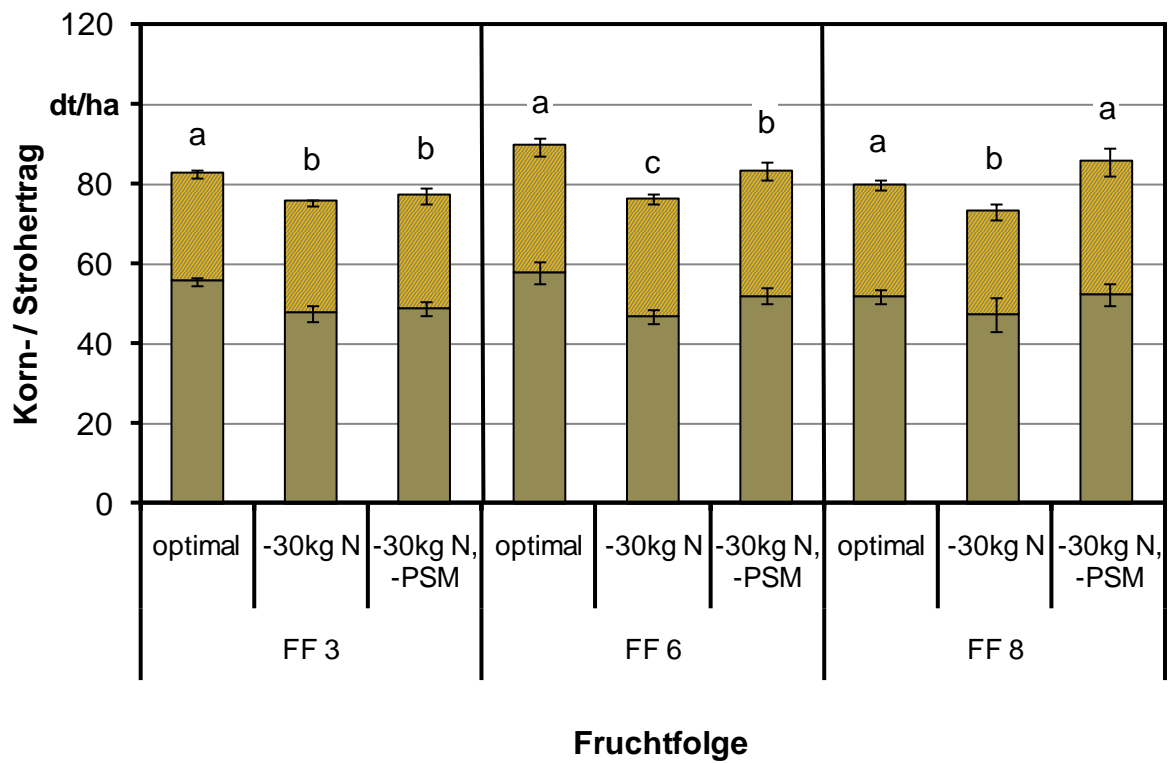


Abbildung 3: *Kornerträge von Winterweizen im Satellitenversuch zu Minimierungsstrategien im Fruchtfolgeversuch 1. Anlage, 2008; dargestellt sind arithmetische Mittelwerte mit  $n = 4$  und deren Standardfehler, die Zeichen a - c bezeichnen signifikante Unterschiede*

### 4.3 Stickstoffeffizienz

Ein wichtiger Aspekt im Hinblick auf steigende Düngemittelpreise ist die Stickstoffeffizienz, d. h. der Trockenmasse-Ertrag der je gedüngtem Kilogramm Stickstoff erzielt wird. Dieser Parameter gibt einen Hinweis auf die Ausnutzung des Stickstoffdüngers durch den Pflanzenbestand und kann damit indirekt mögliche Stickstoffverluste wie z.B. Nitratverlagerung oder Lachgasemissionen anzeigen.

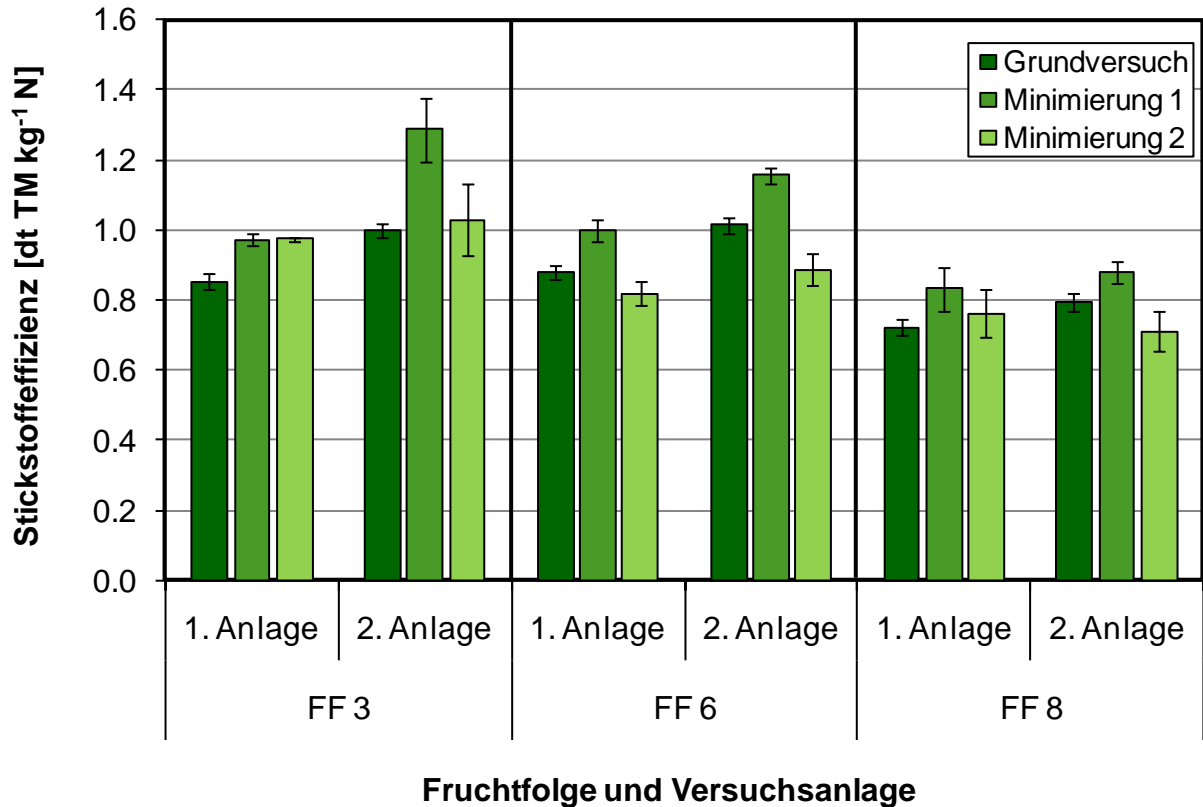


Abbildung 4: Einfluss der Minimierungsstrategien auf die Stickstoffeffizienz der Fruchtfolgen in der 1. und 2. Versuchsanlage; dargestellt sind arithmetische Mittelwerte mit  $n = 4$  und deren Standardfehler

Zur Ermittlung der Stickstoffeffizienz wurden die Trockenmasse-Erträge der einzelnen Fruchtfolgeglieder aufsummiert und zum über die gesamte Fruchtfolge ausgebrachten mineralischen Stickstoff ins Verhältnis gesetzt. Wie in Abbildung 4 zu sehen ist, zeichneten sich in den Minimierungsvarianten Unterschiede in der Produktionsintensität sehr deutlich in der Stickstoffeffizienz ab. Da nur relativ geringe Mindererträge bei niedrigerem Stickstoffdüngungsniveau auftraten, erhöhte sich die Stickstoffeffizienz im Mittel um 16 % im Vergleich zur optimal gedüngten Variante. Der Verzicht auf Pflanzenschutzmittel dagegen wirkte sich aufgrund der teilweise sehr hohen Ertragsverluste bei Mais negativ auf die Stickstoffeffizienz aus, so dass hier der positive Effekt der reduzierten Stickstoffdüngung teilweise ausgeglichen bzw. umgekehrt wurde.

#### 4.4 Energiebilanz

Ziel der Minimierungsvarianten ist es, durch eine Reduktion der Produktionsfaktoren Stickstoffdüngung und Pflanzenschutz neben der wirtschaftlichen Effizienz auch das Verhältnis Energie-Output: Energie-Input zu maximieren und die Energiebilanz damit zu optimieren. Da eine umfassende Energiebilanz sehr aufwändig zu berechnen ist, wurde im Folgenden nur die Differenz im Energie-Input und -Output der Minimierungsvarianten zur optimal geführten Variante betrachtet.

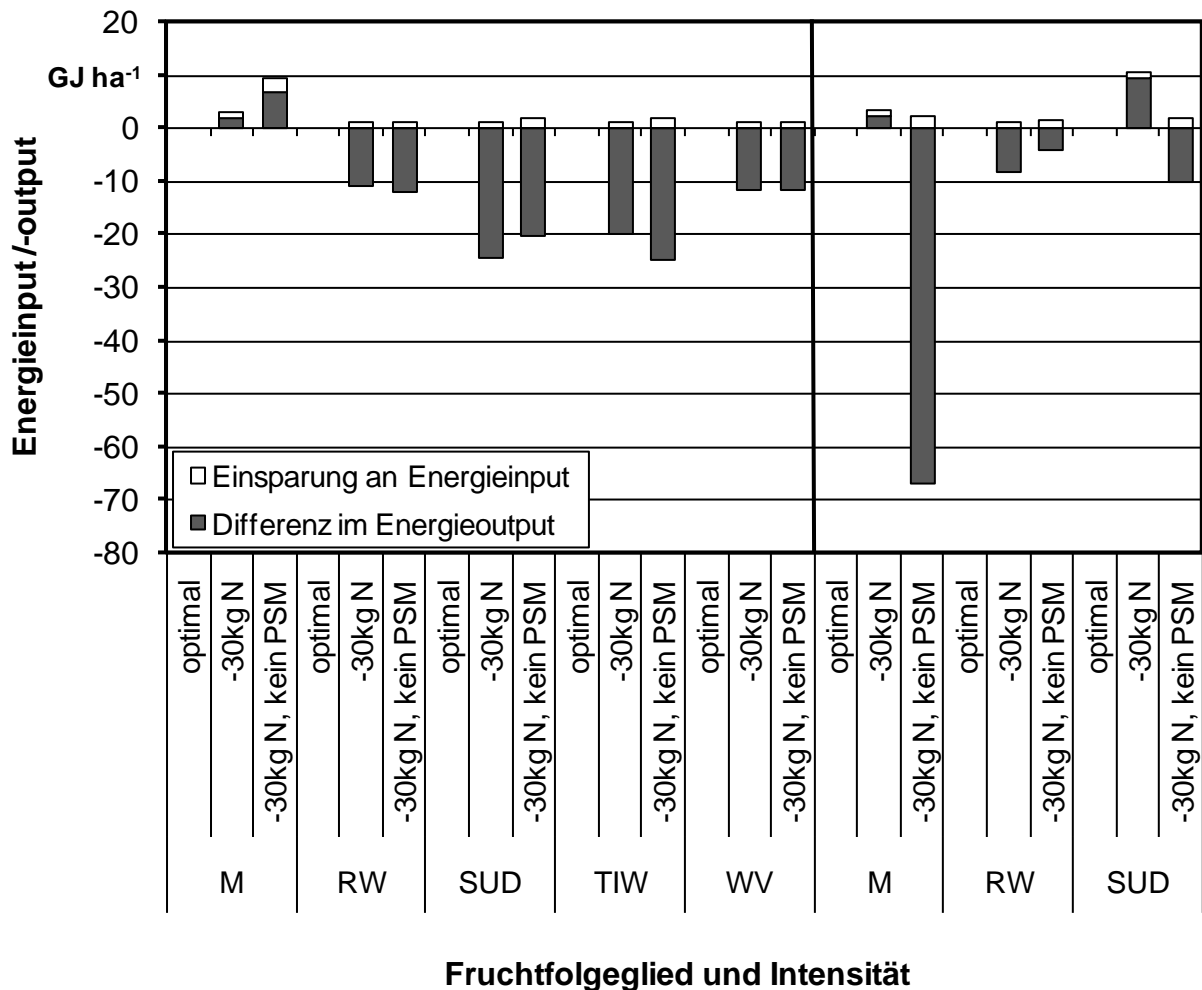


Abbildung 5: Unterschiede im Energie-Input und -Output zwischen der optimal geführten Variante und den Minimierungsvarianten in Fruchtfolge 3

Durch die Reduktion der Stickstoffgabe um 30 kg/ha und Kultur ergab sich eine Einsparung im Energie-Input von 1236 MJ je ha (Abbildung 5, Tabelle 4). Dies entspricht dem Energieaufwand für Düngemittelproduktion und -transport. Da bei der Ausbringung kein Arbeitsgang eingespart wurde, sondern sich nur die Höhe der Stickstoffgabe verringerte, wurde hierfür keine Energie-Ersparnis berücksichtigt. Der Verzicht auf Pflanzenschutz schlägt abhängig von der Kultur und dem eingesetzten Herbizid unterschiedlich zu Buche. Im Roggen wurde z.B. ein hochwirksames Mittel mit sehr geringer Aufwandmenge eingesetzt, so dass sich hier die Energie-Ersparnis vor allem durch den nicht durchgeführten Arbeitsgang (Kraftstoffverbrauch plus Maschi-

nenabschreibung = 106 MJ/ha) ergab. Bei Mais dagegen war der Herbizidaufwand deutlich höher, so dass sich hier durch den Verzicht auf Pflanzenschutz insgesamt 1246 MJ/ha an Energie einsparen ließ.

Insgesamt wirkte sich die Differenz im Nettoenergieertrag am stärksten auf die Energiebilanz aus. Abgesehen von einigen wenigen Fällen, in denen trotz der Minimierung (nicht signifikante) Mehrerträge erzielt wurden, führten die Ertragseinbußen bei reduziertem Faktoreinsatz zu sehr negativen Salden. Wie schon beim Trockenmasse-Ertrag zeigte sich auch hier, dass der fehlende Pflanzenschutz im Mais die Energiebilanz gravierend verschlechtert. So lässt sich daraus ableiten, dass ein Pflanzenschutzmittel-Einsatz im Mais aus energetischer Sicht äußerst effektiv ist, da hier mit geringem Energieaufwand ein hoher Mehrertrag gesichert werden kann.

*Tabelle 4: Unterschiede im Energie-Input und -Output zwischen der optimal geführten Variante und den Minimierungsvarianten in Fruchtfolge 3, 6 und 8 der 1. Versuchsanlage über die Jahre 2005 - 2007*

Fruchtfolge	Fruchtart	Minimierung 1			Minimierung 2		
		Differenz im Energie-			Differenz im Energie-		
		Input	Output	Saldo	Input	Output	Saldo
		[MJ/ha]	[MJ/ha]	[MJ/ha]	[MJ/ha]	[MJ/ha]	[MJ/ha]
3	Mais	1236	1977	<b>3213</b>	2482	6857	<b>9339</b>
	W.Roggen	1236	-10985	<b>-9749</b>	1349	-11919	<b>-10570</b>
	Sorghumhybr.	1236	-24476	<b>-23240</b>	1770	-20126	<b>-18357</b>
	W.Triticale	1236	-19777	<b>-18541</b>	1770	-24846	<b>-23077</b>
	Wel.Weidelgr.	1236	-11693	<b>-10457</b>	1236	-11432	<b>-10196</b>
6	Mais	1236	-11853	<b>-10617</b>	2482	-8565	<b>-6083</b>
	W.Roggen	1236	0	<b>1236</b>	1770	0	<b>1770</b>
	Mais	1236	-13928	<b>-12692</b>	2482	-107635	<b>-105153</b>
	Wickroggen	1236	-22140	<b>-20904</b>	1570	-22093	<b>-20523</b>
	Sorghumhybr.	1236	-1330	<b>-94</b>	1770	799	<b>2569</b>
8	Körnermais	1236	-883	<b>353</b>	2482	384	<b>2866</b>
	Wel.Weidelgr.	1236	0	<b>1236</b>	1236	0	<b>1236</b>
	Kartoffeln	0	4756	<b>4756</b>	0	-9681	<b>-9681</b>
	W.Weizen	1224	-6905	<b>-5681</b>	1757	-13369	<b>-11612</b>
	Erbse	0	-566	<b>-566</b>	0	-5329	<b>-5329</b>

Bei anderen Kulturen wie Winterroggen, Wintertriticale und Weidelgras traten vor allem durch die reduzierte Stickstoffdüngung negative Energie-Salden auf. Diese müssen aber vor dem Hintergrund betrachtet werden, dass die Stickstoffdüngung auch in der optimal geführten Variante relativ niedrig bemessen war. So weisen die Fruchtfolgen 3 und 6 in der ersten Versuchsanlage ein N-Defizit von im Mittel -46 bzw. -20 kg N/ha und Jahr auf (siehe Abschlussbericht Bayern, Grundversuch). In Fruchtfolge 8, in der die Stickstoffbilanz relativ ausgeglichen war, wirkte sich die reduzierte Stickstoffdüngung weit weniger negativ auf die Energiebilanz aus.

## 5 Zusammenfassung

In dem Satellitenversuch zu Minimierungsstrategien im Energiepflanzenbau wurde am Standort Ascha die Produktionsintensität in Bezug auf Stickstoffdüngung und Pflanzenschutz variiert. Es zeichnete sich ab, dass ein reduzierter Faktoreinsatz möglich ist. Bis auf Mais und Sorghumhirse konnten alle Kulturen erfolgreich ohne Herbizidanwendung angebaut werden. Ganzpflanzengetreide und Weidelgras können durch die wesentlich dichteren Pflanzenbestände aufkeimende Unkräuter schnell und effektiv überwachsen und damit unterdrücken. In nachfolgenden Kulturen konnten selbst bei vorangehender starker Verunkrautung keine negativen Folgewirkungen der fehlenden Unkrautkontrolle festgestellt werden.

Die reduzierte Stickstoffdüngung führte vor allem bei Wintertriticale, Winterroggen und Sorghumhybride zu teilweise signifikant geringerer Biomassebildung. Im Mittel über alle Kulturen betragen die Ertragseinbußen 7 %, wobei diese in einzelnen Jahren und Kulturen bis auf 17 % ansteigen konnten. Diese Ergebnisse müssen jedoch vor dem Hintergrund betrachtet werden, dass die optimal geführten Varianten sehr verhalten gedüngt wurden und relativ hohe negative Stickstoffsalden aufwiesen. Unter diesen Gegebenheiten ist eine Reduktion der Stickstoffdüngung selbstverständlich sehr schnell ertragswirksam.

Mais reagierte aufgrund seiner hohen Nährstoffeffizienz kaum auf die geringere Stickstoffgabe. Diese Kultur kann aufgrund ihres Wachstumszyklus sehr gut von der Stickstoffnachlieferung aus dem Bodenvorrat zehren, da die Zeiten höchsten Nährstoffbedarfs mit den maximalen Mineralisationsraten zusammenfallen.

Für die landwirtschaftliche Praxis wird empfohlen, die Stickstoffdüngung entsprechend dem Entzug zu bemessen. Wie die Versuchsergebnisse bestätigen, stellt die Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft in ihren Beratungsunterlagen gute Anhaltspunkte für den Stickstoffbedarf der unterschiedlichen Kulturen zur Verfügung (Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, 2007). Nur bei Mais und Sorghumhirse wurde der hohe Stickstoffentzug nicht durch die empfohlenen N-Gaben gedeckt. Langfristig wird eine Stickstoffdüngung, die unter der N-Abfuhr mit dem Erntegut liegt, zu einer Abnahme der Bodenfruchtbarkeit und geringeren Erträgen führen und ist deswegen nicht im Sinne einer nachhaltigen Landbewirtschaftung. Auch im Hinblick auf die Energiebilanz ist eine Reduktion der Stickstoffdüngung in den meisten Fällen von Nachteil, da der gesparte Energieaufwand durch die geringeren Trockenmasse- und damit Energie-Erträge in einen Netto-Energieverlust umgekehrt wird. Ebenso sollte bei Mais auf einen Herbizideinsatz nicht verzichtet werden, da hier durch einen geringen Energieaufwand hohe Mehrerträge gesichert und damit die Energiebilanz deutlich positiv beeinflusst wird. Bei Ganzpflanzengetreide kann jedoch bei entsprechender Fruchtfolgegestaltung auf eine Pflanzenschutzmaßnahme verzichtet werden.

Insgesamt ist aufgrund des hohen Jahreseinflusses eine weitere Fortführung des Verbundvorhabens notwendig, um die bisher gewonnenen Erkenntnisse weiter abzusichern. Die Minimierungsstrategien scheinen eine Möglichkeit zu bieten, einer befürchteten weiteren Intensivierung der Landbewirtschaftung durch die Energiepflanzenproduktion entgegenzuwirken.

## **6 Literatur**

Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (2007): Leitfaden für die Düngung von Acker- und Grünland, Gelbes Heft, 8. überarbeitete Auflage, 98 S.