Ökonomische Bewertung des Anbaus und der Nutzung von Energiepflanzen

Endbericht

(Projekt-Nr. 22002505)

Im Auftrag des Bundesministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz
gefördert durch die Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V.

vorgelegt vom:

Institut für Betriebslehre
der Agrar- und Ernährungswirtschaft

Prof. em. Dr. Dr. h. c. F. Kuhlmann

JUSTUS-LIEBIG-
UNIVERSITÄT
GIESSEN

verantwortlich

Dr. Thore Toews

Prof. h. c. Dr. Dr. F. Kuhlmann

Gießen, 2009-05-27

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung 1

1.1 Problemstellung 1

1.2 Vorgehensweise 1

2 Theoretische Vorüberlegungen zur Auswertung der Versuchsergebnisse 3

3 Zur Definition des EVA-Deckungsbeitrages 4

3.1 Zur allgemeinen Definition des Deckungsbeitrages 4

3.2 Die Definition des EVA-Deckungsbeitrages 5

3.2.1 Variable und fixe Leistungen bei der Bewertung von Anbausystemen 6

3.2.2 Variable und fixe Kosten bei der Bewertung von Anbausystemen 6

3.3 Gültigkeit des Deckungsbeitrages als Entscheidungskriterium 7

3.4 Methodische Anmerkung 8

3.5 Vom Deckungsbeitrag zum Gewinn 9

3.6 Mehrwertsteuer 10

4 Annahmen zu Mengengerüsten und Preisen (Methodik) 11

4.1 Erträge 11

4.1.1 Erträge von Anwelksilage 11

4.1.2 Marktfruchterträge 12

4.2 Arbeitserledigungskosten 12

4.2.1 Gärrestmenge 13

4.2.2 Gärrestausbringungskosten 14

4.3 Mineraldüngerapplikation 15

4.4 Ganzpflanzenerntekosten 15

4.5 Trocknungskosten 17

4.6 Gärsubstratpreise 17

4.6.1 Angebot 18

4.6.2 Nachfrage 21

4.6.3 Gleichgewichtspreis von Angebot und Nachfrage 21

4.7 Marktfruchtpreise 22

4.8 Vergleich zwischen Biogassubstrat- und Marktfruchtpreisen 24

4.9 Düngerpreise 25

4.10 Nährstoffbedarf 26

4.11 Nährstoffbedarf von Gärsubstraten 27
4.12 Nährstoffbedarf von Marktfrüchten 27
4.13 Leguminosen 28
4.14 Materialaufwand für Pflanzenschutz 30
4.15 Biogasausbeuten 30
4.16 Saatgutkosten 34
5 Ergebnisse 37
5.1 Silomais in Hauptfruchtstellung, die Referenzfrucht für Biogassubstrate 37
5.1.1 Erträge und Deckungsbeiträge von Silomais in Hauptfruchtstellung 38
5.1.2 Einfluss von Niederschlagswasser auf den Maisertrag 40
5.2 Zweifruchtanbau von Wintergetreide (Wi.-Zw.-Fr.) und Mais (Zweit-Fr.) im Vergleich zu Mais in Hauptfruchtstellung (Grundversuch) 42
5.2.1 Wechselseitige Effekte von Winterroggen-GPS und Mais im Zweifruchtanbau auf Ertrag und TM-Gehalt 43
5.2.2 Wirtschaftlichkeit (Ist-Analyse) 46
5.2.3 Wirtschaftlichkeit von Roggen-GPS in Abhängigkeit vom Erntetag bzw. Aussaattag 48
5.2.4 Einfluss des Standortes auf die Wirtschaftlichkeit der Zweikulturnutzungssystems 50
5.2.5 Ist-Analyse der Zweikulturnutzungsergebnisse des Grundversuchs 52
5.2.6 Aussaat von Mais im Juni 52
5.3 Alternative Fruchtfolgeglieder zu Mais 54
5.3.1 Hauptfruchtanbau 54
5.3.2 Zweit- und Zwischenfruchtanbau 57
5.3.3 Externe Forschungsergebnisse „NaRoBi“ 59
5.4 Zweikulturnutzungssystem 62
5.4.1 Mittlere Vorzüglichkeit der unterschiedlichen Anbausystem im Rahmen des Zweikulturnutzungsversuches 63
5.4.2 Ein- versus Zweikulturnutzungssystem im Standortvergleich 64
5.4.3 Vergleich der Anbausysteme über die Standorte 66
5.4.4 Trockenmassezuwächse bzw. –rückgänge von Roggen bzw. Mais bei Verzögerung des Erntetermins 69
5.5 Ackerfuttermischungen 73
5.5.1 Jahreserträge 73

5.5.2 TM-Erträge bei unterschiedlichen Nutzungsfrequenzen 78
5.5.3 Gaserträge 80
5.5.4 Wirtschaftlichkeit unterschiedlicher Nutzungsregime 82
5.5.5 Entscheidung über eine Ernte im Einzelfall 84
6 Zusammenfassung 86
Literaturverzeichnis 88

1 Einleitung

1.1 Problemstellung

Das Forschungsprojekt EVA hat das Ziel Empfehlungen für die Produktion von pflanzlichen Rohstoffen für die Biogasproduktion abzuleiten. Zwei elementare Thesen liegen den Forschungsarbeiten zu Grunde. Es wird erwartet, dass einerseits die relativen Vorzüglichkeiten der betrachteten Kulturpflanzen von Standort zu Standort unterschiedlich sind und andererseits wechselseitig positive und negative Effekte der einzelnen Fruchtfolgeglieder aufeinander wirken und diese Fruchtfolgeeffekte ebenfalls standortspezifisch sind. Zur Untersuchung dieser Zusammenhänge sind die Auswirkungen der natürlichen nicht beeinflussbaren Standorteigenschaften (Boden, Klima) auf den Ertrag von besonderem Interesse. Sie bestimmen das Ertragspotenzial von Früchten bzw. Fruchtfolgen.

1.2 Vorgehensweise

Da ein wesentliches Forschungsziel die Analyse der Auswirkungen der natürlichen nicht-beeinflussbaren Wachstumsfaktoren auf den potenziell erreichbaren Ertrag, das Ertragspotenzial, darstellt, werden in Kapitel 2 kurz die wesentlichen theoretischen Grundannahmen vorgestellt, die erforderlich sind, um die Auswertungen in der gewählten Form durchführen zu können.

Als Entscheidungskriterium zur Bewertung der geprüften Fruchtfolgeglieder bzw. Fruchtfolgen wird der Deckungsbeitrag pro Hektar gewählt. Da die Definition des Deckungsbeitrages von der Entscheidungssituation abhängt, wird in Kapitel 3 der gewählte Deckungsbeitragsbegriff ausführlich definiert. Darüber hinaus wird dargelegt, warum der Deckungsbeitrag tatsächlich das relevante Entscheidungskriterium, für die Auswahl unterschiedlicher Anbaualternativen ist.

Zur Ableitung der Leistungen und Kosten der unterschiedlichen Anbaualternativen sind Annahmen bezüglich der Mengengerüste und der Preise erforderlich. In Kapitel 4 wird detailliert auf diese Annahmen eingegangen.

Im Ergebniskapitel (Kapitel 5) werden zunächst in Abschnitt 5.1 die erzielten Ergebnisse des Grundversuches zu Silomais dargestellt, weil Silomais durch seine hohe Wettbewerbsfähigkeit für den Biogassubstratanbau als Referenzfrucht für alternative Gärsubstrate dient. Der Zweikulturanbau stellt in der Praxis häufig eine Ergänzung zum Silomais Hauptfruchtanbau dar. In Abschnitt 5.2 werden die Ergebnisse zum Zweikulturnutzungssystem bestehend aus Mais und Winterroggen, die sich im Rahmen des Grundversuches ergeben haben, dargelegt.

Ein wichtiger Bestandteil des EVA-Projektes besteht darin, alternative Pflanzenarten im Hinblick auf Ihre Wettbewerbsfähigkeit zum Mais zu untersuchen. In Abschnitt 5.3 erfolgt die ökonomische Bewertung dieser Fruchtartenalternativen. Neben den empirischen Ergebnissen des EVA-Grundversuches werden in diesem Abschnitt auch die Daten des Forschungsprojektes zur „Bewertung nachwachsender Rohstoffe zur Biogaserzeugung für die Pflanzenzüchtung“ (NaRoBi), die von der Fachhochschule Soest zur Verfügung gestellt wurden, ausgewertet.

Abschnitt 5.4 widmet sich den Ergebnissen des Sattelitenprojektes 6, dass gezielt zur Untersuchung des Zweikulturnutzungssystems (Koordination: Universität Kassel) angelegt wurde.

Im Teilprojekt 7 wurden unterschiedliche Gräser- und Gräser-Leguminosen-Mischungen untersucht. Inwieweit diese Ackerfuttermischungen aus ökonomischer Sicht eine Alternative zum Mais darstellen, wird in Abschnitt 5.5 ermittelt.

Schließlich werden die wesentlichen Ergebnisse in Kapitel 6 zusammengefasst.

2 Theoretische Vorüberlegungen zur Auswertung der Versuchsergebnisse

Um die Ertragseinflüsse der nicht-beeinflussbaren Wachstumsfaktoren untersuchen zu können, sollten die beeinflussbare Wachstumsfaktoren (Bodenbearbeitung, Sortenwahl, Düngung etc.) in ausreichender Menge und richtiger Qualität zur Verfügung gestellt werden – also nicht ertragsbegrenzend sein. Wenn diese Bedingung erfüllt ist, dann entspricht der realisierte Ertrag dem Ertragspotenzial.

In der Praxis kann das (theoretische) Ertragspotenzial jedoch nie vollständig erreicht werden, weil pflanzenbauliche Entscheidungen ex ante getroffen werden müssen und sie deshalb ex post auf Grund beschränkter Informationen und beschränktem Wissens nicht optimal sein können. Das Ertragspotenzial ist deshalb eine theoretische Größe und es ist nur möglich, sich dem Ertragspotenzial mehr oder weniger gut zu nähern. Inwieweit das Ertragspotenzial eines Standortes in einem Jahr tatsächlich erreicht wird, hängt von der Treffsicherheit der Vorhersagen und der Zielwirksamkeit der daraus abgeleiteten pflanzenbaulichen Entscheidungen ab. Der relative Erreichungsgrad des Ertragspotenzials ist deshalb sowohl in der Praxis als auch im Versuchswesen von Standort zu Standort und Jahr zu Jahr wegen ungleicher pflanzenbaulichen Fähigkeiten der Entscheidungsträger (Landwirt, Versuchstechniker) und durch Zufälle unterschiedlich. Allein die Wahl der Sorten wird im jeweiligen Einzelfall mehr oder weniger richtig gewesen sein und das Ertragspotenzial in unterschiedlichem Maße ausschöpfen. Deshalb sind auch die in den Versuchen ermittelten Erträge nur ein Indikator für die jeweiligen Ertragspotenziale (Standort $\times$ Jahr), was bei der Interpretation der Ergebnisse berücksichtigt werden muss.

Um die Versuchsergebnisse dennoch in Bezug auf die Eingangsfrage verwenden zu können, muss davon ausgegangen werden, dass an allen Versuchsstandorten nach bestem pflanzenbaulichem Wissen entschieden wurde und die ermittelten Erträge deshalb die unter praktischen Bedingungen realisierbaren Ertragspotenziale wiederspiegeln. Weiter wird unterstellt, dass die ersten drei Versuchsjahre zusammen bereits eine gewisse Repräsentativität für die Klimabedingungen des Standortes besitzen, so dass – mit Einschränkungen – eine Extrapolation von den Versuchsergebnissen auf die zukünftig zu erwartenden Erträgen zulässig ist.

3 Zur Definition des EVA-Deckungsbeitrages

Die ökonomischen Auswertungen für die in den EVA-Versuchen getesteten Anbausysteme erfolgen anhand der von den Anbausystemen erzielten Deckungsbeiträge. Der Deckungsbeitrag eines Anbausystems wird EVA-Deckungsbeitrag genannt. Sein Inhalt wird nach einer allgemeinen Klärung des Begriffes (Abschnitt 3.1) in Abschnitt 3.2 definiert.

3.1 Zur allgemeinen Definition des Deckungsbeitrages

Das Kriterium für wirtschaftliche Entscheidungen ist i. d. R. die Leistungs-Kosten-Differenz. Leistungen und Kosten sind als die mathematischen Produkte aus den erzeugten Produktmengen und den Produktpreisen bzw. den verbrauchten Produktionsfaktormengen und den Faktorpreisen definiert. Werden mit einer Produktionsaktivität gleichzeitig mehrere Produktarten erzeugt und mehrere Faktorarten verbraucht, müssen die Beträge für die einzelnen Leistungsarten zur Leistung der Aktivität und die Beträge für die einzelnen Kostenarten zu den Kosten der Aktivität summiert werden.

Wirtschaftliche Entscheidungen beinhalten die Auswahl der „besten“ Handlungsalternative aus dem Kreis der insgesamt gegebenen und zulässigen Handlungsalternativen. Zur Entscheidungsfindung müssen im ersten Schritt die Leistungs-Kosten-Differenzen sämtlicher Handlungsalternativen berechnet werden, um daraus dann im zweiten Schritt die Alternative mit der höchsten Leistungs-Kosten-Differenz auszuwählen. Die so ermittelte „beste“ Alternative wird optimale Handlungsalternative genannt.

Entscheidungen beziehen sich stets auf zukünftige Handlungen. Die Ermittlung und Auswahl von Handlungen für die zukünftige Gestaltung von Unternehmensaktivitäten heißt Planung. Im Unterschied dazu heißt die wirtschaftliche Analyse von in der Vergangenheit realisierten Handlungen Kontrolle. Planungen werden mit Planungsrechnungen, Kontrollen mit Kontrollrechnungen durchgeführt. Die beiden Rechnungsarten weisen teilweise unterschiedliche Begrifflichkeiten auf (vgl. z. B. Kuhlmann, 2007, S. 233 ff.).

Für Planungsrechnungen zur Bestimmung der dann relevanten Plan-Leistungs-Kosten-Differenzen von Handlungsalternativen werden die Leistungen und Kosten in variable und fixe Bestandteile zerlegt. Variable Leistungen und variable Kosten sind dadurch definiert, dass sie von Handlungsalternative zu Handlungsalternative wechselnde Beträge annehmen können. Im Unterschied dazu sind fixe Leistungen und fixe Kosten dadurch definiert, dass sie von den Handlungsalternativen in ihren Beträgen nicht berührt werden und deshalb die wirtschaftliche Vorzüglichkeit einer Handlungsalternative im Vergleich zu anderen Alternativen nicht beeinflussen. Die Plan-Leistungs-Kosten-Differenz als Entscheidungskriterium für die Auswahl der optimalen Handlungsalternative berücksichtigt deshalb nur die variablen Leistungen und Kosten.

Die Differenz aus variablen Leistungen und variablen Kosten wird als Deckungsbeitrag bezeichnet. Die (optimale) Handlungsalternative mit dem höchsten Deckungsbeitrag ist stets auch die gewinnmaximale Handlungsalternative, da die für die Ermittlung des Gewinns zusätzlich zu berücksichtigenden fixen Leistungen und Kosten definitionsgemäß für alle Handlungsalternativen dieselben Beträge aufweisen.

Der Inhalt des Begriffes Deckungsbeitrag ist nicht generell festlegbar. Welche Leistungs- und Kostenarten als variabel anzusehen sind, hängt von der betrachteten Entscheidungssituation ab.

Wenn bspw. ein Landwirt entscheiden möchte, ob er seine Weizenbestände mit flüssigem oder festem Stickstoffdünger versorgen möchte und davon ausgeht, dass in beiden Fällen die gleichen Erträge mit den gleichen Qualitäten erzeugt werden, dann ergeben sich keine variablen Leistungen. Zur Bestimmung der Deckungsbeiträge der Handlungsalternativen müssen nur die unterschiedlichen Kosten für die Düngemittel und die Düngerausbringung berücksichtigt werden; andere Kostenarten werden von der Entscheidung nicht berührt. Da keine variablen Leistungen auftreten, ergeben sich für beide Handlungsalternativen negative Deckungsbeiträge. Der Landwirt entscheidet sich für die Alternative mit dem geringsten negativen Deckungsbeitrag bzw. den geringsten variablen Kosten.

Wenn ein Landwirt dagegen vor der Entscheidung steht, ob er ein Feldstück seines Betriebes mit Weizen oder Roggen bestellen soll, dann sind die Naturalerträge und die Preise der beiden Produkte unterschiedlich und damit die Leistungen als variabel anzusehen. Auf der Kostenseite werden sich Unterschiede bei den Material- und den Arbeitserledigungsaufwändungen zwischen den Anbaualternativen ergeben, so dass dafür variable Kosten entstehen. Die Deckungsbeiträge für die beiden Alternativen ergeben sich also als Differenzen aus den variablen Leistungen für die erzeugten Produkte und den variablen Kosten für den Materialverbrauch und die Arbeitserledigung. Fixe Leistungen, wie die entkoppelte Flächenprämie und fixe Kosten, wie etwa der Pachtzins und die Grundsteuer, bleiben dagegen unberücksichtigt, da sie unabhängig von der Anbauentscheidung in konstanter Höhe anfallen.

3.2 Die Definition des EVA-Deckungsbeitrages

Im Rahmen des EVA-Projektes werden an jedem Versuchsstandort unterschiedliche Anbausysteme, d. h. unterschiedliche Fruchtfolgeglieder bis zu ganzen Fruchtfolgen, im Hinblick auf ihre wirtschaftliche Vorzüglichkeit für die Substratproduktion zur Biogaserzeugung bewertet. Dies geschieht nach Maßgabe des eingangs genannten Entscheidungskriteriums des EVA-Deckungsbeitrages. In diesem Fall ist der Deckungsbeitrag die Differenz aus den von Anbausystem zu Anbausystem variierenden Leistungen (variable Leistungen) und den von Anbausystem zu Anbausystem variierenden Kosten (variable

Kosten). Der EVA-Deckungsbeitrag ist darüber hinaus so spezifiziert, dass er pro Nutzflächeneinheit (pro ha Anbaufläche) und pro Jahr berechnet wird (€ $\times$ ha^{-1} $\times$ Jahr^{-1}). Aus betriebswirtschaftlicher Sicht ergibt sich also die Vorteilhaftigkeit eines Anbausystems aus seinem Deckungsbeitrag (pro ha und pro Jahr) im Vergleich zu den Deckungsbeiträgen (pro ha und Jahr) anderer Anbausysteme. Damit wird realistischerweise angenommen, dass der Landnutzer sein Wirtschaftsergebnis pro Zeiteinheit maximieren möchte und nach wirtschaftlich bestmöglicher Nutzung des knappen Produktionsfaktors Boden strebt.

3.2.1 Variable und fixe Leistungen bei der Bewertung von Anbausystemen

Welche Leistungs- und Kostenarten sind nun im Einzelnen bei der Bestimmung des EVA-Deckungsbeitrages als variabel bzw. fix anzusehen? Selbstverständlich handelt es sich bei den mit den Produktpreisen multiplizierten Naturalerträgen um variable Leistungen, da sie von Anbausystem zu Anbausystem unterschiedlich sein können. Demgegenüber sind entkoppelte Flächenprämien fixe Leistungen, weil sie nicht in Abhängigkeit von Anbausystemen variieren.

In diesem Zusammenhang ist zu berücksichtigen, dass die Naturalerträge einzelner Fruchtfolgeglieder in unterschiedlichen Fruchtfolgen aufgrund von Vorfrucht-Nachfrucht-Wirkungen unterschiedlich sein werden. Stellt man deshalb Deckungsbeitragsvergleiche für einzelne Fruchtfolgeglieder an, die in verschiedenen Fruchtfolgen stehen, muss man sich dieses möglichen Fehlers bewusst sein. Tatsächlich können deshalb Deckungsbeitragsvergleiche nur für ganze Anbausysteme, d. h. für ganze Fruchtfolgen, mit zudem mehrfacher Wiederholung durchgeführt werden, wenn man gesicherte Aussagen über die relative wirtschaftliche Vorzüglichkeit von Anbausystemen an einem Standort gewinnen will. Kurzfristige Deckungsbeitragsvergleiche für einzelne Früchte in unterschiedlichen Fruchtfolgen liefern nur vorläufige Ergebnisse, die – unter sachgerechter Berücksichtigung der genannten Einschränkungen – gleichwohl wichtige Hinweise zur Wirtschaftlichkeit liefern können.

Die variablen Leistungen eines Anbausystems, d. h. einer Fruchtfolge, ergeben sich durch Summierung der variablen Leistungen für die einzelnen Fruchtfolgeglieder mit anschließender Division durch die Anzahl der Jahre des Anbausystems, um den Einfluss unterschiedlicher Fruchtfolgelängen zu eliminieren.

3.2.2 Variable und fixe Kosten bei der Bewertung von Anbausystemen

Zur Berechnung der variablen Kosten für den EVA-Deckungsbeitrag sind sämtliche Materialaufwändungen (Saatgut, Pflanzenschutz- und Düngemittel etc.) und sämtliche Arbeitserledigungsaufwändungen für den Maschinen- und Arbeitseinsatz zu berücksichtigen,

da sie von Anbausystem zu Anbausystem unterschiedliche Beträge aufweisen können. Wie die einzelnen Kostenbestandteile für den Maschineneinsatz (Betriebsstoffe, Unterhaltung, Abschreibung, Zinsanspruch) im Einzelnen bestimmt werden, wird in Kapitel 4 erläutert.

Darüber hinaus sind Trocknungskosten als variable Kosten in Ansatz zu bringen, da sie nur für bestimmte Früchte auftreten und damit von Anbausystem zu Anbausystem variieren. Lagerhaltungskosten für die Produkte (die Gärsubstrate) werden nicht berücksichtigt, weil angenommen wird, dass die Produkte ab Ernte an die Biogasanlage geliefert werden. Kosten der Hagelversicherung werden – obwohl prinzipiell erforderlich – nicht erfasst, weil es sich zwar je nach Anbausystem um unterschiedliche, im Ganzen aber relativ geringe Beträge handelt. Der Fehler erscheint vernachlässigbar.

Flächennutzungskosten, wie Pachtzins bzw. Pachtzinsanspruch und Grundsteuern, werden zur Bestimmung des EVA-Deckungsbeitrages nicht in Ansatz gebracht, weil sie erstens nicht von Anbausystem zu Anbausystem variieren und es sich damit um Fixkosten handelt und weil zweitens mit dem EVA-Deckungsbeitrag die bestmögliche Verwertung der Nutzflächen ermittelt werden soll. Flächenkosten sind nur dann zu berücksichtigen, wenn es in einer Entscheidungssituation darum geht, ob eine Fläche gepachtet werden soll oder nicht.

Zur Bestimmung des EVA-Deckungsbeitrages für ganze Anbausysteme (ganze Fruchtfolgen) müssen die variablen Kosten für die einzelnen Fruchtfolgeglieder summiert und – ebenso wie die variablen Leistungen – anschließend durch die Zahl der Anbaujahre des Anbausystems dividiert werden, um den Einfluss unterschiedlicher Fruchtfolgelängen auszuschalten. Werden in einem Jahr zwei Kulturen angebaut und geerntet, müssen die variablen Leistungen und die variablen Kosten für beide Kulturen addiert werden.

3.3 Gültigkeit des Deckungsbeitrages als Entscheidungskriterium

Bei der Betrachtung von Zweikulturnutzungssystemen wird gelegentlich argumentiert, dass allein höhere Gesamttrockenmasseerträge als Summe aus den Erträgen der Erst- und Zweitkultur ein hinreichendes Argument für die wirtschaftliche Vorzüglichkeit dieses Systems im Vergleich zu Einkulturnutzungssystemen seien. Diese Schlussfolgerung ist betriebswirtschaftlich nicht haltbar. Das Zweikulturnutzungssystem ist nur dann wirtschaftlich überlegen, wenn dessen EVA-Deckungsbeitrag, d. h. dessen Deckungsbeitrag pro ha und Jahr, höher ist als derjenige der besten Einkulturnutzungsalternative.

Diese Aussage wird gelegentlich mit dem zusätzlichen Argument in Zweifel gezogen, dass durch die höheren Trockenmasseerträge des Zweikulturnutzungssystems zur Deckung des Substratbedarfs einer Biogasanlage weniger Nutzfläche in Anspruch genommen werden müsse; die Flächendifferenz also für andere Kulturen genutzt werden können, die zusätzliche Deckungsbeiträge erbrächten. Zur Bewertung dieser Aussage sind zwei Fälle in Betracht zu ziehen:

Im ersten Fall finden die Substrat- und die Biogaserzeugung in getrennten Unternehmen statt. Das Substrat erzeugende Unternehmen verkauft das Substrat an das Biogas erzeugende Unternehmen zu einem vereinbarten Marktpreis. Für das Substrat erzeugende Unternehmen unterscheidet sich die Substratproduktion nicht von anderen Marktproduktionszweigen. Für jede Flächen beanspruchende Produktionsaktivität, sei es ein Ein- oder ein Zweikulturnutzungssystem, spiegelt der dafür ermittelte EVA-Deckungsbeitrag deren relative wirtschaftliche Vorzüglichkeit wider. Die Maximierung des betrieblichen Gesamtdeckungsbeitrages wird dadurch erreicht, dass die Produktionsalternativen – unabhängig von ihren Naturalerträgen – nach Maßgabe der Höhe ihrer EVA-Deckungsbeiträge ausgewählt werden.

Im zweiten Fall ist die Biogasanlage Bestandteil des Unternehmens, das auch den Substratbedarf für diese Anlage selbst erzeugt. Zur Berechnung der relativen Vorzüglichkeit von Substratanbausystemen ist davon auszugehen, dass der Betriebszweig „Substratproduktion“ das Substrat zu einem innerbetrieblichen Verrechnungspreis an den Betriebszweig „Biogas“ abgibt. Wie ist dieser Verrechnungspreis sachgerecht zu bestimmen? Unter der Annahme eines vollkommenen Marktes für Substrate ist als innerbetrieblicher Verrechnungspreis der Marktpreis anzusetzen; denn das Unternehmen könnte gegebenenfalls fehlendes Substrat zu diesem Preis auch von Dritten zukaufen, umgekehrt könnte es gegebenenfalls überschüssiges Substrat zu diesem Preis an Dritte verkaufen. Die Einführung des Zweikulturnutzungssystems mit seinen höheren Trockenmasseerträgen ist für das Unternehmen nur dann vorteilhaft, wenn sein unter Verwendung des Marktpreises ermittelter EVA-Deckungsbeitrag diejenigen aller Einkulturnutzungssysteme, sei es zur Substraterzeugung oder für andere marktgängige Produkte, übersteigt. Das Zweikulturnutzungssystem steht also tatsächlich nicht über die Trockenmasseerträge, sondern über die Deckungsbeiträge mit anderen Anbausystemen im Wettbewerb. Die Wettbewerbsfähigkeit des Zweikulturnutzungssystems mit seinen höheren Trockenmasseerträgen steigt/fällt gegenüber Einkulturnutzungssystemen mit steigenden/fallenden Marktpreisen für Substrate stärker, weil sich Marktpreisveränderungen bei höheren Trockenmasseerträgen stärker auf die Deckungsbeiträge auswirken, als bei den geringeren Trockenmasseerträgen der Einkulturnutzungssysteme.

3.4 Methodische Anmerkung

Aus methodischer Sicht sei angemerkt, dass für die betriebswirtschaftliche Auswertung der EVA-Versuche die Trennung zwischen Planung und Kontrolle, bzw. zwischen Planungs- und Kontrollrechnungen, mit ihren unterschiedlichen Begrifflichkeiten nicht konsequent eingehalten wurde. Die wirtschaftlichen Ergebnisse, die für die Versuche bestimmt werden, beziehen sich auf die Vergangenheit der bereits abgeschlossenen Versuchsglieder und

müssten deshalb tatsächlich mit Begriffen für Kontrollrechnungen und nicht mit dem Deckungsbeitrag als einem Planungsbegriff bestimmt werden. Die Begründung, dass trotzdem der Deckungsbeitrag verwendet wurde, ist darin zu sehen, dass die Versuchsergebnisse als Vorlagen für betriebliche Planungen dienen sollen, die dann selbstverständlich wieder mit Deckungsbeitragskalkulationen durchgeführt werden müssen.

3.5 Vom Deckungsbeitrag zum Gewinn

Die Höhe des Gewinns ist von der Höhe der eingebrachten unternehmenseigenen Faktoren abhängig. Er stellt die Bemessungsgrundlage für die Ertragssteuern eines Unternehmens dar. Verfügt ein landwirtschaftliches Unternehmen beispielsweise über einen größeren Teil Eigenland und familieneigene Arbeitskräfte, dann fällt der Gewinn höher aus als in einem Pachtbetrieb mit Fremdarbeitsverfassung. Dies ergibt sich daraus, dass für die eigenen Produktionsfaktoren keine Aufwändungen bei der Berechnung des Gewinns geltend gemacht werden dürfen. Wenn aber bei gleichen naturalen Leistungen und mengenmäßigen Aufwändungen der Gewinn von Unternehmen zu Unternehmen in Abhängigkeit von der Faktorausstattung unterschiedlich ist, ist er für Unternehmensvergleiche ungeeignet (vgl. DLG, 2004).

Für einen horizontalen Unternehmensvergleich ist es deshalb erforderlich „Faktoransätze“ für in das Unternehmen eingebrachte eigene Produktionsfaktoren zu berücksichtigen. Hierfür wird i. d. R. davon ausgegangen, dass die Faktoren zu üblichen Marktpreisen (Pacht, Zinsansatz etc.) zu beschaffen sind. Die Kennzahl die sich nach Subtraktion der Faktorkosten vom Gewinn ergibt, ist der Unternehmergewinn oder – synonym – das kalkulatorische Ergebnis.

Da nach obiger Definition des EVA-Deckungsbeitrages alle Kosten berücksichtigt wurden (Abschreibung, Lohn, Zins), sind zunächst keine weiteren Faktorkosten zu berücksichtigen.

Um jedoch vom Deckungsbeitrag zum Gewinn zu gelangen sind die fixen Kosten und Leistungen (Prämien) zu berücksichtigen. Die wichtigsten Fixkosten ergeben sich – neben den Flächenkosten – aus Verwaltung und Managment, der Grundsteuer A und Verbandsbeiträgen. In der Summe werden als grober Anhaltswert etwa 50 € ha^{-1} a^{-1} an Fixkosten anfallen. Die Flächenkosten werden durch den ortsüblichen Pachtzins bestimmt.

In Abschnitt 5.1 wird, um die von Standort zu Standort variierenden Bodenkosten zu berücksichtigen, vom Deckungsbeitrag die Pacht subtrahiert. Die resultierende Größe gibt dann nicht den Gewinn, sondern den flächenkostenfreien Deckungsbeitrag wieder.

3.6 Mehrwertsteuer

Bei der Umsatzbesteuerung genießen landwirtschaftliche Unternehmen eine Sonderstellung. Neben der Regelbesteuerung können diese die Pauschalierung wählen. Produktionsmittel werden dann incl. Mehrwertsteuer beschafft – ohne Abzugsmöglichkeit der gezahlten Vorsteuer. Zum Ausgleichen der gezahlten Mehrwertsteuer dürfen diese Unternehmen dann die Produkte incl. der Vorsteuerpauschale (gegenwärtig 10,7%) vermarkten. I. d. R. ist die Pauschalierung für landwirtschaftliche Unternehmen ökonomisch sinnvoll.

Dennoch wird in den Auswertungen, um eine bessere Vergleichbarkeit gewähren zu können, ausschließlich mit Nettopreisen gerechnet. Es wird also davon ausgegangen, dass ein landwirtschaftliches Unternehmen betrachtet wird, dass der Regelbesteuerung unterliegt.

4 Annahmen zu Mengengerüsten und Preisen (Methodik)

4.1 Erträge

Alle Erträge werden so verwendet, wie sie in den Versuchen gewogen wurden. Eine Korrektur eines systematischen „Versuchsfehlers“ wird nicht vorgenommen. Darüber hinaus werden auch keine Lagerverluste berücksichtigt, weil unterstellt wird, dass die Ernteware jeweils zum Erntezeitpunkt verkauft wird. Bei der Anwelksilage und den Marktfrüchten sind jedoch jeweils Besonderheiten zu berücksichtigen.

4.1.1 Erträge von Anwelksilage

Das Anwelken ist ein Arbeitsschritt bei dem das Pflanzenmaterial nach dem Mähen auf der Fläche belassen wird, um so durch eine natürliche Bodentrocknung den TM-Gehalt zu erhöhen. I. d. R. ist hierfür nach dem Mähen ein einmaliger Wendevorgang notwendig. Vor der Aufnahme durch das Erntegerät (Häcksler oder Ladewagen) wird das Material jeweils einmal gewendet und geschwadet. Der Vorteil des Anwelkens besteht darin, dass der TM-Gehalt der Frischmasse erhöht wird und so weniger Wasser – sowohl bei der Ernte als auch bei der Gärrestausbringung – transportiert zu werden braucht und das Material mit der Erhöhung des TM-Gehalts eine höhere Siliereignung erfährt. Die Nachteile liegen in den Kosten für die zusätzlichen Arbeitsschritte und darin, dass durch den gesamten Anwelkvorgang „Bröckelverluste“ entstehen.

Die Höhe des Wasserentzuges durch das Anwelken hängt von der Dauer, der Intensität des Wendens und der Witterung ab. Für die Versuchsauswertungen wird unterstellt, dass der TM-Gehalt des frischen Materials durch das Anwelken um 10%-Punkte erhöht wird. Eine Erhöhung des TM-Gehaltes auf über 35% wird jedoch ausgeschlossen. Die Berechnung der Frischmasse der angewelkten Silage ($FM_{angewelkt}$) erfolgt nach Gleichung 3. Die Gleichungen 1 und 2 dienen der Herleitung.

Gleichung 1: $$TM_{Gehalt_{angewelkt}} = TM_{Gehalt_{frisch}} + 0,10$$

Gleichung 2: $$\frac{TM}{FM_{angewelkt}} = \frac{TM}{FM} + 0,10$$

Gleichung 3: $$FM_{angewelkt} = \frac{TM}{\frac{TM}{FM} + 0,10}$$

Da in den Versuchen der stehende Bestand mit einem Messerbalken abgetrennt und direkt abgefahren wird, wird quasi der Bruttoertrag incl. der Bröckelverluste erfasst. Um diesen

Fehler zu korrigieren wird bei allen anzuwelkenden Prüfgliedern ein Bröckelverlust von 10% berücksichtigt.

4.1.2 Marktfruchterträge

Bei den Versuchsgliedern in denen nur die Körner als Marktfrucht geerntet wurden, wird der Trockenmasseertrag (100% TM) um die üblichen Restfeuchtegehalte (Raps: 9%; Getreide: 14,5% Restfeuchte) erhöht, um die Masse an verkaufsfähiger Ware zu bestimmen.

4.2 Arbeitserledigungskosten

Die Arbeitserledigungskosten werden in Anlehnung an die vom KTBL im Internet bereitgestellten Daten zur Betriebsplanung und mit Hilfe des Feldarbeitsrechners ermittelt. Zum Teil abweichend von den KTBL-Vorgaben wird mit einem Zinssatz von 5%, einem Stundenlohn von 15 €/h, einem Dieselpreis von 1,20 €/l und einem Heizölpreis von 0,65 €/l gerechnet. Bei allen Arbeiten werden eine Feld-Hof-Entfernung von 5 km und eine Schlaggröße von 10 ha unterstellt. Bei der Auswahlrubrik zur Größe der Technisierung handelt es sich um die Leistungskategorie 120 kW. In dem online Berechnungstool des KTBL ist es möglich die Arbeitserledigungskosten in Abhängigkeit von der Bodenart zu berechnen. In Tabelle 1 ist wiedergegeben, wie die Bearbeitbarkeit der Versuchsstandorte eingeordnet wurde.

Tabelle 1: Bearbeitbarkeit der Versuchsstandorte

Standort	Bearbeitbarkeit
Ascha	mittel
Dornburg	mittel
Ettlingen	mittel
Gülzow	leicht
Güterfelde	leicht
Trossin	leicht
Werlte	leicht

Bei der Berechnung der Arbeitserledigungskosten werden auch die Abschreibung, die Zinsen (Kapitalkosten) und die Versicherung berücksichtigt, so dass es sich hierbei um die Vollkosten der Arbeitserledigung handelt.

Zur Berechnung der Kosten für die Gärrestausbringung, die Applikation von mineralischem Dünger und die Ganzpflanzenernte (Silage) wird im Folgenden die Vorgehensweise genauer spezifiziert.

4.2.1 Gärrestmenge

Die Menge an Gärresten, die beim Anbau von einem Hektar Gärsubstrat entstehen, hängen vom Frischmasseertrag und vom Biogasbildungsvermögen je t FM ab. Je höher der FM-Ertrag und je niedriger das Gasbildungspotenzial ist, desto höher ist die Gärrestmenge und umgekehrt. Ausgangsmaterialien mit hohem TM-Gehalt und hohem Gasbildungsvermögen haben deshalb den Vorteil, dass ihnen weniger Gärrestausbringungskosten anzulasten sind. Um jedem Fruchtfolgeglied die entsprechenden Gärrestmengen bzw. aufbauend hierauf die verursachungsgerechten Gärrestausbringungskosten zuweisen zu können, werden die Gärrestmengen nach folgender Vorgehensweise bestimmt:

Unter der vereinfachenden Annahme, dass Biogas nur aus Methan und Kohlenstoffdioxid besteht, lässt sich die Masse des Biogases berechnen. In den Gleichungen 4 bis 7 sind die notwendigen Rechenschritte dokumentiert, um die Biogasmasse je kg Ausgangssubstrat zu berechnen. Zieht man den Massenverlust von der Masse des Ausgangssubstrates ab, so erhält man die verbleibende Gärrestmenge (siehe Gleichung 7).

Gleichung 4:

$$M_{CH4}\left[\frac{g}{M}\right] * A_{CH4}[\%] + M_{CO2}\left[\frac{g}{M}\right] \times A_{CO2}[\%] = M_{Biogas}\left[\frac{g}{M}\right]$$

Gleichung 5:

$$\frac{M_{Biogas}\left[\frac{g}{M}\right]}{Molvolumen\left[\frac{Nl}{M}\right]} = Masse_{Biogas}\left[\frac{g}{Nl}\right]$$

Gleichung 6:

$$Masse_{Biogas}\left[\frac{g}{Nl}\right] \times Biogasmenge\left[\frac{Nl}{kg\ TM}\right] \times TM_{Gehalt}\left[\frac{kg\ TM}{kg\ FM}\right] = Massenverlust\left[\frac{g}{kg\ FM}\right]$$

Gleichung 7:

$$1000\left[\frac{g}{kg\ FM}\right] - Massenverlust\left[\frac{g}{kg\ FM}\right] = Gärrestmenge\left[\frac{g}{kg\ FM}\right]$$

M: molare Masse

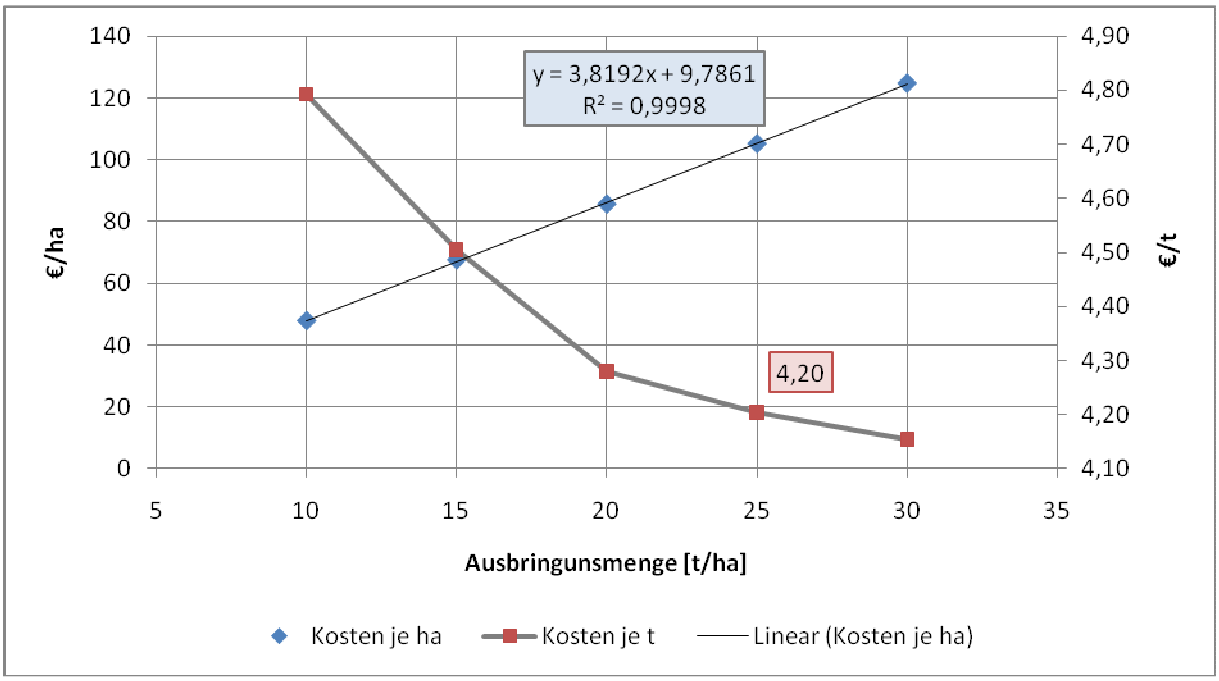
A: Volumenanteil

Die Masse von einem Mol CH_4 beträgt 16 g, die von einem Mol CO_2 44 g. Ein Mol hat ein Volumen von 22,4 l.

4.2.2 Gärrestausbringungskosten

Die Kosten der Gärrestausbringung hängen von der Transportentfernung (Feld-Hof-Entfernung), der Schlaggröße und der Applikationsmenge und natürlich von der insgesamt auszubringenden Menge ab. In Abbildung 1 sind die Gesamtkosten der Gülleausbringung bei 5 km Feld-Hof-Entfernung und 10 ha Schlaggröße für unterschiedliche Applikationsmengen dargestellt, wenn nach Mengengerüsten des KTBL, einem Arbeitslohn von 15 €/h, einem Dieselpreis von 1,2 €/l und einem Zinssatz von 5% gerechnet wird (s. o.). Bei dem gewählten Verfahren handelt es sich um einen Pumptankwagen mit 12 m^3 Volumen mit einem 15 m breiten Schleppschlauchverteiler und einen Schlepper mit 120 kW.

Abbildung 1: Gärrestausbringungskosten in Abh. von der Ausbringungsmenge



Quelle: KTBL, 2008; eigene Darstellung

Die Applikationsmenge hängt nicht vom Ertrag der einzelnen Fruchtfolgeglieder ab. Sie wird vielmehr nach pflanzenbaulichen Erwägungen nach Maßgabe des Nährstoffbedarfs der zu düngenden Kultur bestimmt. Geht man davon aus, dass 25 t/ha eine pflanzenbaulich sinnvolle Einzelgabe darstellen, dann betragen die Kosten je Tonne Gärsubstrat 4,2 € (siehe Abbildung 1). Dieser Kostenfaktor wird mit der jeweils auszubringenden Gärrestmenge multipliziert (siehe 4.2.1).

Durch die Ausbringung von Gärresten können Mineraldüngerapplikationen eingespart werden. Die Anzahl der eingesparten Mineraldüngerapplikationen hängt vom Einzelfall ab.

Im Durchschnitt über eine Fruchtfolge wird es pro Jahr jedoch wahrscheinlich nicht viel mehr als eine Düngergabe sein, die durch eine einmal jährlich stattfindende Gärrestdüngung von 25 t/ha eingespart wird.

Zunächst kann davon ausgegangen werden, dass durch eine 25 m^3-Gärrestdüngung eine mineralische N-Düngung pro Jahr unterbleiben kann. Durch eine in jedem Jahr stattfindende Gärrestdüngung kann der Grundnährstoffbedarf – entweder von P oder von K – gedeckt werden. Da die Grunddüngung, wenn sie mineralisch erfolgt, häufig im 3-jährigen Zyklus durchgeführt wird, würden also, bezogen auf einen Dreijahreszyklus, drei Gärrestapplikationen eine Mineraldüngerapplikationen ersetzen. Eine Gärrestdüngung à 25 m^3 erstsetzt also weitere 0,33 Mineraldüngergaben. Die Menge der zu düngenden Grundnährstoffe würde sich darüber hinaus reduzieren. Vereinfachend wird in den Berechnungen deshalb davon ausgegangen, dass mit jeder 25 m^3-Gärrestgabe 1,4 Mineraldüngergabe (à 300 kg/ha) eingespart werden können.

4.3 Mineraldüngerapplikation

Bei allen Fruchtfolgegliedern wird zunächst, um die Kosten der Düngerausbringung zu bestimmen, davon ausgegangen, dass die Düngung ausschließlich mineralisch erfolgt. Um die auszubringenden Düngermenge zu ermitteln, muss festgelegt werden, welche Dünger verwendet werden. Über alle Versuchsglieder wird einheitlich unterstellt, dass Kalkammonsalpeter (27% N), Superphosphat (7,848% P) bzw. 40er-Kali (33,2% K) als N-, P- bzw. K-Dünger verwendet werden. Bei der N-Düngung wird der N-Bedarf (siehe Abschnitt 4.10) über so viele Gaben ausgebracht, wie in den Versuchen gedüngt wurde. Bei den Grundnährstoffen wird unterstellt, dass sie nicht in jedem Jahr zu jedem Fruchtfolgeglied erfolgt, sondern, dass jeweils Gaben von 800 kg/ha ausgebracht werden. In Anlehnung an das KTBL kostet eine solche 800 kg-Gabe 15 €/ha. Die zur Deckung des Grundnährstoffbedarfes der Versuchsglieder benötigten Düngermengen werden anteilig auf die 800 kg Gabe umgerechnet.

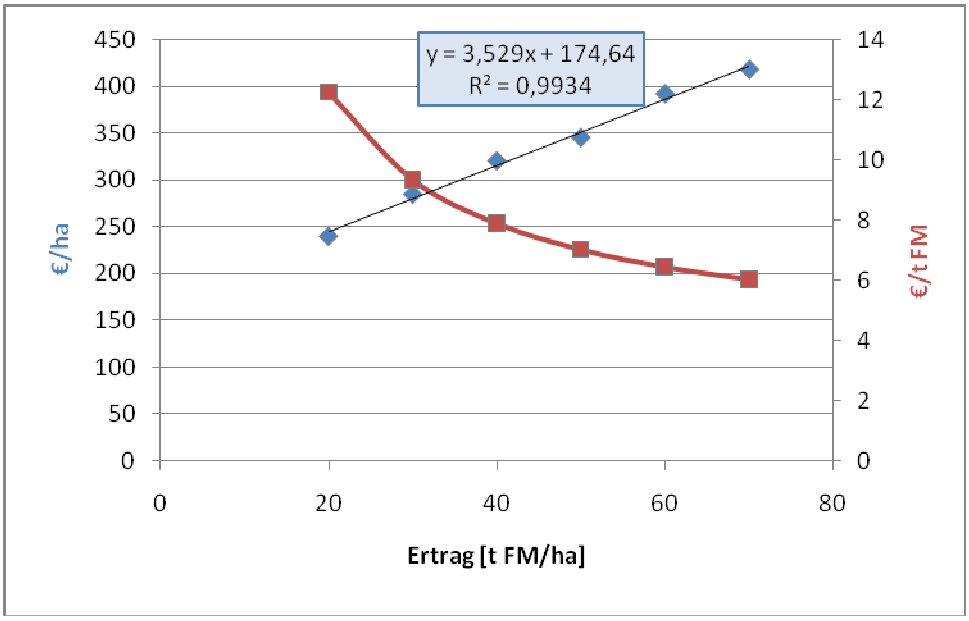
4.4 Ganzpflanzenerntekosten

Die Erntekosten der unterschiedlichen Gärsubstrate (Sonnenblume, Mais, Sudangras, Roggen-GPS etc.) werden weniger durch die zu erntenden Pflanze als vielmehr durch die Feld-Hof-Entfernung und den Ertrag bestimmt. Deshalb ist es zulässig die Kosten für die Ernte von Silomais, wie sie das KTBL veröffentlicht, auch für die anderen Gärsubstrate zu verwenden. In

Abbildung 2Abbildung 2 ist der Verlauf der Erntekosten von Silomais in Abhängigkeit vom Flächenertrag dargestellt, wie sie das KTBL für das Arbeitsverfahren: 300 kW Häcksler, Häckselgutwagen, 50 m³; 160 kW angibt (vgl. KTBL, 2008b). Mit einer fast 100%igen

Anpassung steigen die Erntekosten je ha linear mit dem Ertrag an. Der Y-Achsenabschnitt bzw. die Fixkosten bei einem Nullertrag betragen 175 €/ha. Je Tonne Erntegut (Frischmasse) erhöhen sich die Erntekosten um 3,5 €. In Abbildung 2 sind darüber hinaus noch die spezifischen Kosten wiedergeben. Diese fallen von 12 €/t FM bei einem Ertragsniveau von 20 t auf unter 6 €/t bei 70 t Frischmasseertrag.

Abbildung 2: Vollkosten der Ganzpflanzenernte (GPS-Ernte)

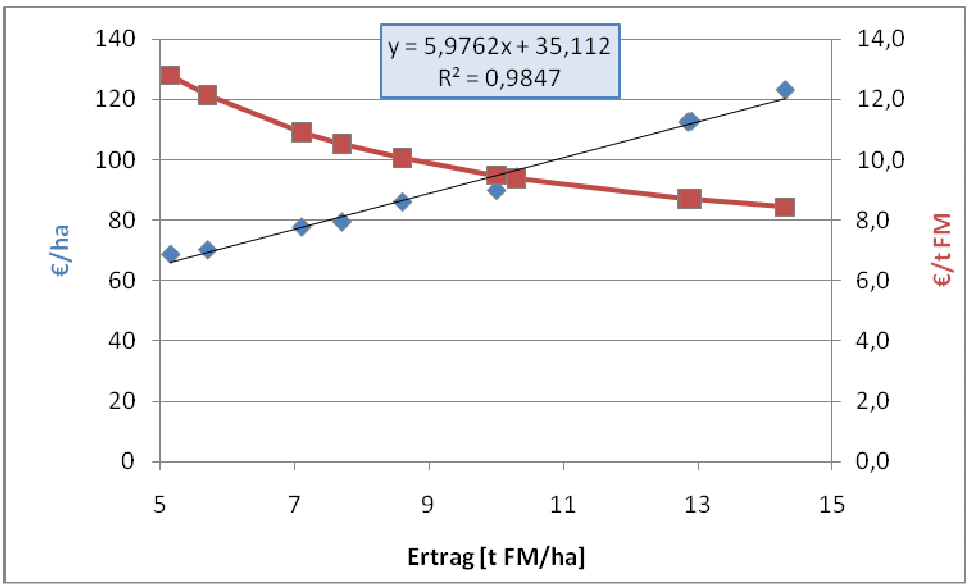


Quelle: Eigene Berechnungen; KTBL, 2008b

Zur Berechnung der jeweiligen Erntekosten der Versuchsglieder wird die Ausgleichsgerade, wie sie in Abbildung 2 wiedergegeben ist, verwendet. In den Versuchen wurden zum Teil auch Erträge geerntet mit weniger als 20 t FM/ha. Die Kosten werden dann berechnet, indem die Ausgleichsgrade extrapoliert wird.

Für die Grasernte (ohne Mähen, Schwaden und Wenden) mit demselben Häcksler, wie bei der Maisernte (s. o.) gibt das KTBL andere Kostenverläufe an (KTBL, 2008a). Je Tonne Mehrertrag steigen die Kosten hier deutlich stärker mit 6 € an. Die Fixkosten (Y-Achsenabschnitt) liegen dagegen deutlich niedriger: 35 €/ha (siehe Abbildung 3). Diese große Diskrepanz zwischen den KTBL-Ergebnissen ist nicht unmittelbar nachvollziehbar. Die KTBL-Daten sollen an dieser Stelle jedoch nicht in Frage gestellt werden. Für die Berechnung der Bergungskosten von Anwelkgütern, werden die entsprechenden KTBL-Daten verwendet (siehe Abbildung 3).

Abbildung 3: Vollkosten des Grashäckselns



Quelle: Eigene Berechnungen; KTBL, 2008a

4.5 Trocknungskosten

Wenn zum Erntezeitpunkt der Restfeuchtegehalt höher als 14,5% (Getreide) bzw. 9% (Raps) war, dann werden die variablen Kosten der Getreidetrocknung nach Vorgaben des KTBL (2008, S. 183) berücksichtigt. Hierfür werden ein Heizölpreis von 65 €-cent/l und ein Strompreis von 15 €-ct/kWh angesetzt.

4.6 Gärsubstratpreise

Die Preise von Gärsubstraten hängen vom allgemeinen Preisniveau für andere pflanzliche Rohstoffe ab. Auf Grund von Kreuzpreiselastizitäten des Angebotes werden Landwirte bei fallenden Getreidepreisen versuchen mehr Gärsubstrate anzubauen. Dieses erhöhte Angebot führt bei zunächst konstanter Nachfrage zu fallenden Preisen (gegenwärtige Situation). Umgekehrt führt bei steigenden Preisen für pflanzliche Agrarrohstoffen das Gesetz von Angebot und Nachfrage gleichfalls zu steigenden Preisen für Gärsubstrate (z. B. 2007).

Auf längere Sicht wird durch das reformierte EEG die Nachfrage nach Gärsubstraten zunehmen, weil zu erwarten ist, dass sehr viele neue Biogasanlagen gebaut werden. Dies wird die Knappheit an Gärsubstraten und damit die Preise erhöhen. (Regional kann diese Knappheit bereits heute bestehen.) Die hieraus folgende Zunahme des Gärsubstratanbaus führt zu einer Verdrängung des bestehenden Marktfruchtanbaus (insbesondere: Getreidebau).

Da die Subventionierung von Biogasstrom durch das EEG jedoch ein deutsches Spezifikum ist, wird eine Verringerung des Getreideanbaus allein in Deutschland nicht zu merklichen Preiseffekten auf dem Weltmarkt führen. Und wenn die Marktpreise nicht auf die durch die Biogassubstratproduktion induzierte Verknappung reagieren, dann kann sich die Zunahme des Substratanbaus für Biogasstrom ungebremst fortsetzen. Dies wiederum bedeutet, wenn kein allgemeiner (exogener) Preisanstieg für Agrarrohstoffe auf dem Weltmarkt erfolgt oder wenn das EEG nicht erneut anpasst wird, dass die Verdrängung von bestehenden Produktionsrichtungen der Nahrungsproduktion größer ausfallen wird, als aktuell gemeinhin erwartet wird.

Die Preise für die Gärsubstrate ergeben sich aus dem Gleichgewichtspreis von Angebot und Nachfrage. Da Gärsubstrate einen niedrigen TM-Gehalt besitzen, sind die möglichen Transportentfernungen gering, so dass die Marktpreise regional – je nach Angebot und Nachfrage – stark voneinander abweichen können. Diese regionalen Preisunterschiede werden jedoch zu Anpassungsreaktionen führen, indem beispielsweise zusätzliche Biogasanlagen in Regionen mit niedrigen Substratpreisen gebaut werden.

Die Bestimmungsgründe für die Angebots- und Nachfragepreise werden im Folgenden dargestellt.

4.6.1 Angebot

Ein Ackerbauer wird dann bereit Silomais für eine Biogasanlage anzubauen, wenn die Flächenverwertung vom Silomais mindestens gleich oder höher ist als die seiner schlechtesten Alternative, die er durch Mais ersetzen kann (Opportunitätskosten). Dies könnte z. B. Sommergerste sein. Tauscht man Sommergerste gegen Mais, dann könnten durch diesen Wechsel negative Auswirkungen auf den Ertrag der Folgekultur ausgehen. Denn nach Mais kann von den Wintergetreidearten nur noch Winterweizen angebaut werden. Und dieser hat wegen des späteren Aussaattermins nach Silomais ein geringeres Ertragspotenzial als nach Sommergerste. Deshalb ist die Bestimmung der Opportunitätskosten im Einzelfall nicht ganz trivial. Geht man vereinfachend deshalb davon aus, dass Winterweizen die zu ersetzende Referenzfrucht darstellt, dann werden die Opportunitätskosten wahrscheinlich realistischer wiedergespiegelt.

Die mittleren Erträge von Winterweizen bzw. Silomais von 1999 bis 2006 betragen 7,1 bzw. 42,7 t/ha (Destatis, 2009). Bei einem Erzeugerpreis von 160 €/t Weizen ergibt sich ein

Deckungsbeitrag von 165 €/ha (siehe Tabelle 2). Der Indifferenzpreis von Silomais ist der Preis bei dem der Deckungsbeitrag genau dem der Weizenproduktion entspricht. In der Kostenkalkulation der Tabelle 2 wird davon ausgegangen, dass der Silomais zum Erntezeitpunkt verkauft wird. Die Lagerkosten und Lagerverluste trägt der Abnehmer. Die Kosten für die Ernte, den Transport zum Silo und die Kosten für das Verdichten trägt der Substratlieferant. Darüber hinaus beinhaltet die Substratanlieferung eine kostenlose Gärrestrücknahme. Unter der Bedingung, dass der Deckungsbeitrag der Silomaisproduktion dem der Weizenproduktion entspricht, ergibt sich – für die unterstellten 160 €/t Weizen – ein Silomaispreis von 27,8 €/t.

Tabelle 2: Ermittlung des Indifferenzpreises für Silomais

		W.Weizen	Mais
Ertrag	t FM/ha	7,27	42,7
nach Lagerverlusten	t FM/ha	7,0	
Preis	€/t	160,0	27,8
Leistung	€/ha	1116	1189
Saatgut	€/ha	70	132
Pflanzenschutz	€/ha	100	71
Dünger	€/ha	263	132
Erntekosten	€/ha	106	325
Lagerkosten	€/ha	135	
Gärrestausbringungskosten	€/ha	-	126
sonstige ArEr.-Kosten	€/ha	277	238
Summe Kosten	€/ha	952	1024
Gewinnbeitrag	€/ha	165	165

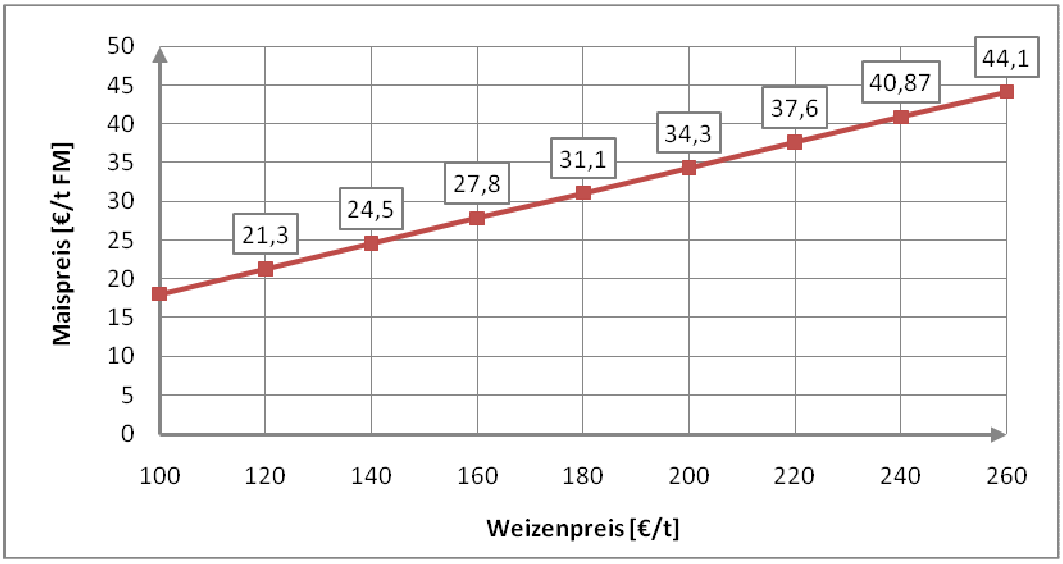
Quelle: Eigene Berechnungen

Der Indifferenzpreis hängt selbstverständlich vom Weizenpreis ab. Steigt das Preisniveau für Marktfrüchte, dann verlangen die Substratproduzenten auch einen höheren Silomaispreis auf Grund höherer Opportunitätskosten (Deckungsbeitrag des Weizens). Dieser Zusammenhang ist für das mittlere Ertragsverhältnis von 42,7 t/ha Mais und 7,1 t/ha Weizen in Abbildung 4 wiedergegeben. Bei anderen Ertragsverhältnissen ergeben sich andere Indifferenzpreise.

Für die Biogasanlage ist die wertbestimmende Eigenschaft der Gärsubstrate das Methanbildungsvermögen, so dass der Preis alternativer Gärsubstrate, die weniger häufig auf Märkten gehandelt werden, über deren Methanbildungspotenziale bestimmt werden kann. Hierfür wird zunächst der Preis je Tonne Mais durch das Methanbildungspotenzial einer Tonne Mais dividiert. Dieser „Preis“ für einen Kubikmeter Methan wird anschließend mit dem Methanbildungspotenzial der jeweiligen alternativen Rohstoffe multipliziert. Probleme bei dieser Substratpreisbestimmung ergeben sich dadurch, dass sowohl in

wissenschaftlichen Versuchen als auch in der Praxis die Gasbildungspotenziale gleicher (sogar derselben) Substrate erheblichen Schwankungen unterliegen.

Abbildung 4: Indiffenezpreis von Maissilage in Abhängigkeit vom Weizenpreis



Nach Vorgabe der Projektleitung soll das Gasbildungspotenzial der unterschiedlichen Versuchsglieder mit Hilfe der Werte der Weender-Analyse berechnet werden (siehe Kapitel 4.15). Nach dieser Methode hat Silomais in Hauptfruchtstellung gemittelt über alle EVA-Daten mit einem TM-Gehalt von 32% ein Methanbildungspotenzial von 90,6 m^3/t FM. Nach Angaben der LfL liefert durchschnittliche Maissilage mit 32% TM 93,8 m^3 CH_4/t FM. Diese Werte liegen noch nicht besonders weit auseinander. Nach Sedlmeier (2008) wird der Wert von 93,8 m^3/t in der Praxis allerdings regelmäßig deutlich überschritten. So wurden in Praxisanlagen häufig um 20% höhere Gaserträge gemessen (Sedelmeier, 2008). In Tabelle 3 wurde ermittelt, wie sich unterschiedliche Gasbildungspotenziale auf den Methanpreis auswirken. Je mehr Methan aus einer Tonne Silomais bei gleichem Silomaispreis (27,8 €/t, s. o.) gewonnen werden kann, desto günstiger ist der Preis je m^3 Methan.

Tabelle 3: Ableitung der CH_4-Preise in Abhängigkeit vom Gasbildungsvermögen

	m^3 CH_4/t	**€/m^3 CH_4**
EVA-Vorgabe	91	0,31
LfL	94	0,30
LfL + 20%	113	0,25

Quelle: eigene Berechnungen

4.6.2 Nachfrage

Der Veredelungswert eines Rohstoffes ist der Preis, den ein Veredelungszweig langfristig maximal zahlen kann, ohne Verluste zu realisieren. Entspricht der vereinbarte Preis eines Rohstoffes genau dem Veredelungswert, so werden zwar alle Kosten (incl. der Faktorkosten) gedeckt, darüberhinaus aber kein positiver Unternehmergewinn erzielt.

Der Veredelungswert von Maissilage ist nach dem neuen EEG deutlich höher als der oben abgeleitete Angebotspreis von 27,80 €/t. Unterstellt man ein Gasbildungspotenzial von 91 m^3 CH_4/t Silomais (EVA-Vorgabe) dann liegt der Veredelungswert nach eigenen Berechnungen bei ca. 35 €/t. Bei einem Gasbildungsvermögen von 113 m^3 CH_4/t Silomais steigt der Veredelungswert allerdings auf knapp 44 €/t.

4.6.3 Gleichgewichtspreis von Angebot und Nachfrage

Nach den Gasbildungskoeffizienten, die sich aus der Projektvorgabe ergeben, beträgt der Veredelungswert von Maissilage 35 €/t (maximaler Nachfragepreis). Der Indifferenzpreis des Landwirtes liegt – bei einem Weizenpreis von 160 €/t – dagegen nur bei 28 €/t (minimaler Angebotspreis). Ob der Preis sich nun am minimalen Angebotspreis oder am maximalen Nachfragepreis orientieren wird, hängt insbesondere vom örtlichen Biogasanlagenbestand und der daraus resultierenden Konkurrenz um Substrate ab. Gegenwärtig wird den potenziellen Anbietern von Gärsubstraten tendenziell eine (noch) niedrigere Nachfrage (Biogasanlagen) gegenüberstehen, so dass die Preise sich eher beim minimalen Angebotspreis einpendeln dürften.

Diese Aussage schließt selbstverständlich nicht aus, dass in bestimmten Regionen die Nachfrage das Angebot schon heute übertrifft, so dass hier die Substratpreise deutlich höher liegen.

In dem Forschungsprojekt „Modellgestützte Folgenabschätzungen für den Anbau nachwachsender Rohstoffe in Deutschland“, welches vom BMELV über die FNR gefördert und durch das vTI bearbeitet wird, wird unterstellt, dass längerfristig der Substratpreis mit dem Veredelungswert identisch sein wird, weil solange neue Biogasanlagen gebaut werden würden, wie der Veredelungswert über dem Marktpreis liegt. Erst wenn durch die dann zunehmende Substratkonkurrenz der Marktpreis flächendeckend bis zum Veredelungswert angestiegen ist, wird der Preis konstant bleiben (Zimmer, 2009). Diese Überlegung ist grundsätzlich richtig. Zwei Dinge müssen dabei jedoch bedacht werden:

(i) Die Biogasanlagenbetreiber gehen ein deutlich höheres Risiko ein als die Substratproduzenten, da sie ungleich mehr Kapital über eine lange Dauer binden. Ohne positive Risikoprämie (Unternehmergewinn) würden potenzielle

Biogasanlagenbetreiber deshalb nicht in den Markt einsteigen; der durchschnittliche Marktpreis bliebe unter dem Veredelungswert.

(ii) Der Veredelungswert des Maises wird über das EEG gesteuert. Wenn der Zuwachs von Biogasanlagen tatsächlich nicht durch einen exogenen Preisanstieg für andere Agrarrohstoffe gebremst wird, dann ist zu erwarten, dass die Vergütungssätze des EEGs reduziert werden.

Deshalb ist es unwahrscheinlich, dass sich der Marktpreis für Gärsubstrate langfristig und flächendeckend tatsächlich auf dem Niveau des Veredelungswertes einpendeln wird. Stattdessen wird es für wahrscheinlicher gehalten, dass der Marktpreis für Silomais eher durch den minimalen Angebotspreis bestimmt wird. Nach der obigen Herleitung sind dies 27,80 €/t Silomais (angeliefert und verdichtet bei der Biogasanlage, zum Erntezeitpunkt, freie Gärrestrücknahme). Dieser Preis wird für die Auswertungen unterstellt. Hieraus ergibt sich ein Methanpreis von 31 ct/m^3.

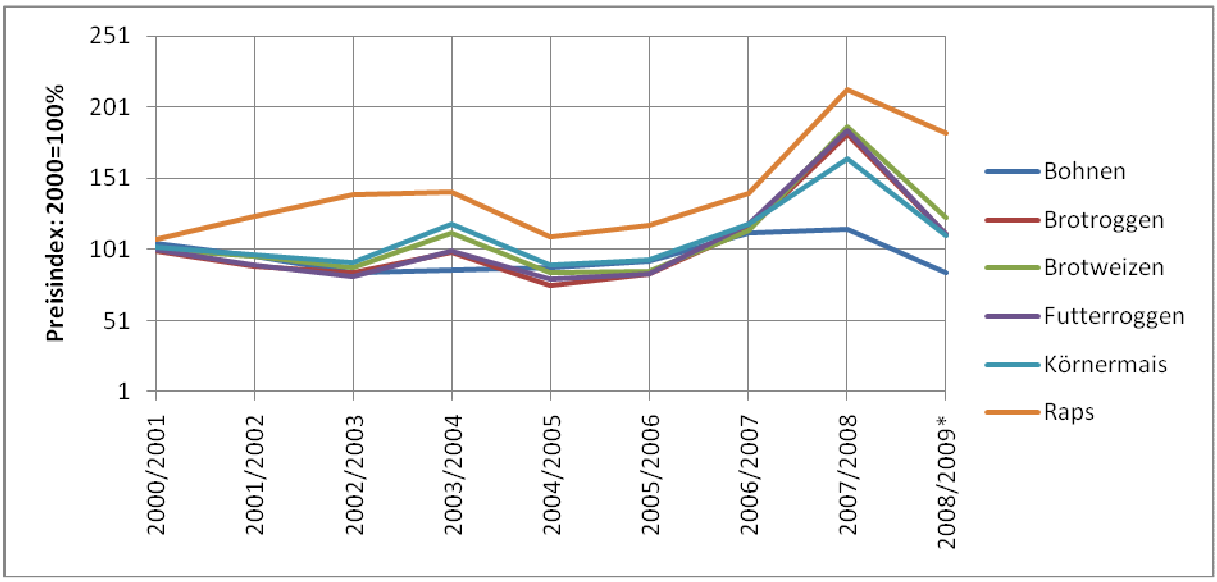
4.7 Marktfruchtpreise

Die Marktfruchtpreise für fast alle landwirtschaftlichen Pflanzenrohstoffe sind vom Wirtschaftsjahr[1] 2004 bis 2007 deutlich angestiegen. Seit dem Frühjahr 2008 existiert jedoch ein stark fallender Preistrend. Wenn für eine Preisprognose der mittlere Preis aus einem Zeitintervall in der Vergangenheit gebildet wird, so hängt der hieraus resultierende Preis stark davon ab, welches Zeitintervall gewählt wird.

In Abbildung 5 sind die mittleren Preisindizes der jüngsten 9 Wirtschaftsjahre wiedergegeben. Wenn alle diese Jahre für die Mittelwertbildung herangezogen werden, ergeben sich niedrigere Preisindizes als wenn nur die jüngsten drei Wirtschaftsjahre Berücksichtigung finden. Je nachdem, wie optimistisch die zukünftige Marktentwicklung eingeschätzt wird, wird der höhere oder niedrigere Preis als realistischere Prognose betrachtet.

Abbildung 5: Preisindizes landwirtschaftlicher Rohstoffe (Erzeugerpreisebene)

[1] Von Juli bis Juni des Folgejahres.



Quelle: Destatis, 2009; 2008/09*: letzter erfasster Monat: Februar 2009

Um aus den Preisindizes des statistischen Bundesamtes absolute Preise abzuleiten, werden die mittleren Preisindizes der letzten drei Jahre mit den absoluten mittleren Erzeugerpreisen des Jahres 2000 für Deutschland (Eurostat, 2009) multipliziert. Auf Grund mangelnder Daten ist diese Vorgehensweise für Futtererbsen und Lupinen nicht möglich. Als Arbeitshypothese wird unterstellt, dass sich die Preise dieser Kulturen parallel mit denen von Bohnen entwickeln. Zur Berechnung von absoluten Preisen wurden für Futtererbsen die Preisangaben der LfL (2008) und für Lupinen die vom LVLF (2004) verwendet. In Tabelle 4 sind die so ermittelten Marktfruchtpreise zusammengefasst.

Tabelle 4: Preisprognosen

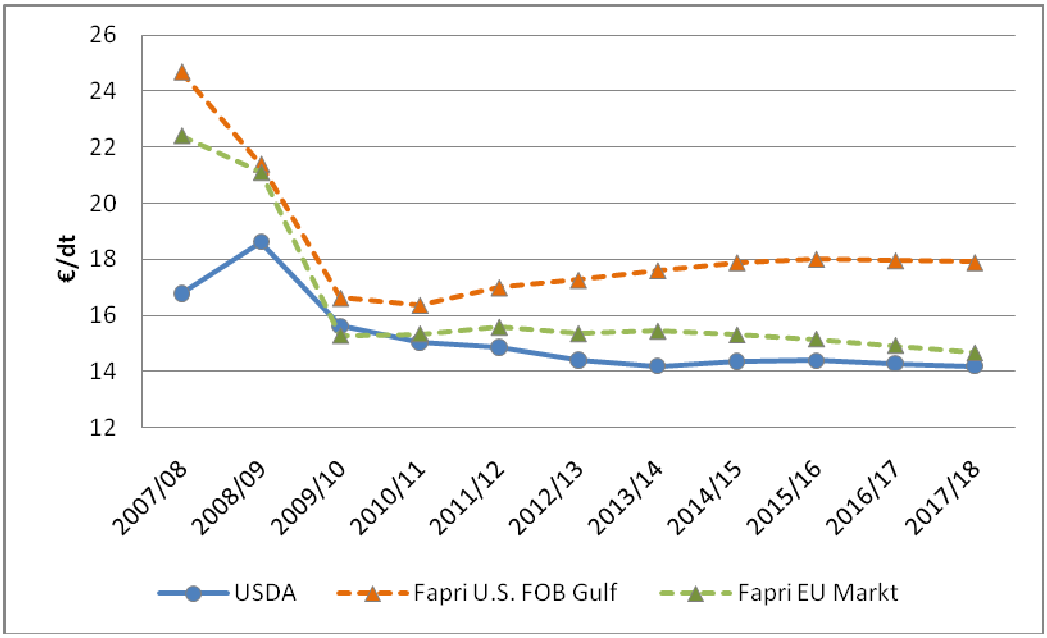
Frucht	Preis [€/dt]
Erbse	13,43
Hafer	13,02
Lupine	12,11
Mais	14,50
S.Gerste	16,52
W.Gerste	13,05
W.Raps	29,33
W.Roggen	12,95
W.Triticale	13,53
W.Weizen	14,67

Zum Vergleich sind in Abbildung 6 die Preisprognosen des FAPRI und des USDA für Weizen wiedergegeben. Bei dem historischen Preisdatum (2007/08) gibt es eine nicht unerhebliche Preisdiskrepanz zwischen den beiden Organisationen. Während das Fapri für den US-Markt

einen durchschnittlichen Weizenpreis von fast 25 €/dt angibt, hat das USDA einen mittleren Preis von 17 €/dt angeben. Diese Diskrepanz ist wahrscheinlich auf unterschiedliche Qualitäten und Handelsplätze zurückzuführen. Gleichzeitig deutet sie jedoch auch darauf hin, dass die Preisreihen beider Organisationen nicht 1 zu 1 gleichgesetzt werden dürfen. Für den europäischen Markt rechnet das Fapri im Vergleich zum US Markt mit geringeren Preisen.

Der in Tabelle 4 genannte Weizenpreis von 14,67 €/dt fügt sich sehr gut in das Bild der Prognosen des USDA und Fapri.

Abbildung 6: Weizenpreisprognosen in €/dt



Quelle: eigene Berechnungen und Darstellung nach: USDA, 2009; Fapri, 2009; European Central Bank, 2009

4.8 Vergleich zwischen Biogassubstrat- und Marktfruchtpreisen

Da die Preise von unterschiedlichen pflanzlichen Agrarrohstoffen sehr eng miteinander verknüpft sind, ist es bei vergleichenden Analysen bzw. bei Prognosen wichtig, dass die Preisrelationen richtig geschätzt werden.

In Abschnitt 4.6.1 wurde der Angebotspreis von Biogassubstraten über den Maispreis abgeleitet, der sich bei einem Weizenpreis von 16 €/dt ergibt. Da eine alternative Marktfruchtproduktion mit den Preisen aus Tabelle 4 durchgeführt wird, und diese Preise – gemessen an einem Weizenpreis von 14,67 €/dt – niedriger liegen, wird der Biogassubstratanbau tendenziell bessergestellt.

Hierdurch wird also impliziert, dass auch der Substratanbau tendenziell von den höheren Einspeisetarifen des ab 2009 reformierten EEGs profitiert.

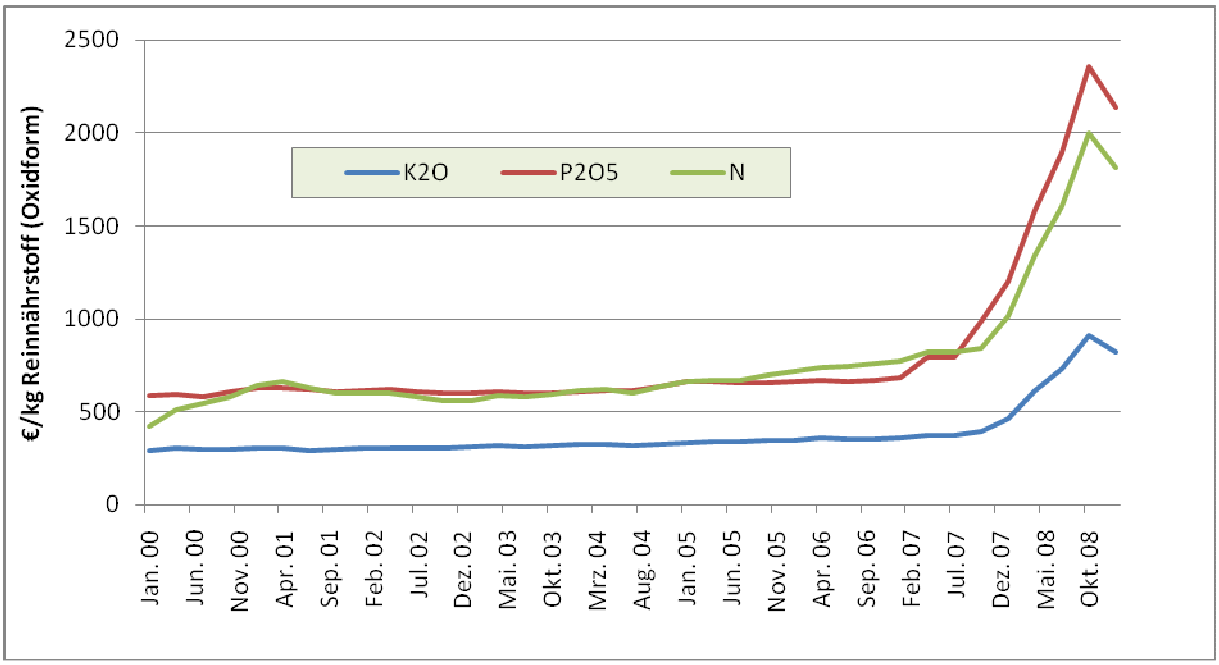
4.9 Düngerpreise

Die Preisentwicklungen der Grundnährstoffe (N, P_2O_5 und K_2O) wurde ebenfalls aus den Preisindizes des statistischen Bundesamtes abgeleitet (Destatis, 2009c). Diese Preisindizes wurden multipliziert mit den absoluten durchschnittlichen Nährstoffpreisen für Deutschland (BMELV, 2007) (siehe Abbildung 7).

Demnach sind von 2000 bis Juli 2007 die Nährstoffpreise ohne große Ausschläge in sehr geringem Ausmaß angestiegen. Erst ab Juli 2007 sind – parallel mit der allgemeinen Rohstoffverknappung – die Düngerpreise stark angestiegen. Im Vergleich zum Januar 2007 haben sich die Preise für Stickstoff- und Kalidünger bis Oktober 2008 um den Faktor 2,5 erhöht; bei Phosphat betrug der Preisanstieg sogar 340%. Ab Januar weißt das statistische Bundesamt einen deutlichen Preisrückgang aus.

Wegen der jüngsten ausgeprägten Preisausschläge der Düngemittelpreise in beide Richtungen ist eine Prognose der zukünftigen Preise mit einer erheblichen Unsicherheit behaftet. Als Arbeitshypothese werden die Indizes des statistischen Bundesamtes ab Juli 2005 verwendet, so dass derselbe Zeitraum wie für die Produktpreisbestimmung (siehe Abschnitt 4.7) verwendet wird. Die so ermittelten Preise werden für die Auswertungen verwendet und sind jeweils bezogen auf die Oxidform bzw. auf das Element in Tabelle 5 wiedergegeben.

Abbildung 7: Düngerpreiseentwicklung von Januar 2000 bis Januar 2009



Quelle: eigene Berechnungen und Darstellung, nach Destatis, 2009; BMELV, 2007

Tabelle 5: Verwendete Nährstoffpreise €/t

	N	P_2O_5 bzw. P	K_2O bzw. K
Oxidform		1094	476
Element	1025	2507	573

4.10 Nährstoffbedarf

Bei der Grunddüngung werden vereinfachend nur die Nährstoffe Phosphat (P) und Kalium (K) betrachtet.

Im Gegensatz zu den Nährstoffkreisläufen der Pflanzennährstoffe P und K ist der Stickstoffkreislauf (N) von höheren Verlusten geprägt. Die wichtigsten sind zum einen solche über die Luft, die bei der Ausbringung und bei Denitrifikationsvorgängen im Boden auftreten und desweiteren Auswaschungsverluste in Form von Nitrat. Deshalb beträgt die Stickstoffnutzungseffizienz nicht 100%. Um das Ertragspotenzial auszuschöpfen, muss mehr gedüngt werden, als von den Pflanzen aufgenommen wird. Der sich hieraus ergebende bilanzielle Überschuss darf nach der Düngeverordnung ab 2009 im Mittel von 3 Jahren 60 kg N/(ha × a) nicht übersteigen. Bei rein mineralischer Düngung unterstellt die Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft bei allen Nutzpflanzen einen N-Überschuss von 30 kg/(ha × a) (LfL, 2007). Da der N-Überschuss jedoch auch vom Düngungsniveau abhängt, also mit höherer Düngung tendenziell auch ein höherer N-Überschuss einhergeht, wird in den

Auswertungen ein N-Überschuss in Höhe von 20% der N-Düngung veranschlagt. Hierbei wird eine relativ hohe Stickstoffnutzungseffizienz unterstellt.

Unabhängig davon, ob die Versuchsglieder als Gärsubstrat oder als Marktfrucht angebaut werden, wird mit dem oben geschilderten Faktor von 1,2 zur Stickstoffbedarfsermittlung gerechnet.

4.11 Nährstoffbedarf von Gärsubstraten

Wenn man davon ausgeht, dass P und K im Gärrest mittelfristig vollständig pflanzenverfügbar werden und es keine Verlustquellen gibt, dann wird mit der Rückführung der Gärreste genau die Menge wieder auf den Acker zurückgebracht, die mit der Ernte entzogen wurde, so dass für diese Nährstoffe keine weitere mineralische Ausgleichsdüngung anzusetzen ist.

Anders sieht es beim Stickstoff aus. Im Vergleich zur mineralischen Düngung sind mit der organischen Düngung einige Nachteile verbunden, so dass der in den Gärresten enthaltene zum Teil organische gebundene Stickstoff zu einem geringeren Anteil von den Pflanzen aufgenommen werden kann. Die Gründe hierfür liegen zum einen darin, dass bei Gärresten die N-Ausbringungsverluste (Ammoniak) höher sind und zum anderen darin, dass der organisch gebundene Stickstoff nicht unmittelbar pflanzenverfügbar ist, sondern vor der Aufnahme durch die Pflanze mineralisiert werden muss. Diese N-Mobilisierung läuft jedoch zum Teil nicht synchron mit dem zeitlichen Nährstoffbedarf der Nutzpflanzen ab, so dass wiederum erhöhte Verluste auftreten können. Insgesamt ist deshalb die Düngerwirksamkeit von organischen Düngern niedriger als die von mineralischem N-Dünger. Für die Auswertungen wird von einem mittleren Mineraldüngeräquivalent der Gärreste von 50% ausgegangen.

Wenn P und K „im Kreis geführt“ werden, dann müssen nur die Stickstoffverluste mit mineralischem Dünger aufgefüllt werden. Nach obigen Ausführungen sind dies beim Anbau von Gärsubstraten 70% (20% + 50%) des Entzuges. Wobei unter Entzug die N-Menge verstanden wird, die mit der Abfuhr der Ernteprodukte von der Ackerfläche entnommen wird.

4.12 Nährstoffbedarf von Marktfrüchten

Beim Marktfruchtanbau wird eine vollständige mineralische Düngung unterstellt. Also 120% des N-Entzuges und jeweils 100% des P- und K-Entzuges werden mineralisch ergänzt.

4.13 Leguminosen

Um die Stickstofffixierungsleistung der Leguminosen bzw. der Leguminosengemische zu bestimmen, werden die Angaben der LfL (2007) zu den Stickstoffgehalten und Stickstofffixierungsleistungen herangezogen (siehe Tabelle 6). Ausgangsbasis für die Berechnung des N-Düngerbedarfs ist also nicht, wie bei den Nicht-Leguminosen (siehe oben) der Entzug, sondern der Entzug abzüglich der Stickstoffmenge, die über die Knöllchenbakterien gebunden wird. Bei Kleearten und Luzerne werden 85 bzw. 95% des Entzuges über die N-Fixierung gedeckt. Werden Leguminosen in Kombination mit Gräsern also beispielsweise als Klee- bzw. Luzernegras angebaut, dann sinken die relativen Fixierungsleistungen. Bei Leguminosenanteilen von unter 60% sinkt die Fixierungsleistung auf ca. 60% des jeweiligen Wertes, der beim reinen Leguminosenanbau fixiert wird.

Bei Erbsen, Bohnen und Lupinen mit Körnernutzung ergeben sich 122%, weil hier im Gegensatz zur Silagenutzung mehr Pflanzenreste auf dem Acker verbleiben (Stroh), so dass die Bilanz positiv ist. Es wird also mehr Stickstoff gebunden als entzogen wird.

Tabelle 6: Symbiontische N-Bindung

	N-Gehalt kg/dt FM	N-Fixierung kg/dt FM	prozentuale Fixierungsleistung[1]
Rotklee	0,55	0,47	85%
Luzerne	0,6	0,57	95%
Kleegras (Kleeanteil <60%)	0,52	0,27	52%
Luzernegras (Luzerneanteil <60%)	0,54	0,31	57%
Körnererbsen (Korn)	3,6	4,4	122%
Ackerbohnen (Korn)	4,1	5	122%
Lupine (Korn)	4,48	5,5	123%

[1] Anteil des symbiontisch gebundenen Stickstoffs am im Erntegut enthaltenen Stickstoff (Entzug)

Quelle: LfL, 2007; eigene Berechnung und Darstellung

Aufbauend auf den oben dargestellten Werten der LfL werden Hypothesen für die Stickstofffixierungsleistung der im Grundversuch angebauten Leguminosen formuliert (siehe Tabelle 7).

Tabelle 7: Stickstofffixierungsleistung der im Grundversuch angebauten Leguminosen bzw. Leguminosengemische

Fruchtart	Nutzung	N Fixierung
Erb	GPS	85%
Erb Ha Leind	GPS	40%
KleeGr	GPS	50%
LuzGr	GPS	55%
LuzKleeGr	GPS	55%
WRog WWick	GPS	40%
Erb	Korn	120%
Lup	Korn	120%

In Tabelle 8 ist an einer Leguminose und einer Nicht-Leguminose beispielhaft gezeigt, wie die N-Menge berechnet wird, die über mineralischen Dünger ergänzt werden muss. Mit einer symbiontischen N-Bindung von 85% des Entzugs bindet der Rotklee letztlich mehr N als über die Verluste verloren geht. In diesem Beispiel stehen also 15% des Stickstoffentzuges der Nachkultur zur Verfügung. Bei den Nicht-Leguminosen sind es im Gegensatz hierzu immer 70% des N-Entzuges, die mineralisch ersetzt werden müssen.

Tabelle 8: Beispielkalkulation zum mineralischem N-Düngerbedarf

	Rotklee		Weizen	
Entzug (10 t × 2 kg/t)		200 kg		200 kg
symbiontische N-Bindung	85%	170 kg		0 kg
unvermeidbare N-Verluste	20%	40 kg	20%	40 kg
Düngerbedarf		70 kg		240 kg
N im Gärrest		200 kg		200 kg
davon pflanzenverfügbar*	50%	100 kg	50%	100 kg
mineralischer Düngerbedarf	-15%	-30 kg	70%	140 kg

*siehe Abschnitt 4.11

4.14 Materialaufwand für Pflanzenschutz

Alle tatsächlich in den Versuchen verwendeten Pflanzenschutzmittel werden mit den Preisen der Raiffeisen-Warenzentrale Kurhessen – Thüringen GmbH (2008) bewertet. Wenn für ein Pflanzenschutzmittel mehrere Preise in Abhängigkeit von der Abnahmemenge existieren, wird der günstigste Preis verwendet.

4.15 Biogasausbeuten

Es existieren unterschiedliche Formeln zur Berechnung der Biogasausbeuten von Gärsubstraten. Einerseits unterscheiden sich die Formeln darin, dass jeweils andere Parameter als erklärende Variablen verwendet werden und andererseits differieren die verwendeten Koeffizienten.

In EVA I sollen die Biogasausbeuten nach der Formel von Baserga (1998, aus Keymer, Schilcher, 2003) berechnet werden. Zur Berechnung werden zunächst die Weender-Analysewerte mit Verdauungskoeffizienten multipliziert. Die so ermittelten verdaulichen Nährstofffraktionen (verdauliche Kohlenhydrate, verdauliches Rohprotein, verdauliches Fett) werden mit Gasbildungskoeffizienten multipliziert (siehe Keymer, Schilcher, 2003). Die Summe der Einzelwerte ergibt den Schätzwert für das Gasbildungspotenzial des untersuchten Substrates.

Die für die Berechnung benötigten Verdauungskoeffizienten, die mit dem Reifestadium und dem Fruchtanteil (z. B. Kolbenanteil beim Mais) variieren, werden aus DLG-Futterwerttabellen extrahiert. Die Eigenschaften Reifestadium und Fruchtanteil wurden von den Versuchstechnikern bei der Ernte geschätzt. Für alle Versuchsglieder, für die die benötigten Daten vorliegen, werden die entsprechenden Gasbildungspotenziale (Biogasertrag, CH_4-Gehalt) berechnet (Willms, 2008).

Da auf Grund unvollständiger Daten nicht für alle Versuchsglieder die Gasbildungspotenziale bestimmbar sind und die Trennschärfe begrenzt ist, werden in den ökonomischen Auswertungen mittlere Gasbildungskoeffizienten für alle Standorte verwendet. Die mittleren Gasbildungskoeffizienten werden gebildet, indem alle Einzelwerte nach Fruchtart (Mais, W.Roggen etc.), Fruchtfolgestellung (Hauptfrucht, Zweitfrucht etc.), Nutzung (GPS, Korn etc.) und Ernte (normale Ernte bzw. 1. Schnitt oder 2.ter und Folgeschnitte) gruppiert werden und dann die Gasbildungskoeffizienten entsprechend gemittelt werden. Die Ergebnisse sind in Tabelle 9 wiedergeben. Die Wahl der mittleren Koeffizienten hat den weiteren Vorteil, dass die Ergebnisse besser vergleichbar sind und Variantenrechnungen einfacher durchführbar sind.

Tabelle 9: verwendete Gasbildungskoeffizienten

Frucht	FF-Stellung	Nutz-ung	Ernte	oTM-Gehalt	Biogas m^3/t oTM	Methan-ertrag m^3/t oTM	Methan-gehalt
EinWeiGr	So.-Zw.Fr.	GPS	1.ter Schnitt	88%	548	306	56%
EinWeiGr	So.-Zw.Fr.	GPS	1+n.ter Schnitt	88%	537	301	56%
Erb	So.-Zw.Fr.	GPS		90%	477	276	58%
Erb Ha Leind	Haupt-Fr.	GPS		94%	500	276	55%
GerGras	Haupt-Fr.	GPS	1+n.ter Schnitt	85%	534	301	56%
GerGras	Haupt-Fr.	GPS		90%	505	275	55%
Ha	Haupt-Fr.	GPS		94%	473	260	55%
HaMisch	Haupt-Fr.	GPS		93%	474	262	55%
Hanf	Haupt-Fr.	GPS		89%	461	257	56%
Kart	Haupt-Fr.	Knolle		96%	699	373	53%
KleeGr	Haupt-Fr.	GPS	1.ter Schnitt	92%	582	323	55%
KleeGr	Haupt-Fr.	GPS	1+n.ter Schnitt	88%	527	298	56%
KleeGr	Untersaat	GPS	1.ter Schnitt	88%	535	302	57%
LaBeGe	Wi.-Zw.Fr.	GPS		91%	530	299	56%
LuzGr	Haupt-Fr.	GPS	1.ter Schnitt	90%	534	301	56%
LuzGr	Haupt-Fr.	GPS	1+n.ter Schnitt	90%	503	287	57%
LuzGr	Untersaat	GPS	1.ter Schnitt	87%	497	281	56%
LuzKleeGr	Haupt-Fr.	GPS	1.ter Schnitt	90%	504	282	56%
LuzKleeGr	Haupt-Fr.	GPS	1+n.ter Schnitt	89%	480	280	58%
Mais	Haupt-Fr.	CCM		99%	604	333	55%
Mais	Haupt-Fr.	GPS		96%	544	295	54%
Mais	Zweit-Fr.	GPS		96%	553	301	54%
Ölr	So.-Zw.Fr.	GPS		82%	564	323	57%
SB	Haupt-Fr.	GPS		89%	512	286	56%
Senf	So.-Zw.Fr.	GPS		82%	526	300	57%
SGer	Haupt-Fr.	GPS		94%	481	262	54%
SRog	Haupt-Fr.	GPS		96%	522	283	54%
SRog STrit	Haupt-Fr.	GPS		95%	527	286	54%
STrit	Haupt-Fr.	GPS		95%	515	283	55%
STrit	So.-Zw.Fr.	GPS		95%	515	283	55%
SuGr	Haupt-Fr.	GPS	1.ter Schnitt	94%	455	247	54%
SuGr	Haupt-Fr.	GPS	2.ter Schnitt	94%	455	247	54%
SuGr	So.-Zw.Fr.	GPS		91%	538	306	57%
SuGr	Zweit-Fr.	GPS	1.ter Schnitt	94%	463	252	54%
SuGr	Zweit-Fr.	GPS	1+n.ter Schnitt	88%	541	306	57%
Topi	Haupt-Fr.	Knolle		93%	616	317	52%
Topi	Haupt-Fr.	Kr		90%	507	276	54%
WelWeiGr	Haupt-Fr.	GPS	1.ter Schnitt	91%	622	336	54%
WelWeiGr	Haupt-Fr.	GPS	1+n.ter Schnitt	88%	552	307	56%
WelWeiGr	Wi.-Zw.Fr.	GPS		92%	649	352	54%
WGer	Haupt-Fr.	GPS		95%	486	264	54%

Frucht	FF-Stellung	Nutz-ung	Ernte	oTM-Gehalt	Biogas m^3/t oTM	Methan-ertrag m^3/t oTM	Methan-gehalt
WGer	Wi.-Zw.Fr.	GPS		92%	606	334	55%
WGer WTrit WWei	Haupt-Fr.	GPS		94%	501	271	54%
WRap	Haupt-Fr.	GPS		91%	510	290	57%
WRap	Wi.-Zw.Fr.	GPS		86%	619	350	57%
WRog	Haupt-Fr.	GPS		94%	575	316	55%
WRog	Wi.-Zw.Fr.	GPS		93%	583	323	55%
WRog WWick	Haupt-Fr.	GPS		96%	518	282	54%
WTrit	Haupt-Fr.	GPS		95%	524	285	55%
WTrit	Wi.-Zw.Fr.	GPS		92%	604	333	55%
WWei	Haupt-Fr.	GPS		96%	498	271	54%
ZHirse	Haupt-Fr.	GPS		94%	461	251	54%
ZHirse	So.-Zw.Fr.	GPS		92%	518	285	55%
ZHirse	Zweit-Fr.	GPS		95%	460	250	54%

Die Methanerträge im Zweikulturnutzungsversuch wurden durch Buttlar (2009) nach derselben Vorgehensweise berechnet wie im Grund- und Ackerfutterbauversuch (Willms, 2008 und 2009). In Tabelle 10 sind die so ermittelten CH_4-Erträge je t TM im Zweikulturnutzungsversuch den vorhandenen Erträgen des Grundversuchs gegenübergestellt. Nur im Falle von Winterroggen weichen die Koeffizienten deutlich voneinander ab. In Hauptfruchtstellung wird für Winterroggen im Grundversuch ein um 7% höherer und in Zweitfruchtstellung um 14% höherer Methanertrag geschätzt. Beim Vergleich der wirtschaftlichen Ergebnisse zwischen dem Zweikulturnutzungsversuch und dem Grundversuch sollte dies bedacht werden.

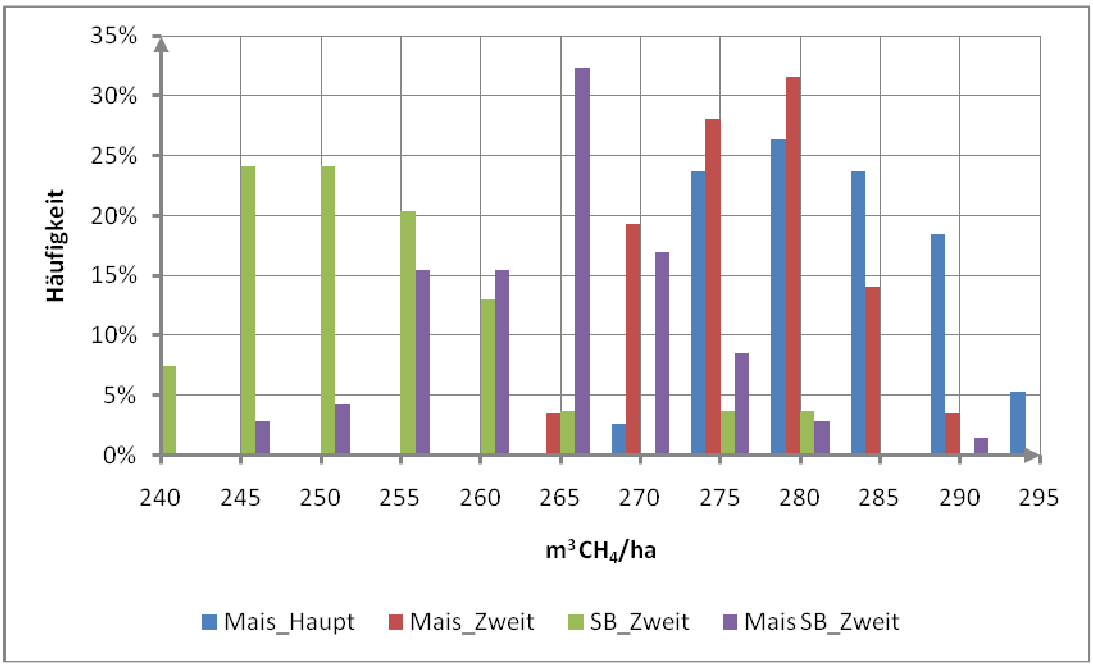
Tabelle 10: Vergleich zwischen den ermittelten Methanerträge des Zweikulturnutzungs- und Grundversuchs

		Methanertrag m^3 CH_4/t TM	
Frucht	**FF-Stellung**	**Zweikultur-Versuch**	**Grundversuch**
Amarant	Zweit-Fr.	218	
Hanf	Zweit-Fr.	235	
Mais	Haupt-Fr.	285	283
Mais	Zweit-Fr.	280	288
Mais, Sonnenblumen	Zweit-Fr.	266	
Quinoa	Zweit-Fr.	217	
Sonnenblumen	Haupt-Fr.	258	254
Sonnenblumen	Zweit-Fr.	256	

Sorghum-Hybride	Zweit-Fr.	239	
Sudangras	Zweit-Fr.	237	237
W.Erbsen, W.Roggen	Wi.-Zw.-Frucht	258	
W.Gerste, W.Roggen	Wi.-Zw.-Frucht	260	
W.Roggen	**Haupt-Fr.**	**277**	**297**
W.Roggen	**Wi.-Zw.-Frucht**	**262**	**300**
W.Rübsen	Wi.-Zw.-Frucht	268	

Exemplarisch sind in Abbildung 8 die Histogramme der Methanerträge von Mais in Haupt- und Zweitfruchstellung, Sonnenblumen Zweitfrucht und der Kombination von Sonnenblumen und Mais ebenfalls in Zweitfruchtstellung abgebildet. Die Häufigkeitsverteilungen scheinen Normalverteilungen zu folgen. Mais hat die höchsten Methanbildungskoeffizienten (siehe auch Tabelle 10), während die Sonnenblumen deutlich geringere CH_4-Erträge zeigen. Die Kombination von Mais und Sonnenblumen reiht sich erwartungsgemäß im Mittelfeld ein, was auch so sein muss, da in der Berechnungsformel keine Wechselwirkungen (Synergien zwischen den Substraten bei der Vergärung) berücksichtigt werden, sondern es sich hierbei lediglich um eine Linearkombination handelt.

Abbildung 8: Histogramme der Methanerträge [m^3 CH_4/t TM]



Quelle: eigene Darstellung und Berechnung nach Buttlar, 2009

Aus Abbildung 8 wird nochmal deutlich, dass die berechneten Methanerträge für die einzelnen Fruchtfolgeglieder erhebliche Schwankungen aufweisen. In den Auswertungen wird die Verteilungsfunktion jedoch nicht berücksichtigt, sondern nur der Mittelwert verwendet.

4.16 Saatgutkosten

Beim Saatgut werden keine Sortenpreise verwendet, sondern mittlere Preise für einzelne Früchte. Die Preise stammen soweit verfügbar vom KTBL; ansonsten werden ersatzweise mündliche Preisauskünfte verwendet. In Tabelle 11 sind die Saatgutpreise dargestellt.

Tabelle 11: verwendete Saatgutpreise

Frucht	Preis €/Einheit	Einheit
Ackerbohne	0,69	kg
Alant	4	kg
Amarant	2	kg
Bastardweidelgras	3,25	kg
Bokharaklee	5,1	kg
Buchweizen	1,6	kg
Deutsches Weidelgras	3,25	kg
Einj. Weidelgras	3,25	kg

Frucht	Preis €/Einheit	Einheit
Erbse	0,57	kg
Futterrüben	209	Einheit
Glatthafer	3,25	kg
Hafer	0,41	kg
Hanf	2	kg
Inkarnatklee	3,5	kg
Kartoffeln	0,575	kg
Knaulgras	3,25	kg
Leindotter	2	kg
Lupine	0,8	kg
Luzerne	4	kg
Mais	80	Einheit
Öllein	2	kg
Ölrettich	2,2	kg
Panicum	4	kg
Pappeln	0,27	Pflanze
Perserklee	3,9	kg
Phacelia	8,36	kg
Quinoa	4	kg
Resede	4	kg
Rotklee	4	kg
S.Gerste	0,456	kg
S.Roggen	0,35	kg
S.Rübsen	0,35	kg
S.Triticale	0,395	kg
S.Weizen	0,413	kg
S.Wicken	1,98	kg
Saflor	2,2	kg
Senf	2,15	kg
Serradella	10	kg
Sonnenblumen	90	Einheit
Sorghum-Hybride	4	kg
Steinklee	0,4	kg
Sudangras	1,7	kg
Topinambur	0,45	kg
W.Erbsen	0,57	kg
W.Gerste	0,41	kg
W.Raps	12,3	kg
W.Roggen	0,39	kg
W.Rübsen	3,45	kg
W.Triticale	0,395	kg

Frucht	Preis €/Einheit	Einheit
W.Weizen	0,413	kg
W.Wicke	1,6	kg
Welsches Weidelgras	2,1	kg
Wiesenlieschgras	3,25	kg
Wiesenschweidel	3,25	kg
Wiesenschwingel	3,25	kg
Zuckerhirse	1,7	kg

5 Ergebnisse

Silomais ist die am häufigsten in Deutschland angebaute Nutzpflanze zur Bereitstellung von nachwachsenden Rohstoffen für die Biogasproduktion. Deshalb soll zunächst für Silomais in Hauptfruchstellung aufgezeigt werden, welche Erträge und Deckungsbeiträge in den Jahren 2005 bis 2007 erzielt wurden. Die so ermittelten Deckungsbeiträge dienen als Referenz für alternative Anbauverfahren.

5.1 Silomais in Hauptfruchtstellung, die Referenzfrucht für Biogassubstrate

Um aufzuzeigen, wie sich die Wirtschaftlichkeit (Deckungsbeitrag) eines Produktionsverfahrens mit dem Ertrag verändert, ist es sinnvoll die variablen Kosten danach zu differenzieren, ob sie ertragsabhängig oder flächenabhängig sind.

Die Arbeitserledigungskosten der Bodenbearbeitung, der Aussaat und der Pflanzenschutzmittelausbringung sind vollständig flächenabhängig (ertragsunabhängig). Die Aufwendungen für Pflanzenschutzmittel und Saatgut werden ebenfalls (vereinfachend) als flächenabhängig behandelt.

Der Düngermittelaufwand und die Arbeitserledigungskosten für die Ernte, die Gärrestausbringung und die mineralische Düngermittelausbringung sind zum größten Teil ertragsabhängig. Auf Grund z. B. von Rüst- und Wegezeiten etc. sind sie allerdings nicht vollständig ertragsabhängig; es existieren auch innerhalb dieser Kostenarten flächenabhängige Komponenten.

Für die folgende Berechnung der Arbeitserledigungskosten wird vereinfachend für alle Standorte eine mittlere Bodenart unterstellt und für Mais in Hauptfruchtstellung die in Tabelle 12 aufgeführten Arbeiten berücksichtigt.

Tabelle 12: berücksichtigte Arbeiten des Produktionsverfahren Silomais Haupt.-Fr.

Arbeit	Kosten
Pflügen MIT Packer	91 €/ha
K.Egge & Einzelkornsaat	64 €/ha
2 × Pflanzenschutzmittel ausbringen	à 11 €/ha
Mineraldüngerstreuen*	z. T. ertragsabhängig
Gärrestausbringung*	z. T. ertragsabhängig
GPS-Ernte*	z. T. ertragsabhängig

Nach Maßgabe der in Kapitel 4.2 dargelegten Annahmen und der Liste der berücksichtigten Arbeitsverfahren (Tabelle 12) berechnet sich der Deckungsbeitrag von Silomais in Hauptfruchtstellung mit einem TM-Gehalt von 30% aus folgender Gleichung:

Gleichung 8:

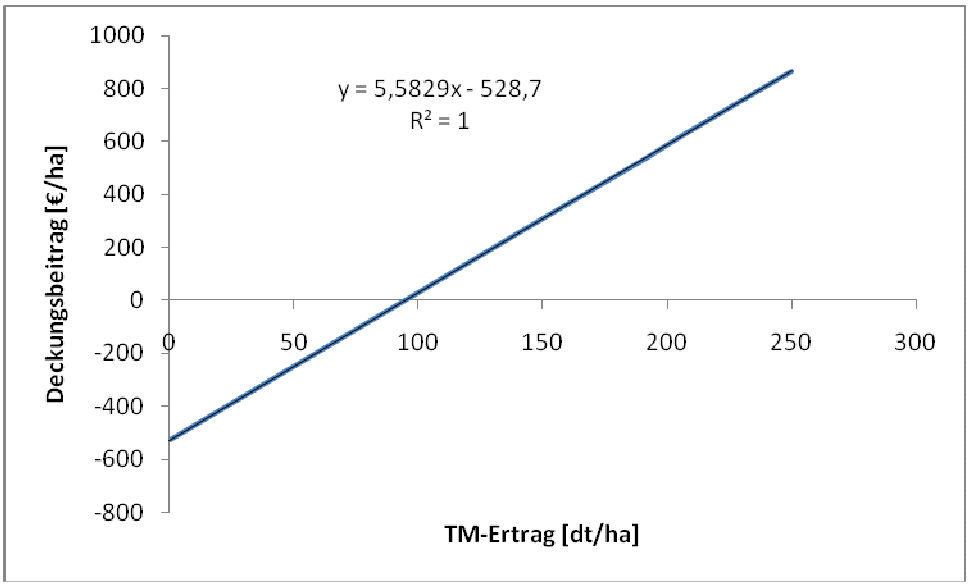
$$DB_{SM} = -529\ \frac{€}{ha} + 5{,}58 \frac{€}{dt} \times Y_{SM} \frac{dt}{ha}$$

DB_{SM}: Deckungsbeitrag von Silomais

Y_{SM}: Trockenmasseertrag von Silomais

Die Summe der flächenabhängigen Kosten beläuft sich demnach auf 529 €/ha. Mit jeder Dezitonne Trockenmasseertrag steigt der Deckungsbeitrag um 5,58 €/ha. Um die flächenabhängigen Kosten zu decken ist ein Mindestertrag von 94,7 dt TM/ha nötig. Der Deckungsbeitrag beträgt dann Null (siehe Abbildung 9), Flächenkosten und Fixkosten können bei 94,7 dt TM/ha also nicht gedeckt werden. Jede Dezitonne Mehrertrag erhöht den Deckungsbeitrag jedoch deutlich. Während bei einem Ertrag von 150 dt TM/ha bereits ein Deckungsbeitrag von 309 €/ha erzielt wird, sind es bei 200 dt TM/ha bereits 588 €/ha.

Abbildung 9: Deckungsbeitrag von Silomais in Abhängigkeit vom TM-Ertrag

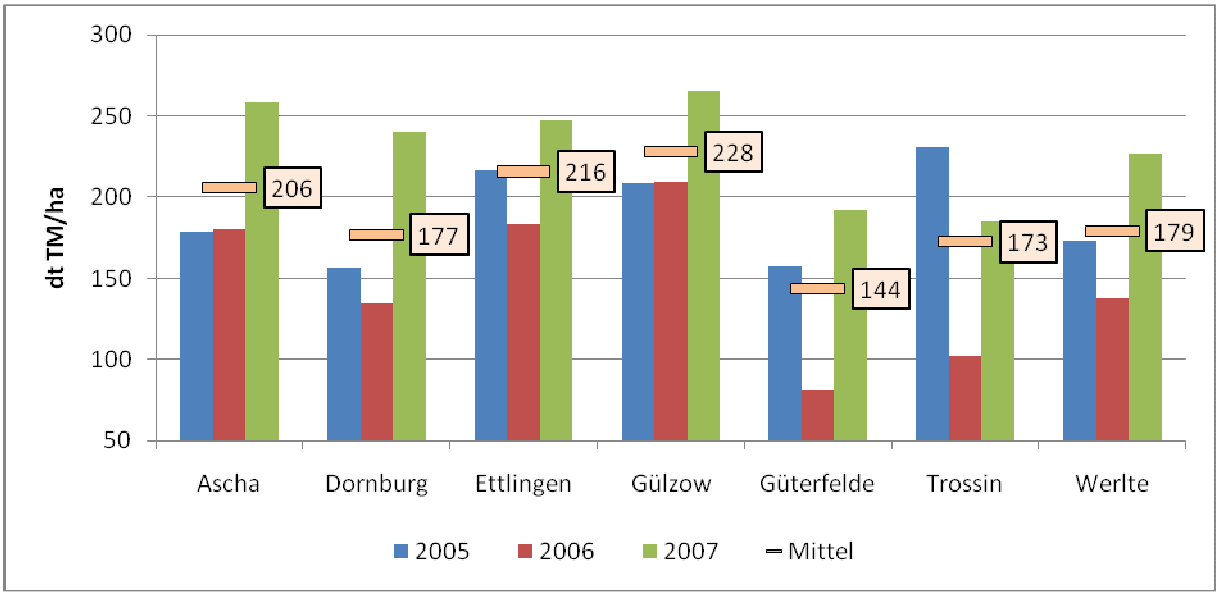


5.1.1 Erträge und Deckungsbeiträge von Silomais in Hauptfruchtstellung

In Abbildung 10 sind die in den Versuchen realisierten Silomaiserträge in Hauptfruchtstellung mit dem jeweils frühesten Aussaattermin wiedergegeben. Die Erträge der Einzeljahre an den

unterschiedlichen Standorten variieren erheblich. Der niedrigste Ertrag wurde in Güterfelde (Brandenburg) mit 81 dt TM/ha im Jahr 2006 und der höchste in Gülzow (Mecklenburg-Vorpommern) mit 266 dt TM/ha erzielt. Werden nur die mittleren TM-Erträge der Jahre 2005 bis 2007 betrachtet, dann reduzieren sich die Unterschiede zwischen den Standorten. Im Mittel über die drei Untersuchungsjahre erzielten Gülzow bzw. Güterfelde mit 228 bzw. 144 dt TM/ha die höchsten bzw. niedrigsten Erträge.

Abbildung 10: TM-Erträge von Silomais in Hauptfruchtstellung zum jeweils frühesten Aussaattermin



Unter Verwendung von Gleichung 8 lassen sich aus den Standorterträgen die Deckungsbeiträge des Silomaisanbaus errechnen. Zieht man vom Deckungsbeitrag die Flächenkosten (Pacht) ab, so erhält man flächenkostenfreien Deckungsbeitrag (siehe Abschnitt 3.5). Die Ergebnisse sind in Tabelle 13 wiedergegeben. Demnach schwanken die Deckungsbeiträge zwischen 303 und 772 €/ha. Da sich der Pachtzins nicht allein aus dem Ertragspotenzial eines Standortes ergibt, sondern durch andere Gründe, wie beispielsweise der Viehdichte einer Region mitbestimmt wird, führt ein hoher Deckungsbeitrag nicht zwangsläufig zu einem hohen flächenkostenfreien Deckungsbeitrag. In Werlte beispielsweise steht ein durchschnittlicher Ertrag und Deckungsbeitrag dem höchsten Pachtpreis (362 €/ha) gegenüber, so dass der flächenkostenfreien Deckungsbeitrag in Welte von allen Standorten am niedrigsten ist (131 €/ha).

Mit Silomais in Hauptfruchtstellung sind – nach Maßgabe der unterstellten Kosten-Leistungs-Kalkulation – an allen Versuchsstandorten Deckungsbeiträge realisierbar, die positive Eigenkapitalbildungen ermöglichen.

Tabelle 13: Durchschnittliche Deckungsbeiträge von Silomais in Hauptfruchtstellung (2005 bis 2007)

		Ascha	Dorn-burg	Ett-lingen	Gülzow	Güter-felde	Trossin	Werlte
TM-Ertrag	dt TM/ha	206	177	216	228	144	173	179
TM-Gehalt	%	30	31	31	30	31	24	30
D.-Beitrag	€/ha	617	473	691	739	282	346	467
Pacht[1]	€/ha	304	142	247	161	100	144	362
fl.-kosten-freier DB[2]	€/ha	313	331	444	578	182	202	105

[1] durchschnittlicher Pachtpreis auf Bundeslandebene für Neuverpachtungen 2007 (Destatis, 2008)

[2] siehe Abschnitt 3.5

5.1.2 Einfluss von Niederschlagswasser auf den Maisertrag

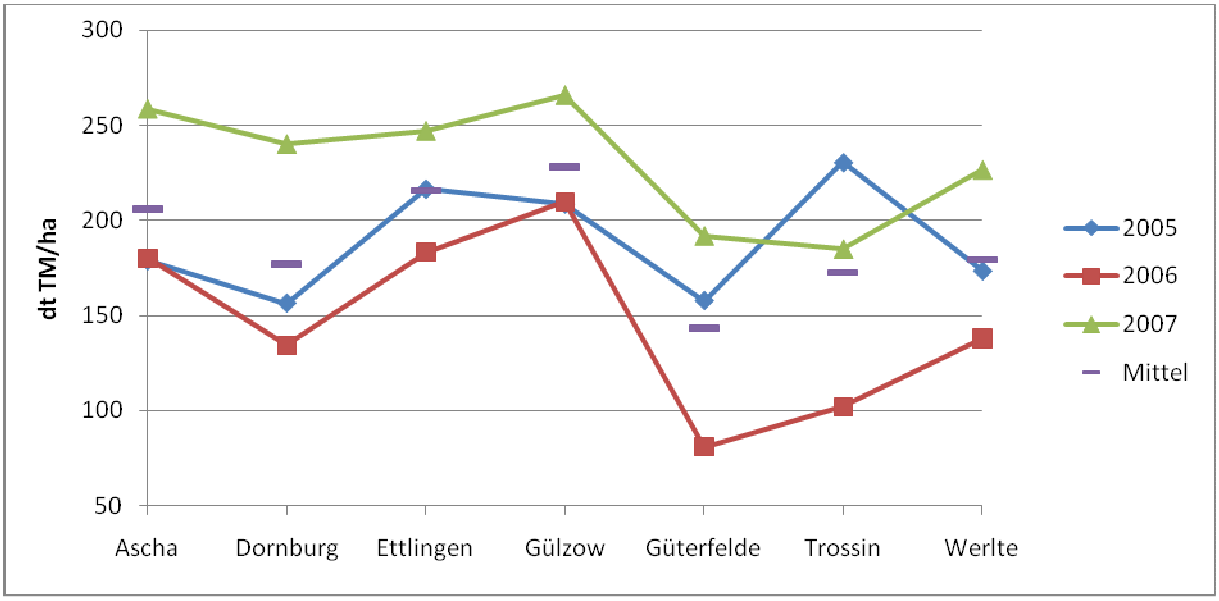
Das pflanzenverfügbare Wasser hat häufig eine herausragende Bedeutung auf den Ertrag von Nutzpflanzen. Es wird bestimmt durch das Wasserspeichervermögen des Bodens, den Niederschlag und die Verdunstung. Zwischen diesen Einflussfaktoren existieren Wechselbeziehungen. Beispielsweise kann bei höheren Verdunstungsraten für denselben Ertrag mehr Wasser erforderlich sein als bei niedrigen Verdunstungsraten. Eine hohe nutzbare Feldkapazität (nFK) des Bodens kann den Pflanzenbestand über längere Phasen ohne Niederschlag mit ausreichend Wasser versorgen, während es auf einem Standort mit niedriger nFK sehr viel regelmäßigerer Niederschläge bedarf.

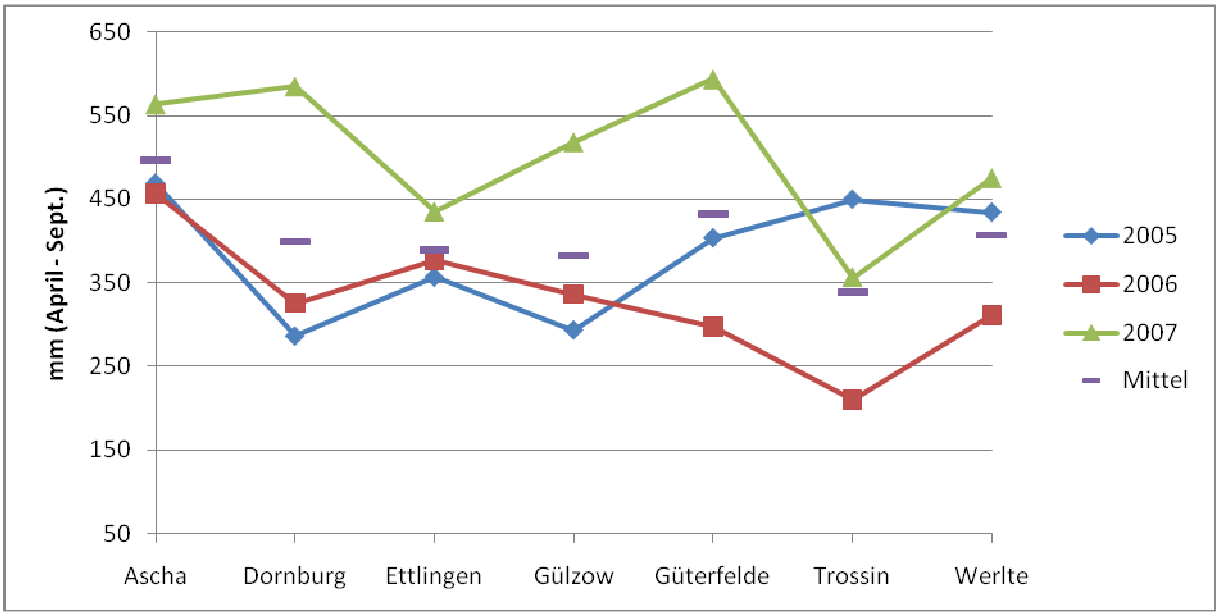
Darüber hinaus ist der Einfluss des Wassers auf den Pflanzenertrag, was sowohl die Amplitude als auch die Wirkungsrichtung (ertragssteigernd oder ertragsmindernd) betrifft, vom Entwicklungsstadium der Pflanzen abhängig. Während ein hohes Wasserangebot im Jugendstadium in Kombination mit niedrigen Temperaturen ertragsmindernd wirkt, ist es in späteren Entwicklungsphasen und insbesondere bei höheren Temperaturen umgekehrt.

Auf Grund der skizzierten Komplexität ist eine einfache Erklärung des Pflanzenertrages in Abhängigkeit von den Standort- und Klimaparametern deshalb in der Regel nicht möglich. Vergleicht man dennoch die realisierten Versuchserträge mit den Niederschlagssummen (April – September), die von der jeweils nächstgelegenen Niederschlagsstation des Deutschen Wetterdienstes (DWD) gemessen wurde, dann zeigt sich eine unerwartet hohe Korrelation zwischen diesen beiden Größen (siehe Abbildung 11).

Nur in Dornburg, Ettlingen und Gülzow war im Jahr 2005 der Ertrag höher als im Jahr 2006, obwohl sich die Niederschlagssummen umgekehrt verhalten haben, also in 2005 niedriger waren als in 2006. An allen anderen Standorten existiert eine 1 zu 1 Beziehung zwischen dem Rang der Jahresniederschlagshöhe und dem Rang des Jahresertrags.

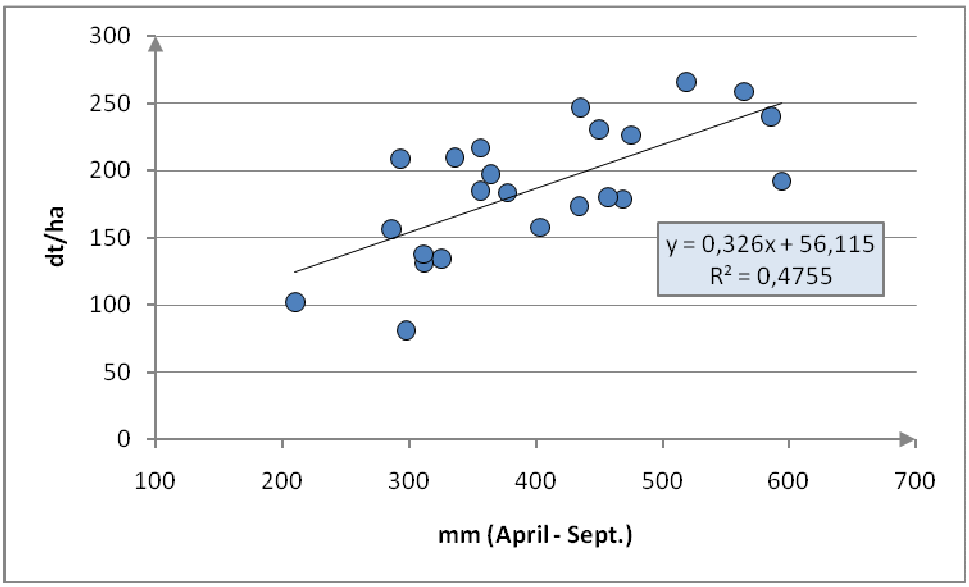
Abbildung 11: Trockenmasseerträge (dt TM/ha) von Silomais (Haupt-Fr.) und Niederschlagssummen (gemessen an den nächsten DWD-Stationen) von April – September (mm)





In einer Gegenüberstellung aller Silomaiserträge mit den Jahresniederschlägen (siehe Abbildung 12) bestätigen sich diese Ergebnisse. Unabhängig von Standort, Sortenwahl etc. werden 48% der Ertragsvariation allein mit der Niederschlagssumme von April bis September erklärt.

Abbildung 12: Zusammenhang zwischen Niederschlagssumme und TM-Ertrag von Silomais (Haupt.-Fr.)



Quelle: eigene Berechnungen

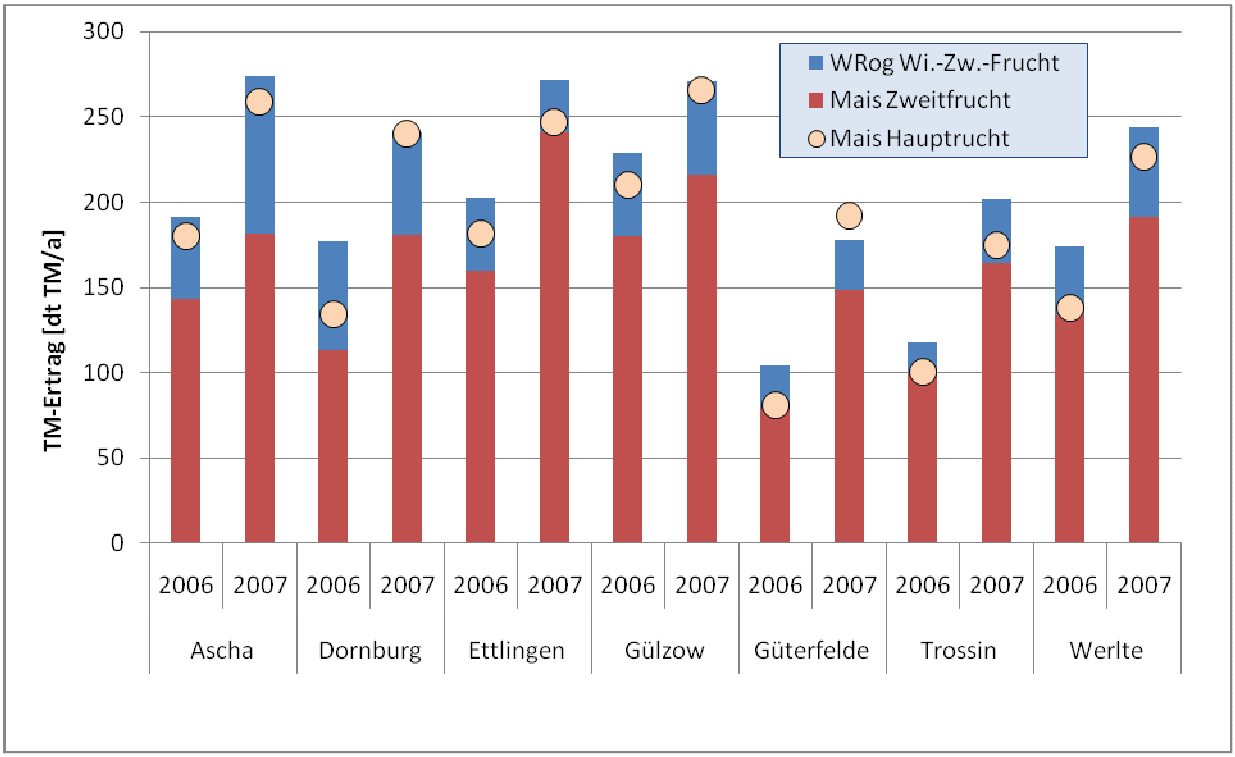
5.2 Zweifruchtanbau von Wintergetreide (Wi.-Zw.-Fr.) und Mais (Zweit-Fr.) im Vergleich zu Mais in Hauptfruchtstellung (Grundversuch)

Eine mögliche Strategie zur Steigerung der Trockenmasseerträge gegenüber Mais in Hauptfruchtstellung ist der Anbau von Wintergetreide als Winterzwischenfrucht gefolgt von Silomais in Zweitfruchtstellung. Die notwendige Voraussetzung für die Wirtschaftlichkeit dieses Produktionsverfahrens ist, dass die Trockenmasseerträge durch den Zweifruchtanbau gesteigert werden. Die hinreichende Bedingung für die Wirtschaftlichkeit ist, dass die zusätzlichen Leistungen – bedingt durch den höheren TM-Ertrag – mindestens so hoch sind wie die zusätzlichen Kosten, die sich insbesondere durch einen höheren Arbeitsaufwand ergeben.

Betrachtet man die im Rahmen des Grundversuches realisierten Erträge an den 7 Standorten in den Jahren 2006 und 2007, dann ist die erste Bedingung erfüllt. Im Mittel über alle Standorte und Jahre lag der TM-Ertrag des betrachteten Zweikulturnutzungssystems um 21 dt TM/ha bzw. um 11% höher als der von Mais in Hauptfruchtstellung (siehe Abbildung 13).

Allerdings waren die Erträge von Mais in Zweitfruchtstellung in allen Jahren auf allen Standorten niedriger als die von Mais in Hauptfruchtstellung. Die Mehrerträge, die sich in der Summe im Zweikulturnutzungssystem ergeben, resultieren also aus dem zusätzlichen TM-Ertrag durch den Winterroggen, der zum Teil jedoch durch den Minderertrag des Maises kompensiert wird. Diese wechselseitigen Effekte werden im Folgenden genauer untersucht, bevor im Anschluss auf die Wirtschaftlichkeit des Zweifruchtanbaus eingegangen wird (hinreichende Bedingung).

Abbildung 13: TM-Erträge von Winterroggen-Wi.-Zw.Frucht und Mais-Zweit-Fr. gegenüber Mais-Haupt-Fr.



5.2.1 Wechselseitige Effekte von Winterroggen-GPS und Mais im Zweifruchtanbau auf Ertrag und TM-Gehalt

5.2.1.1 Ertragseffekte einer Aussaatverzögerung von Mais

Die Ertragseffekte des Maises beim Übergang von der Haupt- zur Zweitfrucht können auf zweierlei Ursachen zurückgeführt werden. Einmal können von der Vorfrucht Winterroggen auf den Mais positive (z. B. Bodengare) oder negative (z. B. durch den Verbrauch des Wasservorrates) Ertragseffekte ausgehen und zum zweiten steht dem Mais in Zweitfruchtstellung durch die verzögerte Aussaat nur eine verminderte Vegetationszeit zur Verfügung. In Tabelle 14 sind für Mais in Haupt- und in Zweitfruchtstellung die jeweiligen Aussaattage und die TM-Erträge aufgeführt. Die Ertragsdifferenzen zwischen den Fruchtfolgestellungen sind umso größer, je später die Aussaat des Maises in Zweitfruchtstellung erfolgte. Im Extrem, bei einer Verzögerung um 50 Tage in Ascha im Jahr 2007 verminderte sich der Maisertrag von 259 dt TM/ha auf 108 dt TM/ha bzw. um 42%.

Tabelle 14: Ertragseffekte durch eine verzögerte Maisaussaat

Standort	Jahr	Ernte spät	späte Ernte [TM dt/ha]	Ernte früh	frühe Ernte [TM dt/ha]	Δ-t [d]	Δ-TM [dt/ha]	Δ-TM /Δ-t	Mittel Δ-TM /Δ-t
Ascha	2006	3. Mai.	180	19. Jun.	143	47	37	0,8	4,5
	2006	3. Mai.	180	4. Mai.	168	1	12	11,9	
	2007	19. Apr.	259	8. Jun.	151	50	108	2,2	
	2007	19. Apr.	259	3. Mai.	213	14	45	3,2	
Dornburg	2006	21. Apr.	134	11. Mai.	113	20	21	1,1	1,8
	2007	25. Apr.	240	18. Mai.	181	23	59	2,6	
Ettlingen	2006	24. Apr.	183	19. Mai.	160	25	24	0,9	0,6
	2007	25. Apr.	247	11. Mai.	244	16	3	0,2	
Gülzow	2006	4. Mai.	210	16. Mai.	180	12	30	2,5	2,9
	2007	25. Apr.	266	10. Mai.	216	15	50	3,3	
Güterfelde	2006	26. Apr.	81	22. Mai.	79	26	2	0,1	1,5
	2007	23. Apr.	192	8. Mai.	148	15	44	2,9	
Trossin	2005	2. Mai.	231	13. Mai.	227	11	3	0,3	0,3
Werlte	2006	25. Apr.	138	16. Mai.	133	21	4	0,2	1,1
	2007	28. Apr.	227	15. Mai.	191	17	35	2,1	
Mittel		**26. Apr.**	**202**	**17. Mai.**	**170**	**21**	**32**	**2,3**	**1,8**

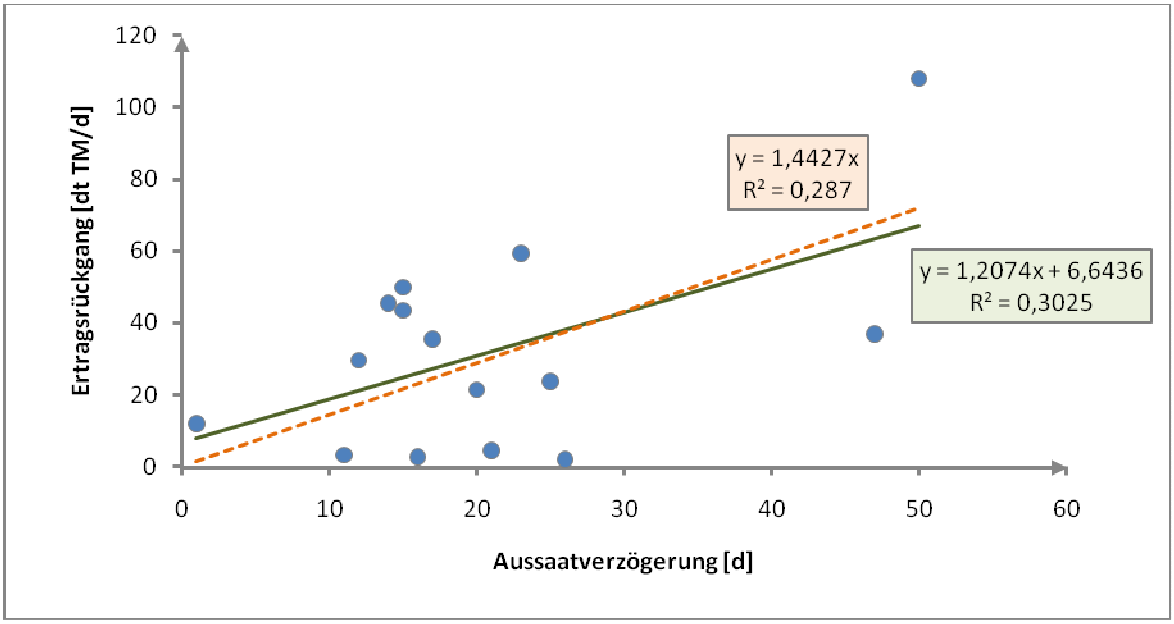
Um die Ertragseffekte durch eine Aussaatverzögerung abzuschätzen, wäre es erforderlich an einem Standort unterschiedliche Aussaattage zu testen. Da dies in EVA I nicht erfolgte, werden über alle Standorte und alle Versuchsjahre die Ertragsrückgänge beim Übergang vom Hauptfruchtmais zum Zweitfruchtmais mit der Aussaatzeitverzögerung gegenübergestellt (siehe Abbildung 14). Wie zu erwarten, ist der Zusammenhang recht lose. Mit einem Bestimmtheitsmaß von lediglich 30% werden die Ertragseffekte mit der Aussaatzeitdifferenz erklärt. Die Verzögerung der Aussaat um einen Tag führt im Schnitt zu einer Ertragsreduktion von 1,2074 dt TM/d. Der Y-Achsenabschnitt gibt die Ertragsdifferenz beim Übergang vom Haupt- zum Zweitfruchtmais wieder. Nach den Auswertungen hat Mais in Zweitfruchtstellung unabhängig von der Aussaatzeitverzögerung einen um 6,6 dt/ha geringeren TM-Ertrag.

Ob der Zusammenhang zwischen der Aussaatverzögerung tatsächlich linear ist oder eventuell einer anderen Funktion folgt, oder inwieweit die Koeffizienten standortspezifisch sind, kann aus den vorliegenden Daten nicht extrahiert werden. Da es für die Bestimmung des optimalen Erntezeitpunktes der Vorfrucht (Winterroggen) bzw. der Aussaat der Zweitfrucht (Mais) notwendig ist, die Effekte abzuschätzen, wird der ermittelte Zusammenhang in Abschnitt 5.2.3 als Arbeitshypothese verwendet.

In Abbildung 14 ist eine zweite Regression geschätzt, bei der der Y-Achsenabschnitt auf Null festgelegt wurde. Dieses Modell spiegelt den Zusammenhang wieder, der sich ergibt, wenn davon ausgegangen wird, dass in den Versuchen allein die Aussaatverzögerung und nicht der

Fruchtfolgestellungswechsel zu Ertragsrückgängen führt. Die Steigungsmaße beider Regressionen liegen relativ dicht beieinander.

Abbildung 14: Ertragseffekte von Mais beim Übergang vom Haupt- zum Zweitfruchtanbau in Abhängigkeit von Aussaatzeitdifferenz in Tagen



5.2.1.2 Trockenmassegehalte von Mais in Abhängigkeit vom Aussaattermin

Der TM-Gehalt wurde kaum durch die Aussaatverzögerung beeinflusst, weil für den Zweitfruchtmais frühreifere Sorten verwendet wurden. Da es in vielen Fällen möglich ist durch eine angepasste Sortenwahl einen TM-Gehalt von 30% zu erzielen, wird bei der Gegenüberstellung von Zweit- und Hauptfruchtmais keine Differenzierung zwischen unterschiedlichen TM-Gehalten durchgeführt. Stattdessen wird einheitlich von 30% TM ausgegangen.

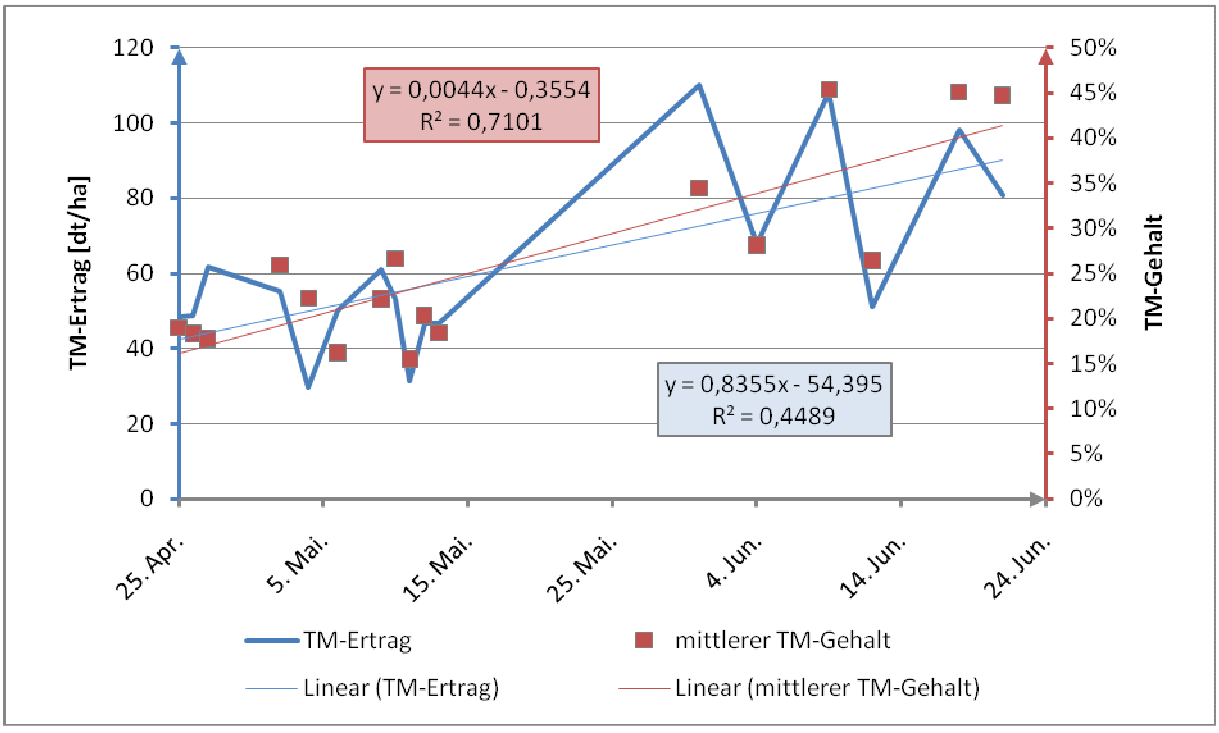
5.2.1.3 Ertrags- und TM-zuwächse von Winterroggen-GPS in Abhängigkeit vom Erntezeitpunkt

Die Ertragsunterschiede von Wintergetreideganzpflanzensilage in Haupt- und Zweitfruchtstellung resultieren einerseits aus dem Erntetermin und andererseits aus der Sortenwahl. Dies gilt insbesondere für den Winterroggen im Winterzwischenfruchtanbau, denn hier stehen neben normalen „Korntypen“ auch Grünroggentypen zur Verfügung. In den Versuchen wurde Grünroggensorten sowohl für die Haupt- als auch für Winterzwischenfruchtnutzung gewählt. Eine Differenzierung nach Sortentypen ist aus den Versuchsergebnissen nicht möglich.

Zur Bewertung des Zweikultursystems sind Aussagen zum Trockenmassezuwachs und zum Anstieg des Trockenmassegehaltes in Abhängigkeit vom Erntedatum erforderlich. Da diese Frage in den Versuchen nicht explizit bearbeitet wurde, lassen sich die genannten Zusammenhänge nur grob abschätzen, indem die vorhandenen Ergebnisse über alle Standorte und Jahre zusammengefasst werden. In Abbildung 15 wurden die mittleren Trockenmassegehalte und TM-Erträge den „Jahrestagen" gegenübergestellt. Der blaue Graph gibt die TM-Erträge wieder. Mit einem R^2 von 45% steigt der TM-Ertrag von 42,5 dt TM/ha am 25. April um 0,84 dt TM/d.

Die roten Punkte geben die mittleren TM-Gehalte wieder. Das Bestimmtheitsmaß der Regression von Trockenmassegehalt zum Erntetag liegt mit 71% höher als das des Trockenmassezuwachses. Im Durchschnitt über alle Standorte und die 3 Versuchsjahre liegt der TM-Gehalt am 25. April bei 16% und steigt mit jedem Tag um 0,44%-Punkte. Für einen angestrebten TM-Gehalt von 30% müsste theoretisch also bis zum 27. Mai gewartet werden.

Abbildung 15: Ertrags- und TM-Gehalts-Entwicklung von Winterroggen-GPS in Abhängigkeit vom Erntetag (gemittelt über alle Standorte und Jahre)



5.2.2 Wirtschaftlichkeit (Ist-Analyse)

Das Zweikultursystem bestehend aus Winterroggen (Wi.Zw.Fr.) und Mais (Zweit-Fr.) wurde im Grundversuch nur in den Jahren 2006 und 2007 angebaut. Der mittlere Roggenertrag lag bei 48 dt/ha (21% TM-Gehalt); der des Zweitfruchtmaises bei 162 dt/ha. Mais in Hauptfruchtstellung brachte im Schnitt in diesen beiden Jahren einen TM-Ertrag von 192 dt TM/ha (30% TM-Gehalt).

In Tabelle 15 ist eine Deckungsbeitragskalkulation nach den methodischen Vorgaben dargestellt. Bei einem TM-Ertrag von 48 dt/ha und einem TM-Gehalt von 21% wird mit Winterroggen als Winterzwischenfrucht kein positiver Deckungsbeitrag erwirtschaftet. Im Gegenteil der Deckungsbeitrag beträgt -178 €/ha. Zwischen Mais Zweit- und Hauptfrucht liegt eine Deckungsbeitragsdifferenz von 90 €/ha, so dass in der Summe das Zweikulturnutzungssystem zu einem Deckungsbeitragsverlust von 268 €/ha führt.

Tabelle 15: Deckungsbeitragskalkulation des Zweikulturnutzungssystems mit Roggen und Mais versus Mais Hauptfrucht

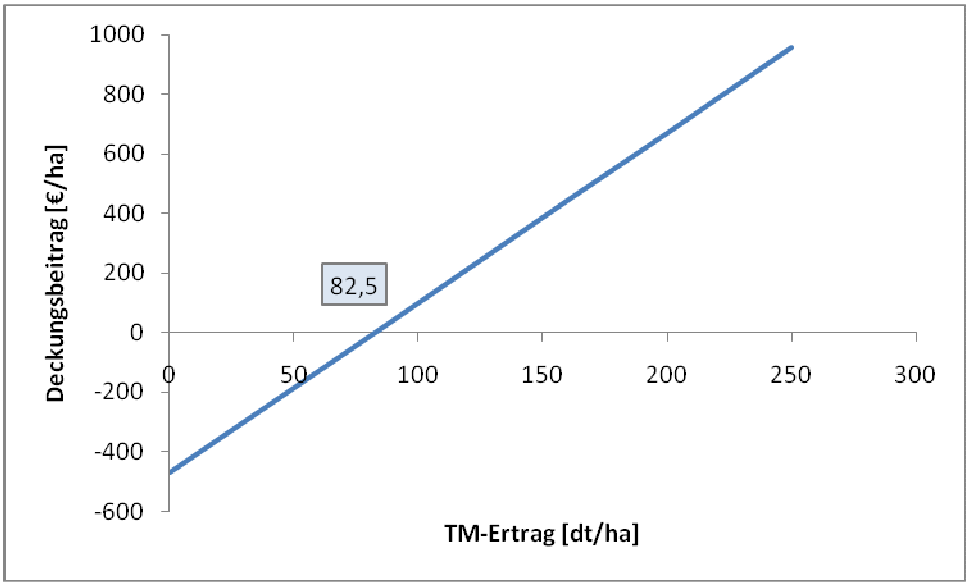
		Wi.-Roggen Wi.Zw.Fr.	Mais Zweit-Fr.	Mais Haupt-Fr.
TM-Ertrag	dt/ha	48	162	192
FM-Ertrag	dt/ha	229	540	640
TM-Gehalt	%	21	30	30
CH_4-Ertrag	m^3/ha	1438	4662	5435
Leistung	€/ha	446	1445	1685
Gärrestmenge	t/ha	20	43	51
Saatgut	€/ha	49	124	121
PSM	€/ha	7	40	48
N-Düngerbedarf	kg/ha	114	260	299
Düngeraufwand	€/ha	68	155	179
Gärrestausbringungskosten	€/ha	73	161	191
Anzahl N-Gaben	1/a	2	2	2
Düngerausbringungskosten	€/ha	16	23	25
Erntekosten	€/ha	255	365	400
sonst. ArErKosten	€/ha	155	123	177
Summe Kosten	€/ha	624	992	1142
Deckungsbeitrag	€/ha	-178	453	543

Im Mittel über die beiden Versuchsjahre und alle Standorte wurde der Winterroggen mit einem TM-Gehalt von 21% geerntet. Bei diesem niedrigen TM-Gehalt kommt es zu Sickersaftverlusten und damit zu Problemen bei der Silierung. Um den TM-Gehalt anzuheben, könnte entweder das Material angewelkt werden, was allerdings mit zusätzlichen Kosten und Verlusten (Bröckelverlusten) verbunden ist oder die Ernte wird später durchgeführt. Eine Ernteverzögerung führt auf der anderen Seite jedoch zu Ertrags- und Deckungsbeitragsreduktionen bei der Folgefrucht. Inwieweit es möglich ist durch eine Optimierung des Erntezeitpunktes den Deckungsbeitrag des Zweikulturnutzungssystems zu erhöhen soll im folgenden Abschnitt untersucht werden.

5.2.3 Wirtschaftlichkeit von Roggen-GPS in Abhängigkeit vom Erntetag bzw. Aussaattag

Im Abschnitt 5.2.1 wurde gezeigt, wie sich der durchschnittliche TM-Ertrag Mais in Abhängigkeit vom Aussaattag und der TM-Ertrag und –Gehalt von Winterroggen (Wi.Zw.Frucht) in Abhängigkeit vom Erntetag verhalten. Der Deckungsbeitrag von Mais hängt nur vom Ertrag ab, da einer tendenziellen Absenkung des TM-Gehaltes im Zuge einer verzögerten Aussaat durch eine entsprechende Sortenwahl entgegengewirkt werden kann[2]. In Abbildung 16 ist der Zusammenhang zwischen dem TM-Ertrag und dem Deckungsbeitrag von Mais in Zweitfruchtstellung bei einem TM-Gehalt von 30% dargestellt. Mindestens 82,5 dt TM/ha sind erforderlich, um einen Deckungsbeitrag von Null zu erwirtschaften. In Abschnitt 5.1 wurde in ähnlicher Weise gezeigt, wie sich der Deckungsbeitrag von Mais in Hauptfruchtstellung in Abhängigkeit vom Ertrag darstellt. Die Funktionen unterscheiden sich geringfügig, da Mais in Zweitfruchtstellung einen höheren Biogasertrag zugewiesen bekommt (siehe Tabelle 9: verwendete Gasbildungskoeffizienten) und hier bei der Definition des Produktionsverfahrens auf den Pflug zugunsten einer Kurzscheibenegge verzichtet wird, wodurch 53 €/ha eingespart werden.

Abbildung 16: Deckungsbeitrag von Mais in Zweitfruchtstellung (TM-Gehalt 30%) in Abhängigkeit vom TM-Ertrag



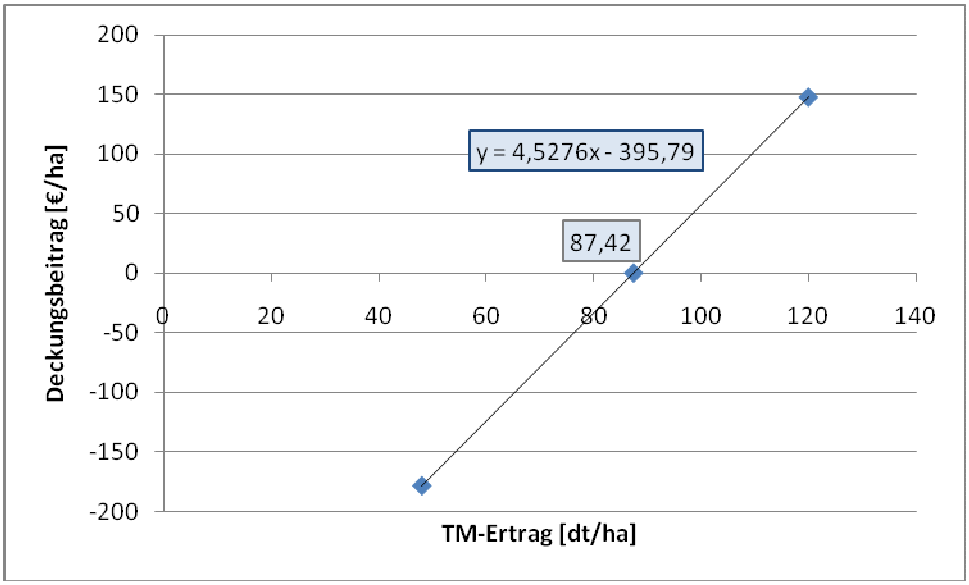
Beim Winterroggen ändert sich nicht nur der TM-Ertrag, sondern auch der TM-Gehalt mit dem Erntetag. Der Deckungsbeitrag hängt somit von zwei unabhängigen Variablen ab. In Abbildung 17 ist exemplarisch unter Konstanthaltung (ceteris paribus-Bedingung) des TM-Gehaltes auf 21% gezeigt, wie sich der der Deckungsbeitrag in Abhängigkeit vom TM-Ertrag

[2] Bei einer weiteren Verzögerung des Aussaattermins wird der TM-Gehalt des Zweitfruchtmaises wahrscheinlich sinken. Die hier verwendete Arbeitshypothese ist deshalb u. U. zu einfach.

verhält. Insbesondere auf Grund des niedrigeren TM-Gehaltes des Winterroggens im Vergleich zum Mais sind fast 87,5 dt TM/ha erforderlich, um einen Deckungsbeitrag von Null zu erwirtschaften.

In der Regel wird ein höherer TM-Ertrag nur dann realisierbar sein, wenn der Winterroggen später geerntet wird. Bei späterer Ernte wird jedoch auch der TM-Gehalt ansteigen, so dass eine ceteris paribus Betrachtung nicht zulässig ist.

Abbildung 17: Deckungsbeiträge von Wi.-Rogg. Wi.Zw.Fr. in Abhängigkeit vom TM-Ertrag bei einem TM-Gehalt von 21%



Geht man zunächst von den Zusammenhängen zwischen TM-Gehalt und TM-Ertrag von Winterroggen Winterzwischenfrucht aus, wie sie im Mittel über alle Standorte und die Jahre 2006 bis 2008 geschätzt wurden (siehe Abbildung 15), dann können simultan in Abhängigkeit vom Erntetag TM-Ertrag und TM-Gehalt geschätzt werden. Aus diesen Größen wiederum lassen sich die entsprechenden Deckungsbeiträge in Abhängigkeit vom Erntetag ermitteln.

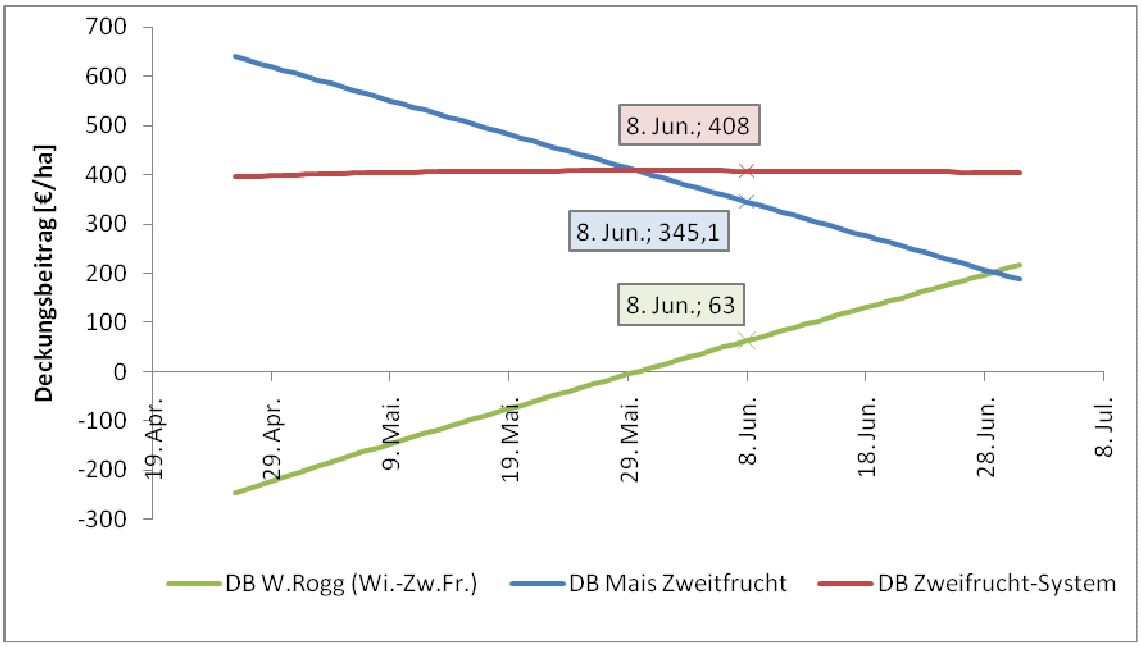
Gleiches lässt sich für Silomais als Zweitfrucht durchführen, indem auch hier die Abnahme des TM-Ertrags über die entsprechende Regressionsgleichung (siehe Abbildung 14) geschätzt wird. In Hauptfruchtstellung wurde Mais in den ersten beiden Versuchsjahren gemittelt über alle Standorte am 27. April ausgesät und realisierte einen TM-Ertrag von 202 dt/ha (siehe Tabelle 14). Mit jedem späterem Aussaattag (Δt) – gerechnet ab dem 26. April – verringert sich der TM-Ertrag von Mais nach Gleichung 9:

Gleichung 9: $$Ertrag_{Mais} = 202 - (\Delta t \times 1{,}2074 + 6{,}6436)$$

In Abbildung 18 sind die entsprechenden Deckungsbeiträge von Mais und Winterroggen in Abhängigkeit vom Ernte- bzw. Aussaattag dargestellt. Mit abnehmenden Grenzdeckungsbeiträgen steigt der Deckungsbeitrag von Winterroggen zunächst vom 26. April mit 8 € ha^{-1} d^{-1} und später ab dem 21. Mai mit 7 € ha^{-1} d^{-1} an. Mais büßt mit jedem Tag der Aussaatverzögerung 6,9 € ha^{-1} d^{-1} an Deckungsbeitrag ein. Die Summe der beiden Einzeldeckungsbeiträge entspricht dem Deckungsbeitrag des Zweikulturnutzungssystems. Solange die Deckungsbeitragszuwächse vom Winterroggen größer sind als die Deckungsbeitragsverluste des Maises bei einer Verzögerung des Fruchtwechsels, steigt der der Gesamtdeckungsbeitrag kontinuierlich an. Am 29. Mai entspricht der Betrag des Grenzdeckungsbeitragsgewinns pro Tag des Winterroggens dem Grenzdeckungsbeitragsverlust von Mais.

Wie in Abbildung 18 nachvollzogen werden kann, wird am 29. Mai ein Gesamtdeckungsbeitrag von 408 €/ha erzielt. TM-Gehalt des Winterroggens liegt dann bei gut 30%. Der Referenzdeckungsbeitrag von Mais in Hauptfruchtstellung liegt jedoch bei 678 €/ha bei einem Ertrag von 202 dt TM/ha (siehe Tabelle 14), so dass das Zweikulturnutzungssystem im Durchschnitt nicht ökonomisch überlegen ist. Ob diese Aussage standortspezifisch differenziert werden muss, soll im Folgenden gezeigt werden.

Abbildung 18: Einzel- und Gesamtdeckungsbeiträge im Zweikulturnutzungssystem bestehend aus Mais und Winterroggen



5.2.4 Einfluss des Standortes auf die Wirtschaftlichkeit der Zweikulturnutzungssystems

Indem die Ertragsrückgänge von Mais beim Übergang vom Haupt- zum Zweitfruchtmais in Beziehung zu der Anzahl an Tagen, um die die Aussaat verzögert wurde, gesetzt werden,

erhält man einen Indikator für die Standorteignung für den Anbau von Mais als Zweitfrucht. In Ettlingen sind die Ertragsrückgänge pro Tag (0,6 dt TM ha^{-1} d^{-1}) beispielsweise deutlich geringer als in Gülzow (2,9 dt TM ha^{-1} d^{-1}) oder Ascha (4,5 dt TM ha^{-1} d^{-1}) (siehe Tabelle 14).

Eine standortspezifische Aussage zum Ertragszuwachs des Wintergetreides mit einer Aussaatverzögerung ist aus den Versuchsergebnissen kaum möglich. In Tabelle 16 sind alle vorhandenen Wertepaare wiedergegeben, in denen an einem Standort und einem Jahr dieselben Getreidearten an unterschlichen Tagen geerntet wurden. Es wird die Ertragsdifferenz zur Aussaatzeitverzögerung ins Verhältnis gesetzt. Diese Maßzahl ist ein Indikator dafür, wie gut die Getreidearten auf dem jeweiligen Standort im jeweiligen Jahr in der Lage waren weitere Wachstumstage in Ertrag umzusetzen. Ettlingen fällt auch hier mit Werten zwischen 1,54 und 1,77 dt TM ha^{-1} d^{-1} positiv auf. Im Durchschnitt wächst der TM-Ertrag von Wintergetreide-GPS in Ettlingen um 1,66 dt TM ha^{-1} d^{-1}. Güterfelde bzw. Werlte erreichen im Durchschnitt nur 1 bzw. 0,9 dt TM ha^{-1} d^{-1}.

Tabelle 16: Standortabhängige Ertragszuwächse [dt TM/ha] in Abhängigkeit vom Erntedatum

Standort	Jahr	Frucht	späte Ernte	spät dt/ha	frühe Ernte	früh dt/ha	Δ-t	Δ-TM	Δ-TM/Δ-t	Δ-TM/Δ-t
Ett-lin-	2006	W.Trit	22. Jun.	125	12. Mai.	62	41	63,1	1,5	1,54
	2007	W.Trit	8. Jun.	124	2. Mai.	38	37	85,5	2,3	1,77
		W.Trit	8. Jun.	124	26. Apr.	71	43	53,1	1,2	
gen	2006	W.Trit	4. Jul.	64	21. Jun.	50	13	13,7	1,1	1,06
Güterfelde	2007	W.Trit	6. Jun.	62	31. Mai.	56	6	6,4	1,1	0,54
		W.Trit	6. Jun.	62	29. Mai.	61	8	0,6	0,1	
		W.Trit	6. Jun.	62	30. Mai.	65	7	-3,4	-0,5	
		W.Rog	4. Jun.	68	4. Mai.	29	31	38,9	1,3	
		W.Rog	4. Jun.	68	29. Mai.	62	6	5,5	0,9	
		W.Rog	4. Jun.	68	25. Apr.	48	40	19,5	0,5	
		W.Rog	4. Jun.	68	3. Mai.	53	32	15,2	0,5	
	2008	W.Trit	10. Jun.	82	5. Jun.	79	5	3,1	0,6	1,06
		W.Rog	9. Jun.	108	6. Mai.	50	34	57,9	1,7	
		W.Rog	9. Jun.	108	9. Mai.	62	31	46,4	1,5	
		W.Rog	9. Jun.	108	3. Jun.	105	6	2,7	0,4	
Wer-lte	2007	W.Rog	21. Jun.	81	10. Mai.	53	42	27,7	0,7	0,66
	2008	W.Rog	18. Jun.	98	13. Mai.	47	36	51,4	1,4	1,43
Ø			**10. Jun.**	**87**	**17. Mai.**	**58**	**25**	**28,7**	**1,0**	**1,15**

Da die Versuche nicht explizit zur Beantwortung der obigen Fragestellung angelegt wurden, können die Ergebnisse nur Hinweise bieten. Auch die Ursachen für die standortabhängigen Ertragseffekte können nicht geklärt werden. Dennoch soll festgehalten werden, dass die

Standortbedingungen in Ettlingen eine höhere Eignung für ein Zweikulturnutzungssystem nahelegen als die Standortbedingungen in Güterfelde oder Werlte.

5.2.5 Ist-Analyse der Zweikulturnutzungsergebnisse des Grundversuchs

In den Versuchen wurde im Zweikulturnutzungssystem Winterroggen und Mais der Winterroggen i. d. R. zu früh geerntet, so dass die Deckungsbeiträge negativ waren. Nur in Ascha wurde im Jahr 2007 ein positiver Deckungsbeitrag erzielt, indem mit der Ernte bis zum 31. Mai gewartet wurde (siehe Tabelle 17). In folgenden Projektlaufphase (EVA II) sollte die Ernte des Wintergetreides tendenziell besser Ende Mai/Anfang Juni erfolgen.

Tabelle 17: Anbaudaten und Deckungsbeiträge von Winterroggen-GPS als Winterzwischenfrucht vor Mais Zweitfrucht

Standort	Erntejahr	Aussaat	Ernte	FM dt/ha	TM dt/ha	TM-Gehalt %	Deckungsbeitrag
Ascha	2006	7. Okt.	12. Jun.	174	48	27	-144
	2007	24. Sep.	2. Mai.	262	72	27	-19
	2007	24. Sep.	31. Mai.	320	113	35	260
Dornburg	2006	6. Okt.	9. Mai.	294	64	22	-99
	2007	22. Sep.	26. Apr.	326	60	18	-154
Ettlingen	2006	21. Okt.	12. Mai.	226	43	19	-217
	2006	21. Okt.	12. Mai.	226	43	19	-217
	2007	31. Okt.	26. Apr.	168	30	18	-275
	2007	31. Okt.	26. Apr.	168	30	18	-275
Gülzow	2006	5. Sep.	11. Mai.	331	49	15	-244
	2007	27. Sep.	27. Apr.	321	55	17	-185
Güterfelde	2006	29. Sep.	11. Mai.	178	26	14	-318
	2007	18. Okt.	4. Mai.	133	30	22	-257
Trossin	2006	19. Okt.	11. Mai.	119	19	16	-329
	2006	19. Okt.	11. Mai.	119	19	16	-329
	2007	11. Okt.	2. Mai.	153	37	24	-211
	2007	11. Okt.	2. Mai.	153	37	24	-211
Werlte	2006	14. Okt.	12. Mai.	202	43	21	-200
	2006	14. Okt.	12. Mai.	174	39	22	-215
	2007	26. Okt.	10. Mai.	197	54	27	-115
	2007	26. Okt.	10. Mai.	199	53	27	-118
	2007	26. Okt.	10. Mai.	202	52	25	-135
Mittel			9. Mai.	211	46	22	-182

5.2.6 Aussaat von Mais im Juni

Eine Aussaat von Mais als Zweitfrucht im Juni kann mit einem unbefriedigenden Auflauf verbunden sein, wenn die notwendigen Niederschläge ausbleiben. Aus Tabelle 18 geht

hervor, dass auf den meisten Standorten die Niederschläge im Juni höher sind als im Mai und dass die Wahrscheinlichkeiten für weniger als 30 mm Monatsniederschlag i. d. R. im Juni ebenfalls niedriger sind als im Mai. Ausnahmen bilden die Standorte Ettlingen und Güterfelde (orange unterlegt). Hier könnten die Wasserverhältnisse im Mai günstiger sein.

Tabelle 18: Indikatoren für die Wasserverhältnisse an der Versuchsstandorten (Datengrundlage: DWD-Daten von 1998 bis 2008)

Standort	ØNiederschlags-summe [mm]		Monate unter 30 [mm]		25%-Quantil [mm]		75%-Quantil [mm]	
	Mai	Juni	Mai	Juni	Mai	Juni	Mai	Juni
Ascha	75	88	0%	0%	54	70	97	107
Gülzow	49	71	30%	10%	33	35	65	75
Werlte	59	68	30%	10%	32	42	93	82
Dornburg	64	60	10%	0%	40	42	74	87
Ettlingen	74	59	10%	20%	49	31	104	61
Güterfelde	63	54	10%	30%	36	33	73	65
Trossin	48	48	30%	30%	37	48	60	82

5.3 Alternative Fruchtfolgeglieder zu Mais

Neben Mais existieren eine Reihe anderer potenzieller Pflanzen, die zur Biogassubstratproduktion angebaut werden können. Bei einem Vergleich der Wettbewerbsfähigkeit unterschiedlicher Pflanzenarten ist die Fruchtfolgestellung (Haupt.-Fr., Zweit-Fr., So.-Zw.Fr, Wi.-Zw.Fr) zu berücksichtigen. Denn der Ertrag einer Nutzpflanze wird auch durch die ihr zur Verfügung gestellte Wachstumszeit bestimmt. Ein Fruchtfolgeglied, das während der Hauptvegetationszeit die Fläche blockiert, wird deshalb als Hauptfrucht bezeichnet. In einem Jahr kann auf derselben Fläche immer nur eine Hauptfrucht angebaut werden. Nach einer Hauptfrucht sind Zwischenfrüchte möglich. Zwischenfrüchte können im Herbst desselben Jahres angebaut und geerntet werden und werden dann als Sommerzwischenfrucht bezeichnet. Erfolgt die (letzte) Ernte erst im Frühjahr des darauffolgenden Jahres, dann spricht man von einer Winterzwischenfrucht. Im Anschluss an eine Winterzwischenfrucht kann keine Sommerhauptfrucht mehr folgen, weil der Aussaatzeitpunkt durch die Vorkultur verzögert wird. Es handelt sich dann um eine Zweitfrucht.

In den folgenden Auswertungen sind die Fruchtfolgeglieder also durch die angebaute Frucht selbst und die Fruchtfolgestellung charakterisiert. Bei überjährigen Kulturen wird zusätzlich berücksichtigt, um das wievielte Anbaujahr (Selbstfolge) es sich handelt.

In Abschnitt 3.2.1 wurde bereits darauf hingewiesen, dass zu den oben genannten Differenzierungskriterien grundsätzlich auch die Fruchtfolge (zeitliche Abfolge der unterschiedlichen Fruchtfolgeglieder) bei einem Wirtschaftlichkeitsvergleich zu berücksichtigen ist, weil in Abhängigkeit von positiven oder negativen Vorfrucht-Nachfrucht-Wirkungen oder in Abhängigkeit vom jeweiligen Anteil einer Fruchtart die Leistungen und Kosten eines Fruchtfolgegliedes unterschiedlich sind. Aus Vereinfachungsgründen und weil die bisherigen Daten eine solche Auswertung nur sehr eingeschränkt erlauben, werden Fruchtfolgeeffekte bei den folgenden Auswertungen zunächst jedoch nicht berücksichtigt.

5.3.1 Hauptfruchtanbau

In Tabelle 19 sind die Deckungsbeiträge (je ha und Jahr) der wichtigsten in EVA untersuchten Hauptfrüchte wiedergegeben. Im Durchschnitt über alle Standorte und Jahre zeigte Mais mit 448 € ha^{-1} a^{-1} den höchsten Deckungsbeitrag. Welsches Weidelgras im 2.ten Anbaujahr, Leguminosengräser (Luzerne-, Klee-, Luzerne-Klee-Gras) und WGetr-GPS (WWeizen, WRoggen, WGerste, WTriticale) erzielten Deckungsbeiträge – ebenfalls im Durchschnitt über alle Standorte und Jahre – in Höhe von ca. 150 € ha^{-1} a^{-1}. Mit Zuckerhirse und Sudangras wurde ein leicht negativer Deckungsbeitrag erzielt, während Sonnenblumen deutlich stärker abfielen und einen Deckungsbeitrag von -306 € ha^{-1} a^{-1} zeigten. Aus diesen Ergebnissen wird die hohe Überlegenheit von Silomais als Gärsubstrat deutlich.

Tabelle 19: Deckungsbeiträge alternativer Fruchtfolgeglieder in Hauptfruchtstellung

	Mais	Wel-WeiGr		LegGr			WGetr	ZHirse	SuGr	SB
Selb.-Folge	1	1	2	1	2	3	1	1	1	1
	448	**-146**	**158**	**-86**	**121**	**141**	**134**	**-18**	**-41**	**-306**
Ascha	**542**			**-1**	**344**	**313**	**134**		**-27**	
2005	349			28					-11	
2006	439			-30	346		-1		-42	
2007	838				343	376	224			
2008						251	180			
Dornburg	**286**			**-30**	**239**	**188**	**212**		**23**	
2005	210								81	
2006	127			-30	50		325		-36	
2007	700				429	182	219			
2008	109					195	91			
Ettlingen	**587**			**-187**	**75**	**207**	**182**	**-18**	**-204**	**-258**
2005	671			-187				121	-283	-243
2006	586				202		229	-158	-124	-273
2007	618				-52	147	188			
2008	475					268	128			
Gülzow	**689**	**-146**	**158**	**-78**	**143**	**146**	**252**		**2**	
2005	582								-152	
2006	558	-179		-78	64		219		156	
2007	927	-112	192		221	188	312			
2008			124			104	225			
Güterfelde	**293**				**42**	**40**	**30**		**11**	**-383**
2005	393								47	-414
2006	-81				42		-20		-26	-351
2007	565				42	-96	-46			
2008						176	156			
Trossin	**340**				**-113**	**85**	**37**		**0**	**-277**
2005	562								48	
2006	71				-125		97		-48	-258
2007	388				-102	41	-54			-297
2008						129	68			
Werlte	**401**			**-136**	**116**	**3**	**93**		**-96**	
2005	412			-130					-103	
2006	142			-141	165		220		-89	
2007	651				66	-71	-13			
2008						77	72			

In einzelnen Jahren und an einzelnen Standorten sind die Vorteile von Mais geringer bzw. Mais hat nicht die Vorrangstellung. In Tabelle 19 sind die Fruchtfolgeglieder grün hervorgehoben, bei denen dies zutrifft.

In Dornburg betrug der Deckungsbeitrag von Wintergetreide-GPS 212 € ha^{-1} a^{-1} im Vergleich zu 286 € ha^{-1} a^{-1} (Mais). Der Vorteil von Mais ist hier also deutlich schwächer ausgeprägt als an den anderen Standorten. Und im Jahr 2006 konnte an diesem Standort sogar mit 325 € ha^{-1} a^{-1} ein deutlich höherer Deckungsbeitrag über Wintergetreide-GPS als mit Mais (127 € ha^{-1} a^{-1}) erzielt werden. Ebenfalls in Dornburg konnte im Jahr 2008 auch das Leguminosengras im 3.ten Anbaujahr mit 195 € ha^{-1} a^{-1} gegenüber 109 € ha^{-1} a^{-1} (Mais) überzeugen.

In Güterfelde waren die Maisergebnisse in 2006 durch besonders ausgeprägte Trockenschäden mit -81 € ha^{-1} a^{-1} negativ. Leguminosengräser haben in diesem Jahr mit 42€ ha^{-1} a^{-1} um 143 € ha^{-1} a^{-1} besser abgeschnitten.

Genau wie in Dornburg wurden in 2006 an zwei weiteren Standorten (Trossin, Werlte) bessere Ergebnisse mit WGetr-GPS erzielt als mit Mais. Die trockene Witterung im Jahr 2006 führte an insgesamt 3 Standorten also offensichtlich zu deutlich höheren Ertragsverlusten beim Mais als beim Wintergetreide. Dieses Ergebnis ist ein Hinweis darauf, das Wintergetreide-GPS insbesondere zur Reduktion von Witterungsrisiken an Trockenstandorten in Betracht gezogen werden sollte.

Da mehrjährige Ackerkulturen, wie Klee-Gras, Luzerne-Gras oder Luzerne-Klee-Gras (Leguminosengräser) ökologische Vorteile aufweisen (siehe Endbericht ZALF), sollen diese noch einmal etwas genauer betrachtet werden. Aus ökonomischer Sicht bestehen die Vorteile von Leguminosengräser darin, dass sie eine bodenverbessernde Wirkung haben und somit die Ertragsfähigkeit nach dem Anbau erhöht sein kann (Humusgehalt, Bodengare). Diese Effekte werden in den bisherigen ökonomischen Auswertungen nicht berücksichtigt. Weitere kostensenkende Effekte gehen davon aus, dass der N-Düngungsbedarf durch die symbiontische N-Bindung erheblich reduziert ist und dass der Saatgut-, Pflanzenschutz- und Bodenbearbeitungsaufwand bezogen auf die gesamte Nutzungsdauer (2-3 Hauptnutzungsjahre) geringer ist als beim einjährigen Ackerbau. Diese Zusammenhänge sind in den Auswertungen monetär bewertet worden (siehe Abschnitt 4).

In Abbildung 19 sind die Deckungsbeitragsdifferenzen der Leguminosengräser im ersten und zweiten Hauptnutzungsjahr zu Mais in Hauptfruchtstellung grafisch dargestellt. An allen Standorten waren die Deckungsbeitragsdifferenzen im Jahr 2006 deutlich geringer als im Jahr 2007. Offensichtlich konnte der Mais das hohe Niederschlagsangebot in 2007 also relativ besser verwerten als die Leguminosengräser. In 2008 konnte der Vergleich leider nur an den Standorten Dornburg und Ettlingen durchgeführt werden, weil an den anderen Standorten Mais nicht in Hauptfruchtstellung angebaut wurde. An diesen Standorten haben die Luzernegräser aber am relativ besten abgeschnitten (Deckungsbeitragsdifferenz zu Mais: Dornburg: 86 € ha^{-1} a^{-1}; Ettlingen -207 € ha^{-1} a^{-1}).

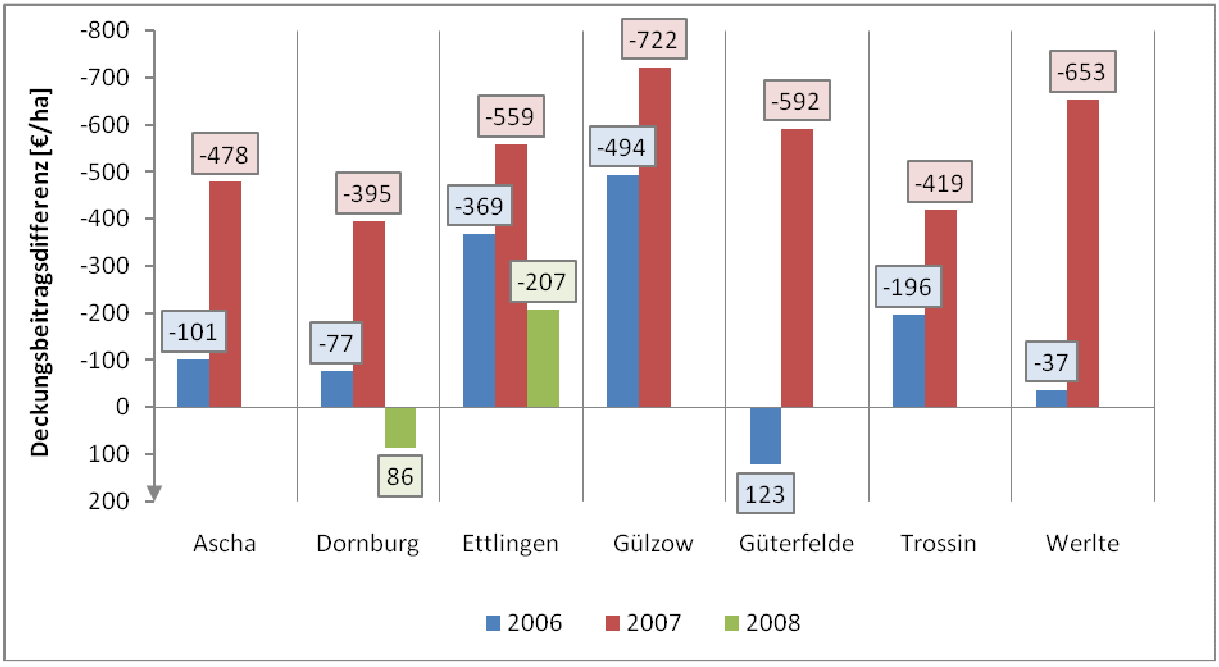
Bei diesen Auswertungen ist zu bedenken, dass nur die Hauptnutzungsjahre des Luzerneanbaus und nicht das Etablierungsjahr betrachtet werden. In den Versuchen schwankten die Deckungsbeiträge in den Ansaatjahren zwischen -187 (Ettlingen: 2005) und

+28 €/ha (Ascha: 2005, siehe Tabelle 19). Damit der Deckungsbeitrag des Luzernegrasanbaus also nicht im Nachhinein durch das Ansaatjahr deutlich vermindert wird,

- muss die Etablierung nach einer Hauptfrucht erfolgen, damit im Ansaatjahr keine Opportunitätskosten für die Fläche entstehen (im ersten Jahr muss es sich also um eine Zwischenfrucht handeln) und
- muss abgewogen werden zwischen einer kostengünstigen Saat (verminderte Bodenbearbeitung bis hin zu Untersaat) und einer guten Bestandesetablierung.

In den meisten Fällen wurde in den Versuchen eine Untersaat erfolgreich praktiziert. Wie hoch jedoch der Etablierungserfolg war und ob mögliche Vorteile bei der Bestandsetablierung eine Blanksaat gerechtfertigt hätten, sollte aus den Empfehlungen der jeweiligen Versuchsstationen (Endberichte) entnommen werden.

Abbildung 19: Deckungsbeitragsdifferenzen von Leguminosengräsern im ersten und zweiten Hauptnutzungsjahr zu Mais in Hauptfruchtstellung



5.3.2 Zweit- und Zwischenfruchtanbau

In Tabelle 20 sind die Deckungsbeiträge der Sommer- und Winterzwischenfrüchte und die der Zweitfrüchte aufgelistet. Die Deckungsbeiträge aller Zwischenfrüchte sind negativ. In Abschnitt 5.2 wurden detailliert die Bestimmungsgründe für die Wirtschaftlichkeit von „WGetr Wi.-Zw.Fr“ aufgezeigt.

Bei den Sommerzwischen- und den Zweitfrüchten stellt der hohe Wassergehalt einen wesentlichen Kostentreiber dar. Vergleicht man die Ergebnisse von Sudangras und

Zuckerhirse als So.-Zw.Frucht und als Zweit-Fr., dann sind die Ergebnisse der Zweitfrüchte in allen Fällen deutlich besser.

Mais ist in Zweitfruchtstellung an jedem Standort in jedem Jahr den anderen getesteten Zweitfrüchten überlegen. Um mit den vorgestellten alternativen Früchten den Mais zu übertreffen, ergeben sich aus pflanzenbaulicher und züchterrischer Sicht die Notwendigkeiten

- einen möglichst hohen TM-Ertrag in kurzer Zeit zu realisieren,
- den TM-Gehalt möglichst in den Bereich von 30% und darüber anzuvisieren und
- hohe Gaserträge durch hohe Verdaulichkeiten zu erreichen.

Da Mais all diese Eigenschaften in hohem Maß erfüllt, zeigt er die vorgestellte hohe wirtschaftliche Vorzüglichkeit.

Tabelle 20: Deckungsbeiträge alternativer Fruchtfolgeglieder in Zweit- und Zwischenfruchtstellung

	So.-Zw.Fr.			Wi.-Zw.Fr.		Zweit-Fr.		
Selb.folge	SuGr 1	ZHirse 1	EinWeiGr 1	WelWei Gr 1	WGetr 1	Mais 1	ZHirse 1	SuGr 1
	-155	**-204**	**-300**	**-94**	**-176**	**363**	**69**	**-29**
Ascha	**-155**	**-249**	**-230**	**-94**	**-6**	**292**		**19**
2006					-137	167		117
2007	-295	-272	-159	-94	124	417		-80
2008	-16	-227	-301					
Dornburg		**-221**	**-354**		**-178**	**299**		**49**
2006					-165	83		-119
2007		-131	-402		-192	514		216
2008		-312	-305					
Ettlingen		**-132**	**-438**		**-236**	**439**	**64**	**-95**
2006					-208	439		-200
2007			-416		-264		64	10
2008		-132	-459					
Gülzow		**-260**	**-190**		**-189**	**532**		**83**
2006					-235	435		117
2007		-245	-181		-143	630		49
2008		-276	-199					
Güterf.		**-195**	**-262**		**-231**	**164**		**-105**
2006					-300	2		-283
2007		-79	-237		-168	325		46
2008		-311	-287		-224			-79
Trossin		**-194**	**-287**		**-239**		**74**	**-158**

	So.-Zw.Fr.			Wi.-Zw.Fr.		Zweit-Fr.		
Selb.folge	SuGr 1	ZHirse 1	EinWeiGr 1	WelWei Gr 1	WGetr 1	Mais 1	ZHirse 1	SuGr 1
2005								
2006					-308		20	33
2007		-160	-295		-170		127	-61
2008		-228	-278					-446
Werlte		**-175**	**-342**		**-151**	**450**		**7**
2005								
2006					-117	280		-7
2007			-323		-97	582		22
2008		-175	-361		-239	487		

5.3.3 Externe Forschungsergebnisse „NaRoBi“

Durch die Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe wird das Verbundvorhaben „Bewertung nachwachsender Rohstoffe zur Biogaserzeugung für die Pflanzenzüchtung“ (NaRoBi) gefördert. Im Rahmen dieses Verbundes werden in Teilprojekt 2 Anbauversuche durch die Fachhochschule Soest durchgeführt, wobei es insbesondere darum gehen soll eine Bandbreite unterschiedlicher potenzieller Biogassubstrate zu erzeugen, um hieraus Pflanzenmaterial für Gärtests zur Verfügung zu stellen. Als Nebenziel sollen die Ergebnisse der Versuche ökonomisch ausgewertet werden. Um die Ergebnisse aus Soest mit denen des EVA-Projektes vergleichen zu können, werden die Versuchsdaten (Hötte, 2009) mit der in Abschnitt 4 vorgestellten Methode ausgewertet.

In Tabelle 21 sind die 3 angebauten Fruchtfolgen angegeben. In all diesen Produktionssystemen werden ausschließlich Ganzpflanzensilagen als Biogassubstrat geerntet. Zunächst wird mit einer 9-gliedrige Fruchtfolge ein breites Artenspektrum abgedeckt und durch einen intensiven Zwischenfruchtanbau eine maximale Bodendeckung erzielt. Im zweiten, dritten und vierten Jahr werden in dieser 9-gliedrigen Fruchtfolge anstelle von Sommerraps, Sudangras bzw. Erbsen noch andere Zwischenfrüchte getestet. Aus Vereinfachungsgründen werden diese Früchte in den Auswertungen nicht dargestellt.

Mit der zweiten Fruchtfolge wird ein Zweikulturnutzungssystem bestehend aus Winterroggen und Mais abgebildet. Und schließlich bildet eine Mais-Monokultur die Referenz.

Tabelle 21: Fruchtfolgen im Teilprojekt 2 der Verbundprojekts NaRoBi

Fruchtfolge	Jahr	Frucht	FF-Stellung
(1) 9-gliedrige Fruchtfolge	1	WelWeiGr	Wi.-Zw.Fr.
		Mais	Zweit-Fr.
	2	WWei	Haupt-Fr.
		SRaps	So.-Zw.Fr.
	3	WGer	Haupt-Fr.
		SuGr	So.-Zw.Fr.
	4	WTrit	Haupt-Fr.
		Erb	So.-Zw.Fr.
	5	WWei	Haupt-Fr.
(2) Roggen-Mais	n	WRog	Wi.-Zw.Fr.
		Mais	Zweit-Fr.
(3) Mais-Monokultur	n	Mais	Haupt-Fr.

Die Ergebnisse der ersten beiden Versuchsjahre (2007 und 2008) sind gemittelt für die kompletten Fruchtfolgen in Tabelle 22 dargestellt. Die Mais-Monokultur hat im Mittel zwar nicht den höchsten TM- und Methanertrag erzielt, dafür aber den höchsten Deckungsbeitrag. Der Grund hierfür liegt vor allem in den höheren Arbeitserledigungskosten der Fruchtfolge 2, die wiederum durch die zweifache Ernte und die jeweils höheren Wassergehalte des Erntematerials maßgeblich erhöht werden.

Der Deckungsbeitrag der 9-gliedrigen Fruchtfolge beträgt weniger als 11% der Mais-Monokultur.

Tabelle 22: Mittlere Deckungsbeiträge der geprüften Fruchtfolgen

Fruchtfolge	FM dt/ha	TM dt/ha	CH_4 m^3/ha	Erlös €/ha	Saatg. €/ha	Dün. €/ha	PSM €/ha	ArEr_ Kost. €/ha	DB €/ha
9-gliedrige Fruchtfolge	670	194	5326	1651	136	219	120	1090	86
Roggen-Mais	946	275	7992	2477	169	294	77	1301	636
Mais-Monokultur	833	246	6954	2156	134	229	65	926	803

Quelle: eigene Berechnungen nach Hötte, 2009

Das unbefriedigende Ergebnis der vielfältigen Fruchtfolge (siehe Tabelle 23) ist insbesondere auf den Zwischenfruchtanbau zurückzuführen. Mais als Zweitfrucht und die Getreidearten als Hauptfrüchte haben positive Deckungsbeiträge erzielt, während insbesondere die Sommerzwischenfrüchte deutlich negative Einkommensbeiträge gezeigt haben. Welsches Weidelgras als Winterzwischenfrucht nimmt eine Mittelstellung ein. Der Deckungsbeitragsverlust ist deutlich geringer als bei den Sommerzwischenfrüchten. 2007

konnte mit dem welschen Weidelgras sogar ein positiver Deckungsbeitrag von 89 €/ha realisiert werden. In diesem Jahr wurde eine Netto-TM-Ertrag[3] von 80 dt/ha mit nur einer Ernte im Frühjahr erzielt. 2008 wurde zwar mit 81 dt TM/ha ein ähnlich hoher Nettoertrag erzielt. Hierfür waren allerdings 2 Ernten notwendig, was zu deutlich höheren Kosten geführt hat.

Tabelle 23: Durchschnittliche Deckungsbeiträge der Fruchtfolgeglieder im Forschungsprojekt NaRoBi (Auswertungszeitraum: 2007-2008)

FF	Frucht	Stellung	Nr.	FM dt/ha	TM dt/ha	CH_4 m^3/ha	Erlös €/ha	Saatg €/ha	Dün. €/ha	PSM €/ha	ArEr Kost. €/ha	DB €/ha
1	WelWeiGr	Wi.-Zw.Fr.	1	293	81	2606	808	105	80	50	659	-62
	Mais	Zweit-Fr.	2	613	209	6012	1864	134	200	47	802	681
	WWei	Haupt-Fr.	3; 9	404	136	3546	1099	68	126	143	621	141
	SRaps	So.-Zw.Fr.	4	226	39	1184	367	113	84		453	-283
	WGer	Haupt-Fr.	5	384	119	2970	921	61	117	118	602	22
	SuGr	So.-Zw.Fr.	6	390	75	2068	641	33	139	26	598	-142
	ZHirse	So.-Zw.Fr.	6	413	68	1793	556	22	98		609	-173
	SB	So.-Zw.Fr.	6	513	81	2066	641	149	108		680	-298
	WTrit	Haupt-Fr.	7	485	146	3949	1224	57	146	113	674	234
	Erb	So.-Zw.Fr.	8	148	30	751	233	40	75		419	-302
2	WRog	Wi.-Zw.Fr.	1	333	66	1980	614	36	94	56	549	-93
	Mais	Zweit-Fr.	2	613	209	6012	1864	134	200	49	752	729
3	Mais	Haupt-Fr.	1	833	246	6954	2156	134	229	65	926	803

Quelle: eigene Berechnungen nach Hötte, 2009

Die Ergebnisse aus dem NaRoBi-Projekt fügen sich sehr gut in die Ergebnisse des EVA-Projektes ein. Das generelle schlechte Abschneiden der Zwischenfrüchte in den eigenen Auswertungen steht jedoch zum Teil im Gegensatz zu den geäußerten Erwartungen/Aussagen. Um diese Diskrepanzen aufklären zu können, sollte besonderes Augenmerk auf einen Methodenvergleich gelegt werden.

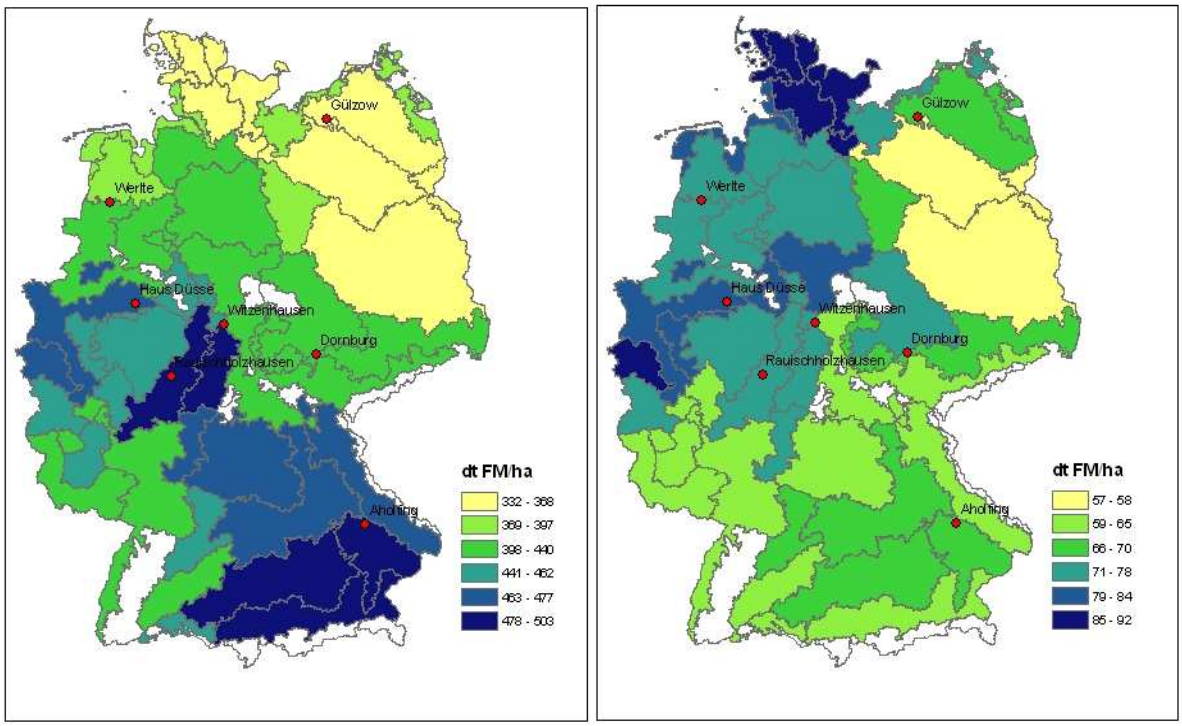
[3] Nach Abzug von 10% Bröckelverlusten (siehe Abschnitt 4.1.1)

5.4 Zweikulturnutzungssystem

In Teilprojekt 6 des EVA-Verbundes wird gezielt der Anbau und die Ernte von 2 Nutzpflanzen in einem Jahr untersucht. Die Versuche finden an sieben Standorten (siehe Abbildung 20) statt. Um die Ertragsfähigkeiten der Standorte – einerseits für Silomais und andererseits für Winterweizen (stellvertretend für den Getreidebau) – grob einordnen zu können, wurden in Abbildung 20 für die Boden-Klima-Räume, die vom Arbeitskreis „Koordinierung im Versuchswesen“ beim Verband der Landwirtschaftskammern festgelegt wurden (vgl. Rossberg et al., 2007), die Ertragsdaten der Kreisstatistik (1999 bis 2005) gemittelt und zugeordnet.

Dornburg, Werlte und Gülzow liegen in Regionen mit relativ hohen Winterweizenerträgen in Relation zu den Silomaiserträgen, so dass zu erwarten ist, dass diese Standorte eine tendenziell höhere Wettbewerbsfähigkeit von Wintergetreide-GPS im Vergleich zu Silomais zeigen werden als die anderen Standorte.

Abbildung 20: Versuchsstandorte und Regionalerträge von Silomais (links) und Winterweizen (rechts)



Quelle: Destatis, 2007; Rossberg, 2007; eigene Daten, eigene Darstellung

5.4.1 Mittlere Vorzüglichkeit der unterschiedlichen Anbausystem im Rahmen des Zweikulturnutzungsversuches

Tabelle 24 stellt eine Zusammenfassung der Ergebnisse des gesamten Zweikulturnutzungsversuches über die Jahre 2006 bis 2008 dar. Zeilenweise werden die unterschiedlichen Anbausysteme miteinander verglichen, wobei jeweils die beiden Kulturen zusammengefasst werden, die ein Anbausystem im Versuch gebildet haben. In der ersten Spalte sind die im Versuch verwendeten Feldbezeichnungen der beiden Kulturen festgehalten, wobei „E“ immer für ein Einkultur- bzw. Hauptfruchtsystem und ein „Z“ für ein Zweikulturnutzungssystem steht. Die Hauptfruchtsysteme bestehen aus zwei unterschiedlichen Fruchtabfolgen; einmal aus Senf (Winterzwischenfrucht) und Mais (Hauptfrucht) und das andere Mal aus Winterroggen (Hauptfrucht; entweder als Korn- oder GPS-Nutzung) gefolgt von Senf (Winterzwischenfrucht), so dass auch in diesen Fällen jeweils zwei Kulturen zusammengefasst werden. In der zweiten Spalte sind die beiden „Fruchtfolgeglieder“, die im jeweiligen System angebaut wurden, getrennt durch „---“ angeben. In den letzten 3 Spalten folgen die Anzahl der ausgewerteten Versuche (Maximum: 3 Jahre $\times$ 7 Standorte = 21), der erzielte mittlere Deckungsbeitrag und die Standardabweichung des Deckungsbeitrags als Indikator für das Risiko.

Die beiden besten Anbausysteme sind zwei Hauptfruchtnutzungssysteme. Mit Mais als Hauptfrucht nach Senf als Winterzwischenfrucht, der nicht geerntet wird, wird ein Deckungsbeitrag von 410 €/ha realisiert. Die zweitbeste Variante besteht aus Winterroggen-GPS ebenfalls als Hauptfrucht gefolgt von der Winterzwischenfrucht Senf.

Erst an dritter Stelle findet sich ein klassisches Zweikulturnutzungssystem mit Winterroggen als Winterzwischenfrucht und Mais als Zweitfrucht. Der Deckungsbeitrag liegt mit 240 €/ha jedoch deutlich unter dem der beiden Hauptfruchtsysteme.

Die Deckungsbeiträge aller weiteren Zweikultur-Systeme, die nicht Mais in Reinkultur als Zweitkultur berücksichtigen, fallen deutlich ab. Die beste Variante ohne Mais (WGer WRog---SuGr) erreicht lediglich einen Deckungsbeitrag von 107 €/ha.

Die Standardabweichung kann als ein Risikomaß angesehen werden, wobei anzumerken ist, dass es methodisch nicht ganz korrekt ist, die Standardabweichung in diesem Sinne zu verwenden, wenn sie über mehrere Standorte berechnet wurde. Denn letztlich ist nur die Standardabweichung an einem Standort relevant. Bei vorsichtiger Interpretation der Ergebnisse können die Ergebnisse zur Standardabweichung in Tabelle 24 dennoch als grober Indikator dienen. In Tabelle 26 wird die Standardabweichung der einzelnen Anbausysteme korrekt für einzelne Standorte ausgewiesen.

Trotz der methodischen Bedenken soll an dieser Stelle bereits darauf hingewiesen werden, dass in den Versuchen die Standardabweichung von „WRog(Energie)(Sorte1)---Senf“ niedriger war als die von „Senf---Mais“, was trotz des niedrigeren Erwartungswertes des Deckungsbeitrags zunächst als Vorteil zu interpretieren ist.

Tabelle 24: Deckungsbeiträge der Zweikultursysteme gemittelt über Jahre und Standorte

Feldbezeichnung	Fruchtfolge	N	DB €/(ha × a)	StAbw
E1---E1/1	Senf---Mais	21	410	246
E21---E21/1	WRog(Energie)(Sorte1)---Senf	21	322	146
Z21---Z21/1	WRog---Mais	21	240	248
E31---E31/1	WRog(Brot)(Sorte1)---Senf	20	238	189
E32---E32/2	WRog(Brot)(Sorte2)---Senf	18	237	206
Z3---Z3/1	WErb WRog---Mais	21	225	215
Z4---Z4/1	WGer WRog---SuGr	20	107	156
Z4---Z4/3	WGer WRog---Hanf	17	63	183
Z21---Z21/2	WRog---SorHybride	21	33	171
Z21---Z21/4	WRog---Mais SB	20	28	169
Z3---Z3/2	WErb WRog---SorHybride	21	15	153
Z4---Z4/4	WGer WRog---Mais SB	19	10	204
Z3---Z3/4	WErb WRog---Mais SB	20	-10	133
Z11---Z11/1	WRüb---Mais	21	-29	304
Z4---Z4/3	WGer WRog---Quinoa	3	-40	168
Z4---Z4/2	WGer WRog---Ama	20	-75	123
E1---E1/4	Senf---SB	19	-198	186
Z11---Z11/2	WRüb---SorHybride	21	-201	176
Z11---Z11/4	WRüb---Mais SB	20	-222	230

5.4.2 Ein- versus Zweikulturnutzungssystem im Standortvergleich

Betrachtet man Mais als isolierte Frucht, dann erzielt dieser einen Deckungsbeitrag von 624 € ha^{-1} a^{-1} (siehe Tabelle 25, letzte Zeile). Der wiederholte Anbau von Silomais kann jedoch zu einem Humusabbau und – vor allem ohne Winterbegrünung – zu einer verstärkten Erosion führen und damit zu längerfristig sinkenden Erträgen. Durch die Gärrestdüngung kann dem Humusabbau weitestgehend entgegen gewirkt werden. Um auch die Erosionsgefährdung in den Wintermonaten zu vermindern, können Winterzwischenfrüchte, wie beispielsweise Senf, angebaut werden. In Tabelle 25 sind deshalb neben den Deckungsbeiträgen des Maises auch die von dem Senf angeben, der jeweils vor dem Mais angebaut wurde. In der Summe sind die mittleren Deckungsbeiträge dann (Senf + Mais) mit 410 € ha^{-1} a^{-1} niedriger als die von Winterroggen GPS Hauptfrucht mit 465 € ha^{-1} a^{-1}.

Wenn man davon ausgeht, dass die für den Maisanbau genannten Gründe für eine Berücksichtigung des Zwischenfruchtanbaus beim Wintergetreide-GPS nicht zutreffend sind, dann braucht dem Roggen keine Zwischenfrucht angelastet zu werden. Auf erosionsgefährdeten Lagen wäre Wintergetreide-GPS dann also im Mittel über alle

untersuchten Standorte mit 465 € ha^{-1} a^{-1} die vorzüglichste Frucht. Lastet man dem Roggen genau wie dem Mais den Zwischenfruchtanbau von Senf an, dann sinkt der Deckungsbeitrag auf 322 € ha^{-1} a^{-1} (siehe: Tabelle 24: „WRog(Energie)(Sorte1)---Senf“).

Doch selbst wenn man dem Mais nicht den Senf-Anbau anlastet, existieren Standorte auf denen der Roggenanbau dem Maisanbau überlegen war. Dies war in Dornburg, Gülzow und Rauischholzhausen der Fall (orange hinterlegte Zellen).

In Abschnitt 5.4.1 wurde bereits dargelegt, dass von allen untersuchten Zweikulturnutzungssystemen Winterroggen gefolgt von Mais die beste Alternative darstellt. In einzelnen Jahren (insbesondere 2006) konnte an einzelnen Standorten mit diesem Zweikulturnutzungssystem ein höherer oder gleicher Deckungsbeitrag realisiert werden wie mit Mais+Senf. Die Zellen in denen dies zutrifft sind in Tabelle 25 hellgrün hinterlegt.

Tabelle 25: Deckungsbeiträge der besten Ein- und Zweikultursysteme differenziert nach Standorten und Jahren

	Einkultursystem				Zweikultursystem		
	WRog Balistic	Mais Atletico	Senf Setoria	Mais+ Senf	WRog Vitallo	Mais Atletico	Mais+ Roggen
Dornburg	**528**	**402**	**-243**	**159**	**173**	**-66**	**107**
2006	525	280	-226	55	19	30	49
2007	386	643	-247	396	160	72	232
2008	673	282	-256	26	341	-301	40
Gülzow	**420**	**394**	**-188**	**205**	**138**	**-49**	**90**
2006	312	472	-186	286	32	461	493
2007	350	406	-191	215	238	-156	81
2008	598	303	-188	115	146	-451	-305
Haus Düsse	**445**	**859**	**-208**	**651**	**114**	**377**	**491**
2006	614	596	-212	384	98	525	622
2007	207	979	-207	772	110	177	287
2008	515	1002	-205	796	134	428	563
Rauischholzhausen	**539**	**521**	**-229**	**292**	**80**	**88**	**168**
2006	606	499	-233	266	37	220	257
2007	592	718	-228	490	231	-36	194
2008	419	345	-227	119	-28	81	52
Straubing	**534**	**884**	**-198**	**686**	**138**	**350**	**488**
2006	640	653	-190	464	24	505	529
2007	549	1135	-195	940	232	444	676
2008	413	864	-210	654	159	100	259
Werlte	**386**	**573**	**-183**	**390**	**62**	**65**	**127**
2006	390	491	-211	280	-100	322	222
2007	174	675	-196	478	74	-20	55
2008	594	553	-140	412	212	-109	104

	Einkultursystem				Zweikultursystem		
	WRog Balistic	Mais Atletico	Senf Setoria	Mais+ Senf	WRog Vitallo	Mais Atletico	Mais+ Roggen
Witzenhausen	**400**	**733**	**-246**	**488**	**76**	**134**	**210**
2006	370	721	-248	473	56	454	510
2007	340	840	-248	592	99	37	136
2008	491	639	-241	399	74	-90	-15
Gesamt	**465**	**624**	**-215**	**410**	**112**	**128**	**240**

In Kapitel 2 wurde bereits darauf hingewiesen, dass bei den Fruchtarten- bzw. Systemvergleichen davon ausgegangen werden muss, dass aus pflanzenbaulicher Sicht stets die optimale Versorgung angestrebt wird. Da die Düngung im Zweikulturnutzungssystemversuch zum Teil jedoch restriktiv eingesetzt wurde, besteht die Unsicherheit, dass bei einzelnen Früchten bzw. Anbausystemen eben nicht das unter praktischen Bedingungen realisierbare Ertragspotenzial erreicht wurde. Falls sich diese verhaltene Düngung bei einzelnen Früchten jeweils stärker oder schwächer ausgewirkt haben sollte, kann dies zu Fehlinterpretationen bei den Ergebnissen führen. Die Nährstoffgehalte und Nährstoffbilanzen der Versuche sind aus dem Endbericht des Teilprojektes 6 zu entnehmen.

5.4.3 Vergleich der Anbausysteme über die Standorte

Die Ergebnisse aus Abschnitt 5.4.1 sollen im Folgenden für die Standorte verfeinert werden. Für alle Standorte wurden die jeweils 7 besten Anbausysteme in Tabelle 26 zusammengetragen.

In Gülzow und Dornburg können mit Roggen im Hauptfruchtanbau sowohl als Marktfrucht als auch als GPS die höchsten Deckungsbeiträge realisiert werden. In Rauischholzhausen liegt ebenfalls der Winterroggen (Haupt-Fr.) vorn – allerdings nur in der GPS-Variante. An den anderen vier Standorten ist Mais (Haupt-Fr.) nach Senf die beste Wahl.

Die System Wintererbsen+Roggen (Winterzwischenfrucht) + Mais (Zweitfrucht) war in Dornburg, Gülzow, Rauischholzhausen und Witzenhausen besser als das System, in dem anstelle der Fruchtartenmischung allein Winterroggen als Winterzwischenfrucht angebaut wurde. In Gülzow und Rauischholzhausen waren zwar die Trockenmasseerträge des Gemisches niedriger als die von Winterroggen in Reinsaat (siehe Tabelle 27), dafür haben aber die Maiserträge diesen Ertragsnachteil überkompensiert. Die positiven Ertragseffekte sind eventuell auf die bessere Vorfruchtwirkung der Erbsen zurückzuführen, wobei sich die These aufdrängt, dass durch die Stickstoffbindung der Leguminosen die N Versorgung im Mais nach dem Gemisch besser war. Betrachtet man jedoch die Stickstoffgehalte des Maises zum Erntezeitpunkt, dann lagen die Gehalte in dem Mais nach der Winterroggen-Reinsaat in allen Fällen – mit Ausnahme von Werlte, wo sie identisch waren – höher (siehe Tabelle 27).

Ob und inwieweit andere Erklärungsansätze für die positiven Vorfruchteffekte des Gemisches identifiziert wurden, ist dem Endbericht des Teilprojektes 6 zu entnehmen.

Tabelle 26: Beste Anbausysteme im Rahmen des Zweikulturnutzungsversuches in Abhängigkeit vom Standort (gemittelt über die Jahre)

Standort	Feldbezeichnung	Fruchtfolge	N	DB	StAbw
Dornburg	E21---E21/1	WRog(Energie)(Sorte1)---Senf	3	378	135
	E31---E31/1	WRog(Brot)(Sorte1)---Senf	3	303	58
	E32---E32/2	WRog(Brot)(Sorte2)---Senf	3	266	111
	E1---E1/1	Senf---Mais	3	159	206
	Z3---Z3/1	WErb WRog---Mais	3	131	234
	Z21---Z21/1	WRog---Mais	3	107	108
	Z4---Z4/1	WGer WRog---SuGr	3	80	162
Gülzow	E32---E32/2	WRog(Brot)(Sorte2)---Senf	3	286	258
	E31---E31/1	WRog(Brot)(Sorte1)---Senf	3	283	226
	E21---E21/1	WRog(Energie)(Sorte1)---Senf	3	251	126
	E1---E1/1	Senf---Mais	3	205	86
	Z3---Z3/1	WErb WRog---Mais	3	177	377
	Z21---Z21/1	WRog---Mais	3	90	399
	Z4---Z4/3	WGer WRog---Hanf	3	56	89
Haus Düsse	E1---E1/1	Senf---Mais	3	651	231
	Z21---Z21/1	WRog---Mais	3	491	179
	Z3---Z3/1	WErb WRog---Mais	3	453	233
	Z4---Z4/3	WGer WRog---Hanf	3	357	142
	Z11---Z11/1	WRüb---Mais	3	308	134
	E21---E21/1	WRog(Energie)(Sorte1)---Senf	3	296	209
	Z4---Z4/1	WGer WRog---SuGr	3	293	60
Rauischholz-hausen	E21---E21/1	WRog(Energie)(Sorte1)---Senf	3	398	102
	E1---E1/1	Senf---Mais	3	292	187
	E31---E31/1	WRog(Brot)(Sorte1)---Senf	3	228	133
	Z3---Z3/1	WErb WRog---Mais	3	196	107
	Z21---Z21/1	WRog---Mais	3	168	105
	Z21---Z21/2	WRog---SorHybride	3	110	31
	Z4---Z4/4	WGer WRog---Mais SB	3	41	301

Standort	Feldbezeichnung	Fruchtfolge	N	DB	StAbw
Straubing	E1---E1/1	Senf---Mais	3	686	240
	Z21---Z21/1	WRog---Mais	3	488	211
	E21---E21/1	WRog(Energie)(Sorte1)---Senf	3	414	138
	E32---E32/2	WRog(Brot)(Sorte2)---Senf	3	402	189
	E31---E31/1	WRog(Brot)(Sorte1)---Senf	3	374	186
	Z3---Z3/1	WErb WRog---Mais	3	308	143
	Z4---Z4/1	WGer WRog---SuGr	3	256	102
Werlte	E1---E1/1	Senf---Mais	3	390	101
	E21---E21/1	WRog(Energie)(Sorte1)---Senf	3	279	227
	Z21---Z21/1	WRog---Mais	3	127	86
	Z3---Z3/1	WErb WRog---Mais	3	93	82
	E32---E32/2	WRog(Brot)(Sorte2)---Senf	2	72	9
	E31---E31/1	WRog(Brot)(Sorte1)---Senf	2	60	45
	Z4---Z4/1	WGer WRog---SuGr	2	50	79
Witzenhausen	E1---E1/1	Senf---Mais	3	488	97
	E21---E21/1	WRog(Energie)(Sorte1)---Senf	3	238	87
	Z3---Z3/1	WErb WRog---Mais	3	216	198
	Z21---Z21/1	WRog---Mais	3	210	271
	E31---E31/1	WRog(Brot)(Sorte1)---Senf	3	150	294
	E32---E32/2	WRog(Brot)(Sorte2)---Senf	3	119	323
	Z21---Z21/4	WRog---Mais SB	3	31	158

In Tabelle 24 wurde bereits im Überblick gezeigt, dass Zweifruchtsysteme mit alternativen Zweitfrüchten zum Mais, wie Sudangras, Sonnenblumen oder Sorghum-Hybride deutlich schlechter abgeschnitten haben. Diese Aussage wird bei der nach Standorten differenzierten Betrachtung in Tabelle 26 weitestgehend bestätigt. Sonnenblumen (in Reinsaat) finden sich an keinem Standort unter den besten 7 Systemen. Dafür hat Sorghum-Hybride wenigstens an einem Standort in Rauischholzhausen einen Deckungsbeitrag erzielt, der nur 60 €/ha unter dem entsprechenden System mit Mais lag. Sudangras taucht zwar unter den 7 besten Systemen an 4 Standorten auf; dennoch signalisieren diese Ergebnisse keine Wettbewerbsfähigkeit von Sudangras[4].

[4] Diese Ergebnisse gelten für die angebauten Sorten. Deutliche Züchtungsfortschritte können die Ergebnisse verändern. Diese Einschränkung gilt für alle hier vorgestellten Ergebnisse.

Tabelle 27: Erträge- und N-Gehalt (% in der TM) im Zweikultursystem mit und ohne Erbsen

	TM-Ertrag			N-Gehalt		
	WErb WRog	WRog	Mais	WErb WRog	WRog	Mais
Dornburg						
W.Roggen(Sorte1) --- Mais		98	122		1,20	1,19
W.Roggen,W.Erbse --- Mais	104		118	0,97		1,08
Gülzow						
W.Roggen(Sorte1) --- Mais		112	108		1,36	1,37
W.Roggen,W.Erbse --- Mais	110		122	1,15		1,36
Haus Düsse						
W.Roggen(Sorte1) --- Mais		109	161		1,30	0,98
W.Roggen,W.Erbse --- Mais	94		168	1,52		0,93
Rauischholzhausen						
W.Roggen(Sorte1) --- Mais		110	121		1,28	1,02
W.Roggen,W.Erbse --- Mais	102		137	1,34		0,98
Straubing						
W.Roggen(Sorte1) --- Mais		103	168		1,19	1,33
W.Roggen,W.Erbse --- Mais	102		135	1,14		1,04
Werlte						
W.Roggen(Sorte1) --- Mais		84	120		0,96	1,37
W.Roggen,W.Erbse --- Mais	78		123	1,12		1,37
Witzenhausen						
W.Roggen(Sorte1) --- Mais		102	140		1,15	1,15
W.Roggen,W.Erbse --- Mais	102		144	1,19		1,07

5.4.4 Trockenmassezuwächse bzw. –rückgänge von Roggen bzw. Mais bei Verzögerung des Erntetermins

In Abschnitt 5.2.4 wurde aus den Ergebnissen des Grundversuches die Ertragszuwächse von Winterroggen-GPS den Ertragsverlusten von Mais bei einer Verzögerung des Fruchtartenwechsels gegenübergestellt. Diese Ergebnisse werden im Folgenden mit denen aus dem Zweikulturnutzungsversuch verglichen.

5.4.4.1 Mais

Im Mittel über die Jahre 2006 und 2007 lag der Maisertrag beim Übergang vom Haupt- zum Zweitfruchtmais im Grundversuch mit jedem Tag, um den die Aussaat verzögert wurde, um 1,8 dt TM ha^{-1} niedriger (vgl. Tabelle 14). Betrachtet man im Vergleich hierzu die Ergebnisse aus dem Zweikulturnutzungsversuch, so ergeben sich – mit hoher Übereinstimmung – im Mittel 1,5 dt TM ha^{-1} d^{-1} Ertragsverlust mit einer Verzögerung der Maisausaat.

Während Gülzow im Grundversuch die zweitgrößten Ertragsrückgänge (2,9 dt TM ha^{-1} d^{-1}) zeigte, waren die Ertragsrückgänge im Zweikulturnutzungsversuch deutlich geringer (1,4 dt

TM ha^{-1} d^{-1}). Das Ertragsniveau war am Standort Gülzow im Zweikulturnutzungsversuch jedoch auch deutlich niedriger, was eventuell auf ungünstigere Bodeneigenschaften der konkreten Versuchsfläche zurückgeführt werden kann.

In Dornburg waren die Ertragsverluste im Zweikulturnutzungsversuch am geringsten (1,2 dt TM ha^{-1} d^{-1}) und vergleichbar mit denen aus dem Grundversuch (1,8 dt TM ha^{-1} d^{-1}).

Tendenziell scheinen bei hohem Ertragsniveau höhere Ertragsrückgänge mit einer Aussaatverzögerung verbunden zu sein.

Tabelle 28: Ertragsrückgänge von Mais bei Verzögerung der Aussaat

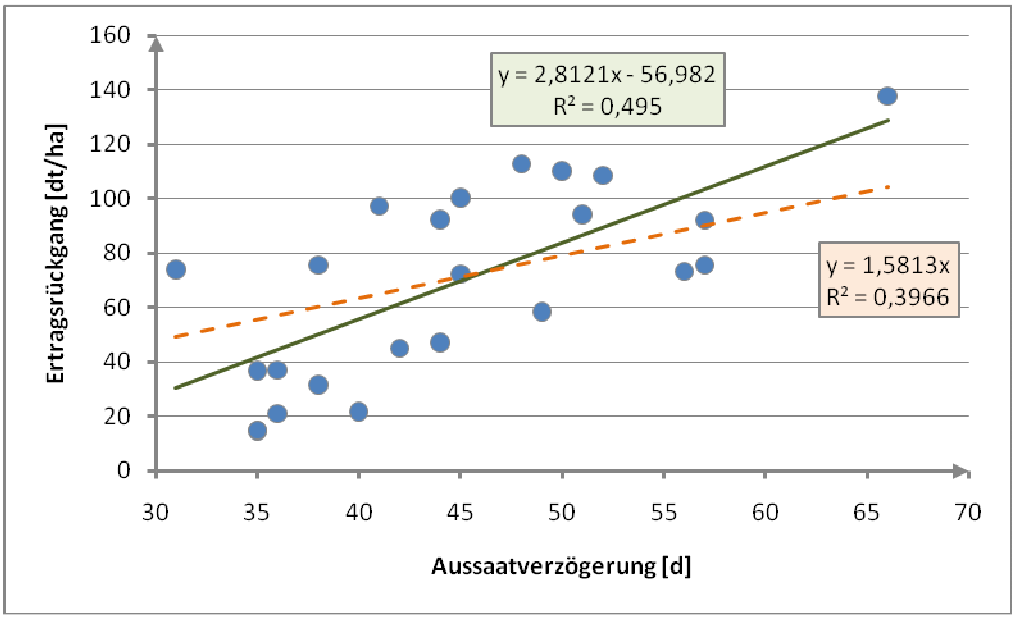
Standort	Jahr	frühe Aussaat	frühe Aussaat dt/ha	späte Aussaat	späte Aussaat dt/ha	Δ-t	Δ-TM dt/ha	Δ-TM /Δ-t	Mittel Δ-TM /Δ-t
Dornburg	2006	9. Mai.	141	13. Jun.	104	35	37	1,0	1,2
	2007	20. Apr.	200	8. Jun.	142	49	59	1,2	
	2008	28. Apr.	134	11. Jun.	87	44	47	1,1	
	2008	28. Apr.	134	24. Jun.	41	57	92	1,6	
Gülzow	2006	4. Mai.	191	8. Jun.	177	35	15	0,4	1,4
	2007	25. Apr.	174	15. Jun.	80	51	94	1,8	
	2008	6. Mai.	140	13. Jun.	65	38	76	2,0	
	2008	6. Mai.	140	2. Jul.	65	57	76	1,3	
Haus Düsse	2006	3. Mai.	216	7. Jun.	201	35	15	0,4	1,7
	2007	20. Apr.	246	4. Jun.	145	45	100	2,2	
	2008	6. Mai.	249	6. Jun.	175	31	74	2,4	
Rauisch-holzhausen	2006	28. Apr.	180	9. Jun.	135	42	45	1,1	1,4
	2007	19. Apr.	245	6. Jun.	132	48	113	2,3	
	2008	25. Apr.	177	2. Jun.	145	38	32	0,8	
Straubing	2006	3. Mai.	192	12. Jun.	170	40	22	0,5	1,7
	2007	17. Apr.	272	6. Jun.	162	50	110	2,2	
	2007	17. Apr.	272	22. Jun.	134	66	138	2,1	
	2008	28. Apr.	241	19. Jun.	133	52	108	2,1	
Werlte	2006	8. Mai.	148	13. Jun.	127	36	21	0,6	1,4
	2007	28. Apr.	199	8. Jun.	102	41	97	2,4	
	2008	25. Apr.	198	20. Jun.	124	56	73	1,3	
Witzen-hausen	2006	4. Mai.	215	9. Jun.	178	36	37	1,0	1,6
	2007	24. Apr.	221	8. Jun.	148	45	72	1,6	
	2008	28. Apr.	202	11. Jun.	110	44	92	2,1	
Mittel		**29. Mai**	**197**	**12. Jul.**	**128**	**45**	**69**	**1,5**	**1,5**

In Abbildung 21 sind Ertragsrückgänge, die sich an den jeweiligen Jahren und Standorten für Mais ergeben haben, wenn dieser nicht als Haupt-, sondern als Zweitfrucht angebaut wurden, in Abhängigkeit von der jeweiligen Zeitdifferenz dargestellt. Das erste

Regressionsmodell (grüne Regressionsgerade) hat einen negativen Y-Achsenabschnitt, so dass der Zweitfruchtmais also zunächst keinen Ertragsrückgang, sondern einen Ertragsvorteil gegenüber dem Hauptfruchtmais erfährt. Bei geringer Aussaatverzögerung (<=20 Tage) schätzt dieses Modell also ein Ertragsvorteil des Zweitfruchtmaises gegenüber dem Hauptfruchtmais. Da der Y-Achsenabschnitt durch kleine Modellfehlspezifikationen (hier: linearen Funktion) verfälscht sein kann, muss dessen Wert entsprechend vorsichtig interpretiert werden. Der negative Y-Achsenabschnitt ließe sich so interpretieren, dass die Bewirtschaftungsmaßnahmen (Sortenwahl, Bodenbearbeitung,…) im Zweitfruchtmais tendenziell standortangepasster waren als die im Hauptfruchtmais.

Alternativ zum beschriebenen Regressionsmodell ist in Abbildung 21 eine Regression, die durch den Ursprung verläuft, angeben (orangener Graph). Die Ertragsverluste in diesem Modell liegen bei 1,6 dt TM ha^{-1} d^{-1} und decken sich damit sehr gut mit den Ergebnissen aus dem Grundversuch (siehe Abbildung 14).

Abbildung 21: Ertragsrückgänge (Trockenmasse) von Mais beim Übergang von Haupt- zu Zweitfruchtstellung in Abh. von der Aussaatverzögerung



5.4.4.2 Winterroggen

In Tabelle 16 (Seite 51) wurden die Ertragszuwächse von Wintergetreide-GPS bei einer Verzögerung der Ernte untersucht. Im Mittel hatte das Getreide pro Tag einen Trockenmassezuwachs von 1,15 dt/ha realisiert. Im Vergleich zu den Daten des Grundversuchs waren die Ertragszuwächse im Zweikulturnutzungsversuch (siehe Tabelle 29) mit durchschnittlich 2,0 dt TM ha^{-1} d^{-1} höher. Eventuell liegt dies daran, dass im Zweikulturnutzungsversuch beide Nutzungen (Hauptfrucht: 26. Juni, Zweitfrucht: 5.Juni) später erfolgten als im Grundversuch (Hauptfrucht: 10.Juni, Zweitfrucht: 17. Mai).

Tabelle 29: Ertragszuwächse (Trockenmasse) von Roggen-GPS von früher zu später Ernte

Standort	Jahr	Ernte spät	späte Ernte dt/ha	Ernte früh	frühe Ernte dt/ha	Δ-t Tage	Δ-TM dt/ha	Δ-TM /Δ-t	Mittel Δ-TM /Δ-t
Dornburg	2006	23. Jun.	143	8. Jun.	82	15	60	4,0	3,7
	2008	24. Jun.	183	19. Jun.	166	5	17	3,4	
Gülzow	2006	20. Jun.	123	31. Mai.	88	20	35	1,8	1,3
	2007	9. Jul.	118	13. Jun.	122	26	-5	-0,2	
	2008	25. Jun.	177	4. Jun.	129	21	48	2,3	
Haus Düsse	2006	29. Jun.	165	31. Mai.	113	29	52	1,8	1,6
	2007	19. Jun.	123	24. Mai.	96	26	27	1,0	
	2008	24. Jun.	153	28. Mai.	103	27	50	1,9	
Rauisch-holzhausen	2006	4. Jul.	165	1. Jun.	92	33	74	2,2	2,4
	2007	20. Jun.	167	4. Jun.	120	16	47	2,9	
	2008	20. Jun.	156	26. Mai.	106	25	51	2,0	
Straubing	2006	5. Jul.	166	9. Jun.	81	26	85	3,3	3,1
	2007	14. Jun.	155	5. Jun.	115	9	40	4,4	
	2008	26. Jun.	134	10. Jun.	110	16	24	1,5	
Werlte	2006	3. Jul.	124	7. Jun.	68	26	55	2,1	1,8
	2007	5. Jul.	90	6. Jun.	82	29	8	0,3	
	2008	7. Jul.	166	12. Jun.	95	25	72	2,9	
W.-hausen	2007	19. Jun.	125	4. Jun.	117	15	8	0,5	0,5
Mittel		**26. Jun.**	**146**	**4. Jun.**	**105**	**22**	**42**	**2,1**	**2,0**

5.5 Ackerfuttermischungen

In der ersten Projektlaufphase von EVA wurden keine Versuche auf Dauergrünland durchgeführt. Stattdessen wurden in Niedersachsen, Brandenburg und Thüringen Anbauversuche mit Gräsermischungen mit und ohne Leguminosen auf Ackerland durchgeführt (Ackerfutterbau).

Wenn der Ackerfutterbau auf Acker fähigen Flächen stattfindet, dann ergibt sich eine Konkurrenzsituation zu anderen Ackerfrüchten. Die Versuche sollen deshalb zunächst dahingehend ausgewertet werden, ob Ackerfutter mit Silomais konkurrieren kann.

Wenn man davon ausgeht, dass die erzielten Erträge des Ackerfutterbaus auch mit Dauergrünland mit entsprechender Intensität erreichbar sind, dann stellt sich darüber hinaus die Frage, ob Silagen von Dauergrünland – mit i. d. R. niedrigeren Pachtzinsen – eine Ergänzung zum Maisanbau darstellen.

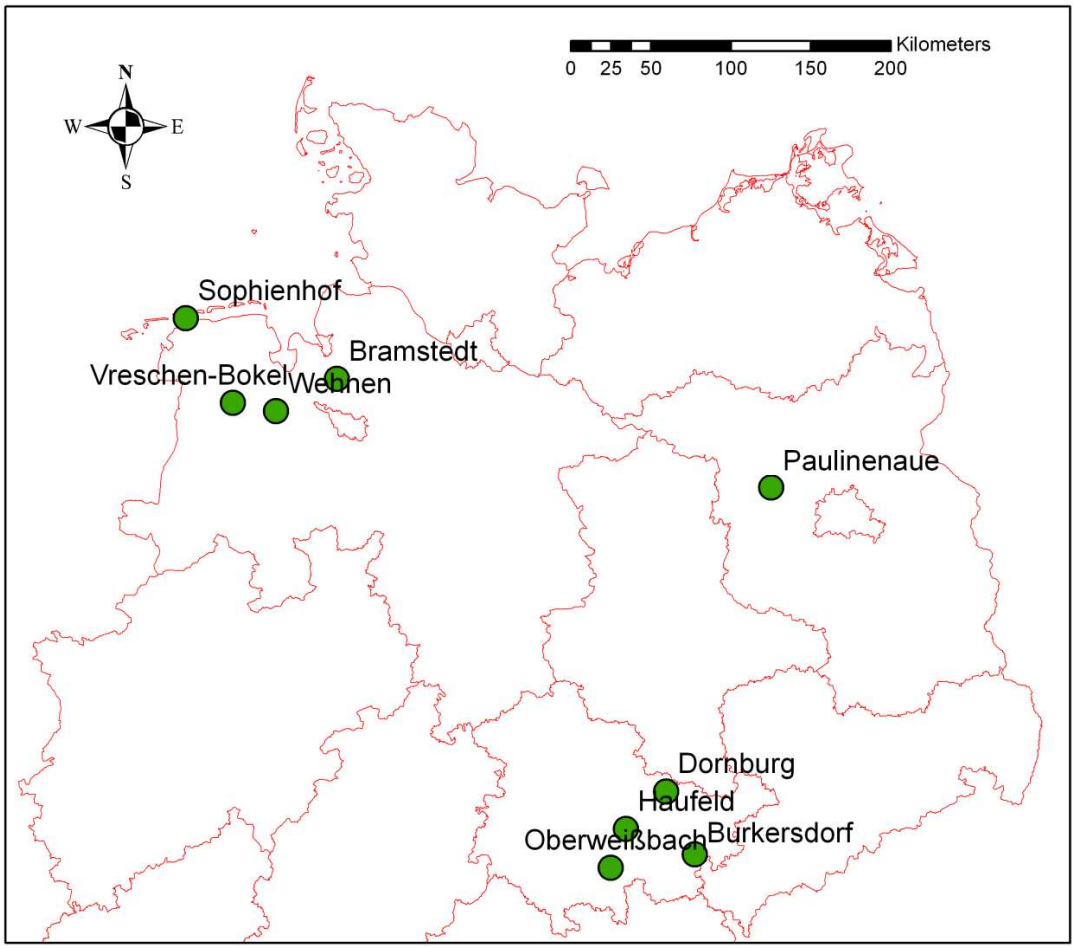
5.5.1 Jahreserträge

Für die Auswertungen lagen nicht alle Versuchsdaten vor. Von den Thüringer Standorten: Burkersdorf, Dornburg, Haufeld und Oberweißbach sind nur die Daten aus dem Jahr 2007 vorhanden; die niedersächsischen Standorte sind über alle Jahre (2005 bis 2008) komplett (Ausnahme: Vreschen-Bokel ohne 2008). Brandenburg wird nur durch Paulinenaue von 2005 bis 2007 vertreten. Zur Einordnung der Lage der Standorte sind diese in Abbildung 22 in einer Karte dargestellt.

In Niedersachsen liegen die Daten für 2 unterschiedliche Anlagen vor. Die erste wurde in Niedersachsen im April 2005 angelegt; die zweite im September 2006. An allen anderen Standorten fallen alle Daten unter die erste Anlage. Das der Stichprobenumfang von Standort zu Standort unterschiedlich ist, erschwert natürlich die statistischen Auswertungen, so dass im folgenden Zwischenbericht von EVA II die vollständigen Ergebnisse von EVA I nachträglich ausgewertet werden sollten.

Im folgenden Abschnitt soll untersucht werden inwieweit die Jahreserträge (dt TM ha^{-1} a^{-1}) von der Nutzungsfrequenz, vom Standort und der Niederschlagssumme von März bis September erklärt werden können. Da die Erträge zwischen der ersten und der zweiten Anlage in Niedersachsen deutlich differieren, ist es in der Datenanalyse erforderlich auch in Hinblick auf die Anlage zu differenzieren.

Abbildung 22: Ackerfutterbaustandorte mit Ertragsdaten



Zur Schätzung der Jahrestrockenmasseerträge wurde das Regressionsmodell entsprechend Gleichung 10 verwendet. Die Variablen F, An, S_x und J_x sind Binärvariablen (Wertebereich: 0, 1). Sie bewirken eine Achsverschiebung in Abhängigkeit vom Nutzungsregime (hohe versus niedrige Schnittfrequenz), der Anlage, der Standorte bzw. der Jahre.

Gleichung 10:

$$y = a + bF + cAn + dS_1 + eS_2 + fS_3 + gS_4 + hS_5 + iS_6 + jS_7 + kS_8 + lJ_{05} + mJ_{06} + nJ_{07} + ox_1 + px_2 +$$

y	TM-Ertrag [dt ha^{-1} a^{-1}]
a	Konstante
F	wenn Nutzungsfrequenz = hoch, dann 1, sonst: 0
An	wenn Anlage = 1, dann 1 sonst 0
S_1	wenn Standort=Burkersdorf, dann 1 sonst 0

S_2 wenn Standort=Oberweißbach, dann 1 sonst 0

S_3 wenn Standort=Haufeld, dann 1 sonst 0

S_4 wenn Standort=Dornburg, dann 1 sonst 0

S_5 wenn Standort=Paulinenaue, dann 1 sonst 0

S_6 wenn Standort=Sophienhof, dann 1 sonst 0

S_7 wenn Standort=Bramstedt, dann 1 sonst 0

S_8 wenn Standort=Wehnen, dann 1 sonst 0

wenn S_1, S_2, S_3, S_4, S_5, S_6, S_7, S_8= 0, dann Standort = Vreschen-Bokel

J_{05} wenn Anbaujahr = 2005, dann 1 sonst 0,

J_{06} wenn Anbaujahr = 2006, dann 1 sonst 0,

J_{07} wenn Anbaujahr = 2007, dann 1 sonst 0,

wenn J_{05}, J_{06}, J_{07} = 0, dann Anbaujahr = 2008

x_1 Jahrestag des 1.ten Schnittes (1.Januar=1)

x_2 x_1^2

x_3 Niederschlagssumme [mm] von März bis September

Durch das Regressionsmodell können 66% der Ertragsvariation erklärt werden (siehe Tabelle 30). Dieser hohe Wert wird jedoch durch die große Anzahl an Binärvariablen relativiert. Denn für jeden Standort und jedes Jahr wird der Y-Achsenabschnitt des Regressionsmodells angepasst. Durch diese Anpassung werden die ertragsbeeinflussenden Eigenschaften des Standortes (Bodenart, nutzbare Feldkapazität etc.) und der nicht erfassten Jahreswitterung (Niederschlagsverteilung, Temperatur etc.) berücksichtigt. Problematisch ist es jedoch diese Ergebnisse auf andere Standorte zu übertragen. Hierfür wäre es erforderlich die tatsächlichen den Ertrag erklärenden Zusammenhänge mathematisch darzustellen. Dies bedeutet, dass die erklärenden Variablen intervall- bzw. verhältnisskaliert sein sollten und dass so, durch die entsprechenden Koeffizienten beispielsweise geschätzt werden kann, wie sich eine höhere nFK auf den Ertrag auswirkt. Die Schätzung eines solchen Modells ist jedoch ungleich aufwändiger als die des hier vorgestellten Modells. Für eine Kontrolle der realisierten Erträge und erste abschätzende Ergebnisse, ist das Modell aber sehr wohl geeignet.

Aus den in Tabelle 30 ermittelten Ergebnissen geht hervor, dass eine höhere Nutzungsfrequenz mit einem um ca. 15 dt TM/ha niedrigeren Ertrag verbunden ist. Der Begriff „höhere Nutzungsfrequenz“ ist hier nicht nach der tatsächlichen Anzahl der Schnitte differenziert worden, weil in den Versuchen von Fall zu Fall über die Nutzungsfrequenz entschieden wurde. In dem Regime mit der hohen Nutzungsfrequenz wurde stets versucht möglichst oft zu nutzen. Die Höhe der tatsächlichen Schnitthäufigkeit – sowohl im Regime mit hoher als auch niedriger Nutzungsfrequenz – wurde dann jedoch von Fall zu Fall an die Standort- und Witterungsbedingungen angepasst. In Abschnitt 5.5.2 wird auf diese Zusammenhänge nochmal genauer eingegangen.

Der Vergleich der unterschiedlichen realisierten Ertragsniveaus der Standorte in den einzelnen Jahren ist deshalb problematisch, weil nicht für alle Standorte für alle Jahre

Versuchsergebnisse vorliegen. Welche Ergebnisse lassen sich dennoch ableiten? Eine Sortierung der Standorte in Abhängigkeit von den erzielten Erträgen liefert in absteigender Reihenfolge folgende Auflistung:

(1) Sophienhof,
(2) Bramstedt,
(3) Vreschen-Bokel,
(4) Wehnen,
(5) Haufeld,
(6) Burkersdorf,
(7) Paulinenaue,
(8) Oberweißbach und
(9) Dornburg.

Tabelle 30: Regressionsergebnis von Gleichung 10

		Koeffizient	*Standardfehler*	*P-Wert*
a:	a	-42,032	70,935	0,554
b:	F	-14,764	3,537	0,000
c:	An	-48,723	3,973	0,000
d:	S_1	-15,161	7,838	0,054
e:	S_2	-43,769	7,934	0,000
f:	S_3	-15,051	7,974	0,060
g:	S_4	-48,647	7,827	0,000
h:	S_5	-21,200	5,013	0,000
i:	S_6	29,759	4,632	0,000
j:	S_7	8,239	4,256	0,054
k:	S_8	-13,557	4,983	0,007
l:	J_{05}	66,380	8,886	0,000
m:	J_{06}	62,630	5,795	0,000
n:	J_{07}	46,541	5,097	0,000
o:	x_1	2,425	0,786	0,002
p:	x_2	-0,008	0,002	0,000
q:	x_3	0,029	0,008	0,000
R^2	66,1%			

Eine entsprechende Auflistung der Jahre zeigt, dass 2005 das ertragsstärkste Jahr war gefolgt von 2006, 2007 und 2008. Hierbei darf jedoch nicht außer acht gelassen werden, dass in dem Regressionsmodell auch die Niederschlagssummen berücksichtigt werden und sich diese beiden erklärenden Variablen natürlich überlagern. Da 2005 tendenziell eher ein trockenes Jahr war, wird der Gesamtertrag also durch den niedrigeren Niederschlag (Variable: x_3) wieder reduziert.

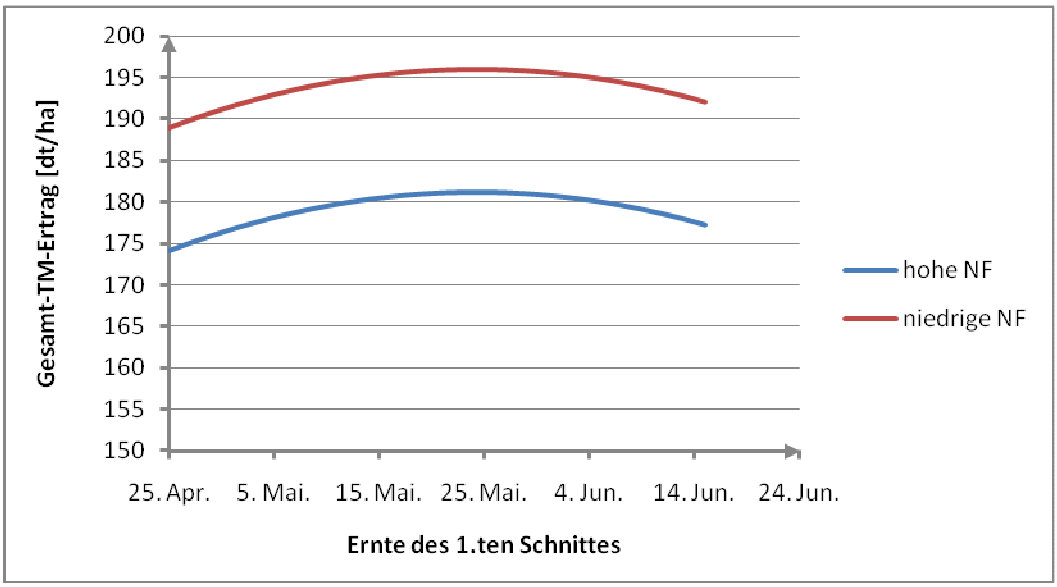
Tabelle 31: Niederschlagssummen von März bis September an den Versuchsstandorten in den jeweiligen Jahren

Standort	Jahr	∑ Niederschläge März - September
Bramstedt	2005	531
	2006	496
	2007	546
	2008	457
Burkersdorf	2007	686
Dornburg	2007	641
Haufeld	2007	529
Oberweißbach	2007	803
Paulinenaue	2005	333
	2006	265
	2007	1145
Sophienhof	2005	392
	2006	459
	2007	943
	2008	916
Vreschen-Bokel	2005	464
	2006	460
	2007	533
Wehnen	2005	537
	2006	444
	2007	1126
	2008	796

Quelle: Eigene Berechnung nach DWD

Die Variablen x_1 und x_2 geben den Tag bzw. das Quadrat des Tages an (1.Januar=1), an dem der erste Schnitt erfolgte. Da der Koeffizient von x_1 positiv ist und der von x_2 negativ handelt es sich bei der Modellfunktion um eine nach unten geöffnete Parabel. Beispielhaft ist in Abbildung 23 der geschätzte Ertragsverlauf für Vreschen-Bokel im Jahr 2007 in Abhängigkeit vom Datum des ersten Schnittes einmal für eine hohe und zum anderen für eine niedrige Nutzungsfrequenz dargestellt. Wenn der erste Schnitt am 25. Mai durchgeführt wird, wird der höchste Gesamttrockenmasseertrag für beide Nutzungsregime geschätzt. Bei hoher Nutzungsfrequenz beträgt dieser 181 und bei niedrigerer Schnittfrequenz 196 dt TM ha^{-1} a^{-1}.

Abbildung 23: Beispielhafter Gesamt-TM-Ertrag (Vreschen-Bokel, 2007) in Abhängigkeit von Nutzungsfrequenz (NF) und Jahrestag des 1.ten Schnittes



5.5.2 TM-Erträge bei unterschiedlichen Nutzungsfrequenzen

Im Folgenden werden paarweise die Erträge einer Gräsermischung an einem Standort in einem bestimmten Jahr mit niedriger Nutzungsfrequenz verglichen mit den entsprechenden Erträgen bei hoher Nutzungsfrequenz. In Abbildung 24 sind auf der Abszisse die jeweils erreichten TM-Erträge aller Varianten des Regimes: „niedrige Schnittfrequenz“ abgetragen, wenn 3 mal geschnitten wurde. Auf der Ordinate finden sich die Erträge der entsprechenden Varianten mit hoher Nutzungsfrequenz. Grüne Dreiecke sympolisieren die Ertragswertepaare in denen die niedrige Nutzungsfrequenz aus einem 3-schürigen System und die hohe Nutzungsfrequenz aus einem 4-schürigen System bestand. Rote Kreise kennzeichnen die Ertragswertepaare, wenn sich in den Versuchen eine Gegenüberstellung eines 3-schnittigen Systems mit einem 5-schnittigen ergeben hat.

Beide Ausgleichsgeraden liegen unter der Winkelhalbierenden, was bedeutet, dass bei höherer Nutzungsfrequenz ein niedrigerer Ertrag realisiert wird als bei niedriger. Eine dt TM bei niedriger Nutzungsfrequenz korrespondiert mit 0,93 dt TM bei hoher Nutzungsfrequenz. Mit anderen Worten liegen die Erträge bei hoher Nutzungsfrequenz immer 7% unter den jeweiligen Erträgen bei niedriger.

In Abbildung 25 werden die Ergebnisse in derselben Weise, wie oben beschrieben, ausgewertet. Nur mit dem Unterschied das hier nur die Fälle berücksichtigt werden in denen in der niedrigen Nutzungsfrequenz 4 Schnitte durchgeführt wurden. Eine Erhöhung der Nutzungsfrequenz führte entweder zu einem 5- oder 6-Schnittsystem. Der Übergang vom 4 zum 5-schürigen Regime zeigt ähnliche Ergebnisse wie in Abbildung 24. Die Ertragsrückgänge sind jedoch geringer. Bei einer Erhöhung der Schnittfrequenz von 4 auf 6 verläuft die

Regression jedoch deutlich nicht durch den Ursprung und das Bestimmtheitsmaß ist mit 18% sehr niedrig. Eine Interpretation dieses Regressionsergebnisses erfolgt deshalb nicht.

Abbildung 24: Gegenüberstellung der TM-Erträge beim Übergang vom 3- zum 4- bzw. 5-Schnittsystem

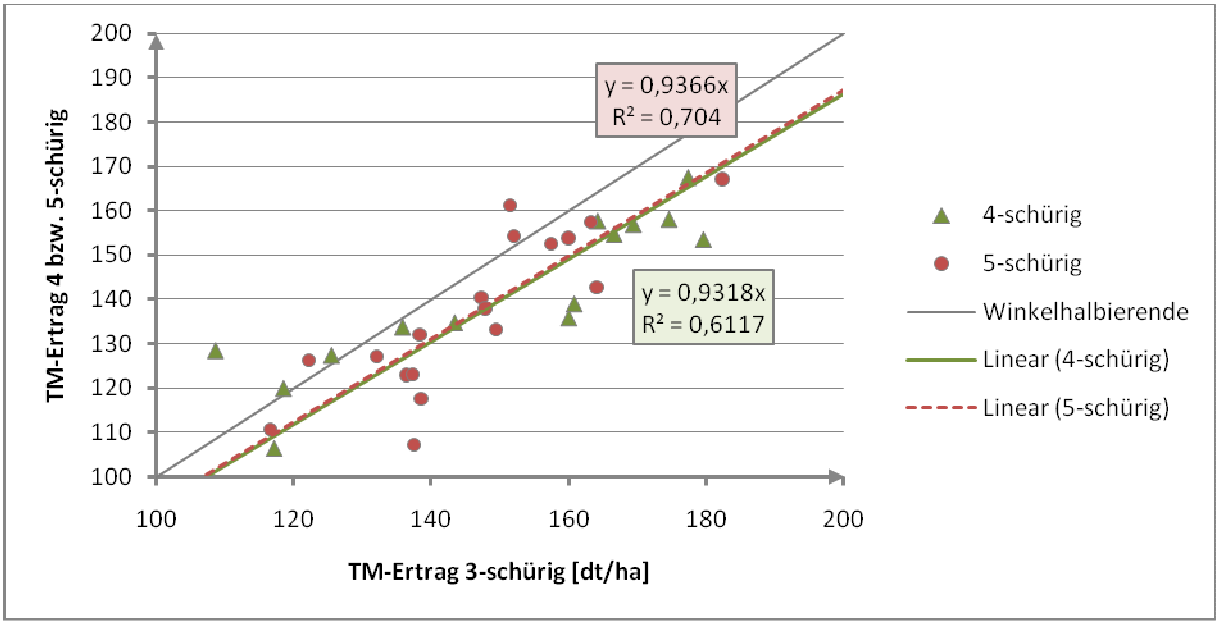
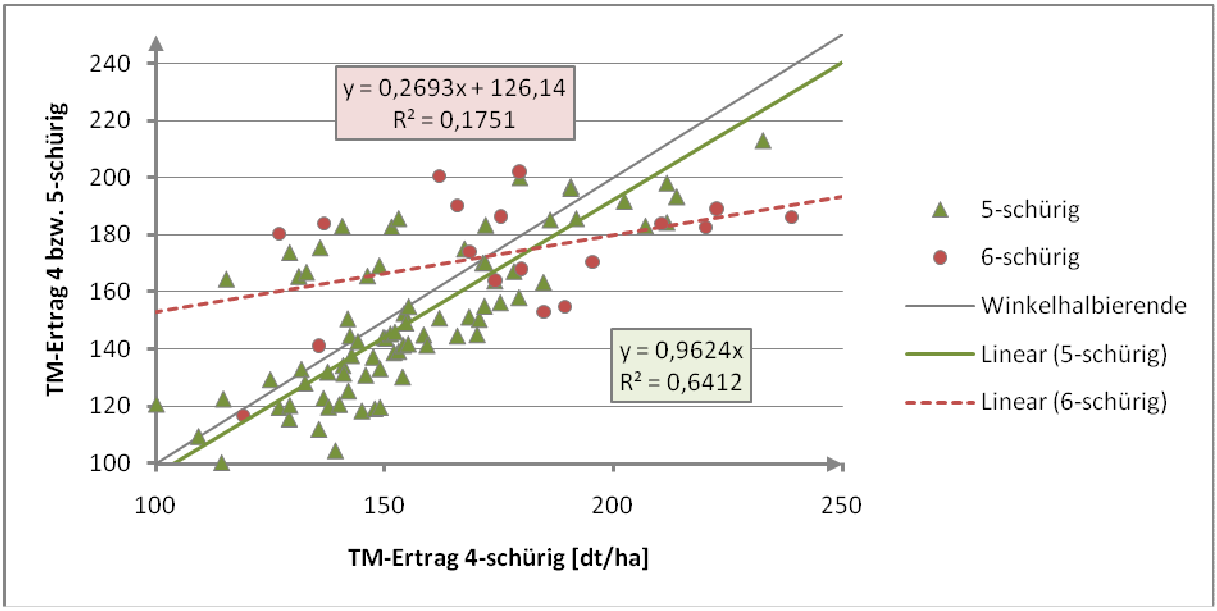


Abbildung 25: Gegenüberstellung der TM-Erträge beim Übergang vom 4- zum 5- bzw. 6-Schnittsystem



5.5.3 Gaserträge

Für eine begrenzte Anzahl von Varianten (aus Bramstedt und Wehnen) liegen Weender-Analysen vor, aus denen sich – entsprechend der Vorgehensweise beim Grundversuch – Gaserträge ermittelt lassen. Da eine Gasertragsschätzung über die Weender-Methode unscharf ist und die im Folgenden verwendete Datengrundlage nicht sehr breit ist, sollten die hierauf aufbauenden Schlussfolgerungen eher als Arbeitshypothesen denn als allgemeingültige Zusammenhänge interpretiert werden.

In Tabelle 32 sind die spezifischen Methanerträge je Ernteschnitt (gemittelt über die Mischungen) differenziert nach Standorten, Jahren und Schnitthäufigkeit wiedergegeben. Tendenziell nimmt der Gasertrag mit jedem weiteren Schnitt ab. Darüber hinaus führt eine Erhöhung der Schnittfrequenz zu einer Erhöhung des spezifischen Gasertrages, weil bei einer höheren Schnitthäufigkeit das Material tendenziell jünger ist und damit eine höhere Verdaulichkeit aufweist. Führt man mit den vorhandenen Daten (N=95) eine Regression durch, in der die Schnitthäufigkeit (x_1) und der jeweilige Ernteschnitt (x_2) als erklärende Variablen zur Abbildung des spezifischen Methanertrag (y) verwendet werden, so ergibt sich der in Gleichung 11 dargestellte Zusammenhang:

Gleichung 11: $$y = 279,3 + 7x_1 - 11,5x_2$$ **R^2 = 0,63**

Standardabweichung	8,4	1,9	0,9
P-Wert	0,00	0,00	0,00

y: spez. Methanertrag [N m^3/t TM]
x_1: Schnitthäufigkeit pro Jahr
x_2: Ernteschnitt

Im Mittel der betrachteten Jahre und der beiden Standorte erhöht sich die spezifische Methanausbeute mit einer Erhöhung der Nutzungsfrequenz um 7 m^3 CH_4/t TM je Schnitt und jeder spätere Ernteschnitt hat einen um 11,5 m^3 CH_4/t TM geringeren Methanertrag als der vorhergehende. Beispielsweise hat der erste Schnitt eines 5 schürigen Ackergrasanbaues eine theoretische Methanausbeute von 303 m^3 CH_4/t TM.

Tabelle 32: Methanerträge (N m^3/t TM) der jeweiligen Ernteschnitte in Abhängigkeit vom Standort, Jahr und der Schnitthäufigkeit

	1	2	3	4	5
Bramstedt					
2006					
4*	301				
5	309				
2007					
4	299	281	277	237	
5	308	281	283	265	229
Wehnen					
2005					
3	302	273	267		
4	280	274	270	267	
2006					
4	291	282	282	248	
5	306	281	277	281	274
2007					
4	302	283	274	269	
5	310	282	271	275	272

*in Bramstedt lagen nur die Analysen des 1.ten Schnittes vor

Inwieweit eine höhere Nutzungsfrequenz nun tatsächlich zu einer höheren spezifischen Gasausbeute des gesamten Erntematerials (bezogen auf ein Jahr) führt, hängt neben dem oben dargestellten Zusammenhang auch von den Ertragsverhältnissen der einzelnen Schnitte bei unterschiedlichen Schnitthäufigkeiten ab. Denn wenn bei einer niedrigen Schnittfrequenz der Massenanteil des ersten Schnittes höher ist als der bei hoher Schnittfrequenz, dann kann die mittlere Gasausbeute des gesamten Jahresaufwuchses bei niedrigerer Schnittfrequenz höher sein als bei hoher. In Tabelle 33 sind die mittleren Erntetage der einzelnen Schnitte differenziert nach den Schnittregimen wiedergegeben. Je höher die anvisierte Schnitthäufigkeit ist, desto stärker wurde der erste Schnitt nach vorn verlagert und desto geringer ist der zu erwartende Ertrag.

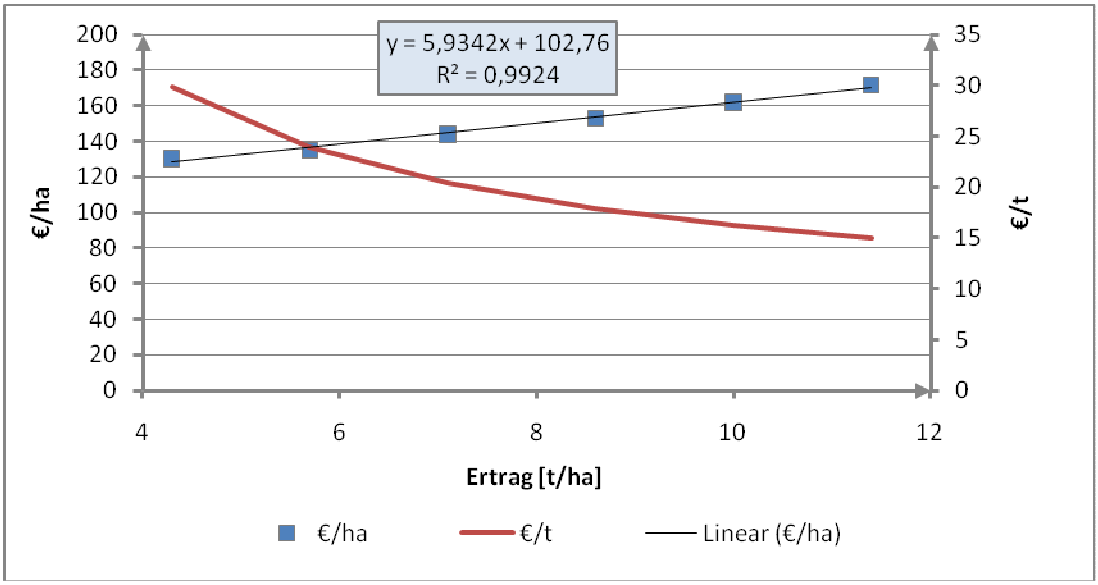
Tabelle 33: Mittlere Erntetage der einzelnen Ernteschnitt in Abhängigkeit vom Schnittregime

Schnitt-häufigkeit	1. Schnitt	2. Schnitt	3. Schnitt	4. Schnitt	5. Schnitt	6. Schnitt
3	27. Jun.	10. Aug.	6. Okt.			
4	4. Jun.	11. Jul.	21. Aug.	17. Okt.		
5	15. Mai.	19. Jun.	25. Jul.	4. Sep.	18. Okt.	
6	30. Apr.	31. Mai.	23. Jun.	17. Jul.	26. Aug.	16. Okt.

5.5.4 Wirtschaftlichkeit unterschiedlicher Nutzungsregime

Bei der Ernte von Grassilage ergeben sich zunächst ertragsunabhängige Kosten durch das Mähen, Wenden und Schwaden. Diese belaufen sich nach Maßgaben des KTBL und den in Abschnitt 4.2 dargelegten Annahmen auf 52 €/ha. Die eigentlichen Erntekosten bestehend aus Häckseln, Abtransport und Verdichten sind, nicht wie die zuvor genannten Kosten flächen-, sondern weitestgehend ertragsabhängig. In Abbildung 26 sind die gesamten Erntekosten vom Mähen bis zum Verdichten des Materials im Silo dargestellt.

Abbildung 26: Gesamterntekosten von Grassilage in Abhängigkeit vom Ertrag dargestellt in Kosten je ha und Kosten je Tonne Frischmasse



Quelle: eigene Berechnungen; KTBL, 2009

Mit steigenden Frischmasseerträgen steigen die Erntekosten um 5,9 €/t. Mit jeder Ernte fallen Fixkosten in Höhe von 103 €/ha an.

Gleichung 12: $$y = 5,9342\,x + 102,76$$

y: Erntekosten [€/ha]

x: FM-Ertrag [t/ha]

Ob die zusätzlichen Erntekosten je Ernteschnitt von 103 €/ha durch die zusätzlichen Leistungen des Mehrschnittregimes gedeckt werden, wird in der Leistungskostenkalkulationen in Tabelle 34 untersucht. Neben den Leistungskostenkalkulationen von Grassilage im 3 und 4-Schnittregime sind zum Vergleich zusätzlich die entsprechenden Kalkulationen für Winterweizen und Silomais (32% TM-Gehalt) wiedergeben. Bei dem 3-Schnittsystem wurde ein Ertrag von 130 und beim 4-Schnittsystem von 120 dt/ha unterstellt. Von diesen Erträgen wurden dann noch 10% Bröckelverluste abgezogen.

Winterweizen stellt zunächst ein unabhängiges Referenzproduktionsverfahren dar. Bei einem Marktpreis von 160 €/t ergibt sich ein Deckungsbeitrag (ohne Flächenkosten) von 165 €/ha. Um mit Silomais bei dem vorgegebenen Ertragsverhältnis denselben Deckungsbeitrag zu erwirtschaften wie mit Weizen, ist ein Preis von 27,80 €/t FM erforderlich. Da in diesem Fall beide Produktionsverfahren denselben Deckungsbeitrag je ha erbringen, ist der Landbewirtschafter indifferent.

Zur Berechnung der Leistungen der Grassilage wird das Gasbildungspotenzial mit dem Methanpreis von 0,31 €/m^3 multipliziert. Die Grassilage im 3-Schnittregime bringt dann einen Deckungsbeitrag von 68 €/ha und liegt damit knapp 100 €/ha unter dem von Mais. Ackerfuttergras ist damit auf Ackerflächen nicht konkurrenzfähig gegenüber Mais.

Tabelle 34: Leistungskostenkalkulation des Ackerfutterbaues bei unterschiedlichen Nutzungsfrequenzen im Vergleich zu Weizen und Silomais

		W.Weizen	Silomais	Grassilage 3 Schnitte	Grassilage 4 Schnitte
TM-Ertrag	t TM/ha		13,7	11,7	10,8
FM-Ertrag	t FM/ha	7,0	42,7	34,4	31,8
Preis	€/t	160,0	27,8	29,0	29,5
Methanpreis	€/m^3		0,31	0,31	0,31
CH_4-Ertrag	m^3 CH_4/ha		3868	3253	3046
Leistung	€/ha	1116	1188	999	936
Saatgut	€/ha	70	132	14	14
Pflanzenschutz	€/ha	100	71		
Dünger	€/ha	263	132	212	196
Erntekosten	€/ha	106	325	512	600
Lagerkosten	€/ha	135			
Gärrestausbringungskosten	€/ha	-	126	101	93
sonstige ArEr.-Kosten	€/ha	277	238	92	92
Summe Kosten	€/ha	952	1024	931	994
Deckungsbeitrag	€/ha	165	165	68,1	-58

Deckungsdifferenz	€/ha			96,4	223

Die Auswertungen für die Grassilage zeigen, dass eine Erhöhung der Nutzungsfrequenz zu einer Verminderung des Deckungsbeitrages führt. Während beim Ackerfutterbau im 3-Schnitt-System noch ein Deckungsbeitrag von 68 €/ha realisiert wird, sind es beim 4-Schnitt-System nur noch -58. Nach diesen Ergebnissen ist eine geringere Schnittfrequenz einer hohen klar vorzuziehen. Insbesondere die verwendete Modellgleichung zur Darstellung der Methanerträge hat Relevanz für diese Ergebnisse. Da dieser funktionalen Zusammenhang noch den Charakter einer Arbeitshypothese besitzt (siehe Abschnitt 5.5.3), müssen, um die obigen Ergebnisse verifizieren zu können, die Zusammenhang zwischen den Materialbeschaffenheiten und den erzielbaren Methanerträgen weiter untersucht werden.

Die obigen Auswertungen haben gezeigt, dass Ackergras dem Mais unterlegen ist und deshalb keine Anbaualternative darstellt. Geht man jedoch davon aus, dass mit intensiv geführtem Dauergrünland ähnlich hohe Erträge realisierbar sind, dann wird Grassilage von Dauergrünland eine Alternative. Denn wenn die Flächenkostendifferenzen zwischen Acker- und Dauergrünland geringer als 100 €/ha sind, dann scheint die intensive Nutzung von Dauergrünland zur Erstellung von Gärsubstraten eine ergänzende Alternative zu sein. Diese Frage wird in den kommenden Untersuchungsjahren noch genauer untersucht.

5.5.5 Entscheidung über eine Ernte im Einzelfall

Unabhängig von dem oben Gesagten kann es in manchen Jahren dennoch sinnvoll sein noch einen weiteren Schnitt zum Ende des Jahres durchzuführen. Dies ist dann der Fall, wenn die durchschnittlichen Kosten pro Tonne bei einer Ernte kleiner als bzw. gleich den Leistungen pro Tonne sind.

Die Durchschnittskosten eines Ernteschnittes erhält man, indem die Kosten (Gleichung 12) durch den Ertrag dividiert werden (siehe Gleichung 13).

Gleichung 13:

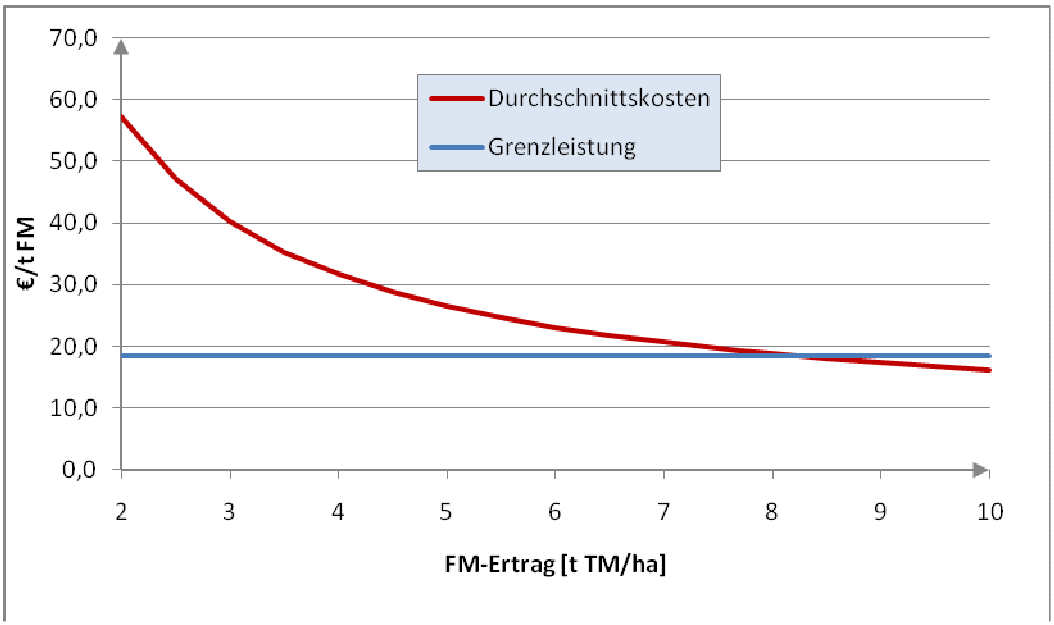
$$\text{Ø}y = 5,9342 + \frac{102,76}{x}$$

Øy: Durchschnittskosten [€/t FM]
x: Erntemenge [t FM]

Bei den Leistungen ist zu berücksichtigen, dass hier nicht der Verkaufspreis verwendet werden darf, sondern der Einkommensbeitrag anzusetzen ist, der sich ergibt, wenn vom Verkaufspreis die übrigen proportionale Kosten subtrahiert werden. Mit jeder abgefahrenen Tonne Grassilage, wird eine bestimmte Menge an Nährstoffen exportiert, die nicht über die

Gärreste pflanzenverfügbar zurückgeführt werden können (Stickstoff). Darüber hinaus fallen Gärrestausbringungskosten an. In der Summe sind dies 9,08 €/t FM, so dass sich der Einkommensbeitrag je Tonne Grassilage auf 18,4 €/t bzw. auf 54,2 €/t TM beläuft.

Abbildung 27: Durchschnittskosten und Grenzleistung von Grassilage in Abh. vom Ertrag je Schnitt



Durch Gleichsetzen der durchschnittlichen Kosten mit dem Einkommensbeitrag erhält man die Mindesterntemenge. Diese beträgt: 8,2 t FM bzw. 2,8 t TM.

In Abbildung 27 sind die oben dargestellten Zusammenhänge noch einmal grafisch dargestellt. Da in der Regel mit einem vierten bzw. fünften Schnitt Erträge von 26 dt TM/ha nicht erreicht bzw. überschritten werden, wird die Empfehlung maximal 3 Schnitte durchzuführen nochmal unterstrichen.

6 Zusammenfassung

Bei der ökonomischen Bewertung von Handlungsalternativen ist entscheidend, von welchen Grundannahmen zu Knappheiten und Preisen ausgegangen wird. Ökonomische Aussagen können deshalb immer nur konditional sein. Um dies deutlich zu machen und um für eine möglichst umfangreiche Transparenz für die den Ergebnissen zu Grunde liegenden Methodik zu sorgen, wurde der verwendete Begriff des EVA-Deckungsbeitrages ausführlich definiert und die Annahmen zu Mengen und Preisen genau beschrieben. Insbesondere die Annahmen zu den spezifischen Gaserträgen der einzelnen Substrate haben einen erheblichen Einfluss auf die ökonomischen Ergebnisse. Da der bisherige Kenntnisstand in diesem Zusammenhang unbefriedigend ist, unterliegen die hierauf aufbauenden Ergebnisse einer gewissen Unschärfe.

Dass Silomais die Referenzfrucht für die Gärsubstratproduktion darstellt, wird aus den Auswertungen deutlich. An allen Standorten können im Mittel über die Versuchsjahre akzeptable Deckungsbeiträge realisiert werden. Diese Aussage gilt bereits für die verwendeten restriktiven Annahmen zu den Methanerträgen. Geht man von höheren Methanerträgen aus oder setzt gar den Veredelungswert anstelle des von der Angebotsseite abgeleiteten Indifferenzpreises für Mais an, dann liegen die Deckungsbeiträge noch deutlich höher. Dies könnte zu einer erheblichen Verdrängung bestehender Landnutzungsformen (Nahrungsproduktion) in Deutschland führen.

Zwischen den Silomaiserträgen und den Niederschlagssummen von April bis September besteht ein relativ enger Zusammenhang. Doch selbst an dem trockensten Standort (Güterfelde, Brandenburg) wird im Mittel der drei Versuchsjahre ein TM-Ertrag von 144 dt/ha realisiert, womit sich zeigt, dass Mais tatsächlich auch bei ungünstigen Standortbedingungen noch relativ gute Erträge realisieren kann. In extremen Situationen (Güterfelde, 2006) gilt diese Aussage allerdings nicht mehr.

Die Auswertungen zum Zweikulturnutzungssystem – sowohl die Versuche aus dem Grund- als auch aus dem speziell angelegten Zweikulturnutzungsversuch – zeigen, das diese Systeme derzeit noch keine verallgemeinerbare höhere Wettbewerbsfähigkeit gegenüber klassischen Einkulturnutzungssystemen aufweisen. Stattdessen ist zu erwarten, dass sie nur unter bestimmten Voraussetzungen eine Ergänzung anstelle eines Ersatzes darstellen können. Z. B. kann dies dann der Fall sein, wenn auf Grund geringerer Opportunitätskosten die variablen Erntekosten außerhalb der Zeitspanne der Silomaisernte niedriger sind, wenn Flächen mit sehr geringer Feld-Hof-Entfernung für das Zweikulturnutzungssystem gewählt werden oder wenn die jeweiligen Standorteigenschaften eine höhere Eignung für das Zweikultursystem erwarten lassen. In Ettlingen beispielsweise haben die Ergebnisse eine höhere Standorteignung vermuten lassen. Von allen untersuchten Zweikulturnutzungssystemen war das mit Getreide-GPS gefolgt von Silomais mit Abstand das wirtschaftlich vorzüglichste. Der Kulturenwechsel sollte jedoch nicht zu früh erfolgen. Ende Mai/Anfang Juni ist die optimale Zeitspanne.

Für Mais und Wintergetreide-GPS wurde exemplarisch gezeigt, dass hohe Erträge (>80 dt TM/ha) notwendig sind, um überhaupt den relativ hohen Anteil an flächenabhängige Kosten zu decken. Diese Aussage gilt grundsätzlich auch für Zweit- und Zwischenfrüchte, so dass mit diesen Früchten in der Regel auf Grund der niedrigen Erträge keine positiven Deckungsbeiträge erzielt werden können. Diese Ergebnisse lassen sich nicht nur aus den empirischen Ergebnissen des EVA-Verbundes ableiten, sondern auch aus denen des NaRoBi-Projektes.

Alle alternativen Hauptfrüchte zum Silomais, wie Sudangras oder Zuckerhirse haben zwar - gemittelt über die 3 Anbaujahre – niedrigere Deckungsbeiträge erbracht als Silomais, sie haben jedoch deutlich besser abgeschnitten als die Zweit- und Zwischenfrüchte. In einzelnen Jahren und an einzelnen Standorten haben die Hauptfrüchte Wintergetreide-GPS und Leguminosen-Gräser akzeptable Deckungsbeiträge geliefert. Diese Früchte sind deshalb als ergänzende Gärsubstrate in Betracht zu ziehen, weil sie zur Risikostreuung beitragen können und weil i. d. R. von synergistischen Effekten bei einer vielfältigeren Substratzufuhr im Fermenter ausgegangen wird. Die Ergebnisse von Sudangras und Zuckerhirse sind bisher nicht befriedigend. Bei weiterem Züchtungsfortschritt und auf warmen und trockenen Standorten könnten sich diese Ergebnisse allerdings auch sehr schnell umkehren.

Der Anbau von Ackerfuttermischungen ist nicht wettbewerbsfähig gegenüber anderen Ackerkulturen wie beispielsweise Silomais. Da Dauergrünland allerdings mit niedrigeren Opportunitätskosten belegt ist, stellt die Grassilageproduktion auf Dauergrünland eine alternative Substratproduktion dar. Insbesondere bei hohen Pachtpreisunterschieden zwischen Acker- und Grünland gilt diese Aussage. Die Nutzungsfrequenz sollte auf dem Dauergrünland allerdings möglichst niedrig (3 Schnitte) sein. Damit die variablen Leistungen eines Grünlandschnittes wenigstens den variablen Erntekosten (Flächenkosten werden hierbei selbstverständlich nicht zu berücksichtigen.) entsprechen, sind Erträge von 2,8 t TM/ha erforderlich. Da bei vielen späten Schnitten diese Erträge nicht erreicht werden, ist hier im Einzelfall zu prüfen, ob die Nutzung dieser späten Schnitte für die Biogasproduktion tatsächlich ökonomisch sinnvoll ist. Eine Ernte später Schnitte wird vor allem bei höheren Preisen für sonstige Gärsubstrate interessant. Wenn also für Silomais der relevante Zukaufspreis nicht auf 27,80 €/t FM festgelegt wird, sondern auf einen deutlich höheren Wert. Denn dann resultiert hieraus ein höherer Methanpreis und mithin sind höhere variable Leistungen bei der Grassilageproduktion anzusetzen.

Literaturverzeichnis

Baserga U. (1998): Landwirtschaftliche Co-Vergärungs-Biogasanlagen. FAT-Berichte Nr. 512

BMELV (2007): Statistisches Jahrbuch über Ernährung, Landwirtschaft und Forsten

Buttlar von, C. (2009): Datenlieferung zum Zweikulturnutzungsversuch. 2009-03-13

Destatis (2007): Hektarerträge ausgewählter landwirtschaftlicher Feldfrüchte - Jahressumme - regionale Tiefe: Kreise und krfr. Städte (115-36-4)

Destatis (2009a): Ertrag je Hektar: Deutschland. Abrufdatum: 2009-02-18

Destatis (2009b): Erzeugerpreisindizes landwirtschaftlicher Produkte: GENESIS-Tabelle: 61211-0005. Online im Internet. URL: https://www-genesis.destatis.de/genesis/online/online;jsessionid=11FE3C3992E6B72BB73F333EE8011DDA.tcggen2?operation=statistikenVerzeichnisNextStep&levelindex=0&levelid=1241534700428&index=3&structurelevel=3 Abrufdatum: 2009-05-04

Destatis (2009c): Index der Einkaufspreise landwirtschaftl. Betriebsmittel. Online im Internet. URL: https://www-genesis.destatis.de/genesis/online/online;jsessionid=11FE3C3992E6B72BB73F333EE8011DDA.tcggen2?operation=statistikenVerzeichnisNextStep&levelindex=0&levelid=1241534700428&index=3&structurelevel=3 Abrufdatum: 2009-05-04

DLG (Deutsche Landwirtschafts-Gesellschaft e. V.) (2004): Die neue Betriebszweigabrechnung. 2.te Auflage,

European Central Bank (2009): Exchange Rates – Bilateral. Online im Internet. URL: http://sdw.ecb.europa.eu/browseSelection.do?DATASET=0&FREQ=D&CURRENCY=USD&node=2018794 Abrufdatum: 2009-05-04

Eurostat (2009): Verkaufspreise pflanzlicher Produkte (absolute Preise) - jährlicher Preis (apri_ap_crpouta). Online im Internet. URL: http://epp.eurostat.ec.europa.eu/portal/page/portal/agriculture/data/database

Fapri (Food and Agricultural Policy Research Institute) (2009): FAPRI 2009 U.S. and World Agricultural Outlook. Online im Internet. URL: http://www.fapri.iastate.edu/outlook/2009/ Abrufdatum: 2009-05-04

Hötte, S. (2009): Datenlieferung zum NaRoBi-Projekt. 2009-04-29

Keymer, U., Schilcher, A. (2003): Biogasanlagen: Berechnung der Biogasausbeuten von Kosubstraten. Online im Internet. URL: http://www.lfl.bayern.de/ilb/technik/03029/ Abrufdatum: 2009-05-03

KTBL (2008a): Datensammlung Betriebsplanung. Online im Internet: http://daten.ktbl.de/dslkr/ Abrufdatum: 2008-12-22

KTBL (2008b): Feldarbeitsrechner Maschinenkosten und Arbeitszeitbedarf. Online im Internet: http://daten.ktbl.de/feldarbeit/entry.html Abrufdatum: 2008-12-22

Kuhlmann, F. (2007): Betriebslehre der Agrar- und Ernährungswirtschaft. 3. Auflage

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

LfL (Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft) (2008): Biogasausbeuten verschiedener Substrate. Online im Internet: URL: http://www.lfl.bayern.de/ilb/technik/10225/index.php Abrufdatum: 2008-11-28

LVLF (Landesamt für Landwirtschaft, Verbraucherschutz und Flurneuordnung) (2008): Einfluss von Sorte und Bestandesdichte in Blauen Lupinen auf den Ertrag und die Wirtschaftlichkeit. Online im Internet. URL: http://www.mluv.brandenburg.de/cms/detail.php/180760 , Abrufdatum: 2008-11-28

Raiffeisen-Warenzentrale Kurhessen-Thüringen (2008): Preisliste PSM-Großpackungen 2008

Rossberg, D. (2007): Datenlieferung zur Zuordnung der Gemeinden der Bundesrepublik Deutschland zu den Boden-Klima-Räumen.

Rossberg, D., Michel, V., Graf, R., Neukampf, R. (2007).: Definition von Boden-Klima-Räumen für die Bundesrepublik Deutschland. Nachrichtenblatt des Deutschen Pflanzenschutzdienstes 59 (7), 155-161

Sedlmeier, J. (2008): persönliche Auskunft, 2008-08-21, Einbeck

USDA (United States Department of Agriculture) (2009): USDA Agricultural Projections to 2018. Online im Internet. URL: http://www.ers.usda.gov/publications/oce091/ Abrufdatum: 2009-05-04

Willms, M. (2008): Datenlieferungen des ZALF. 2008-12-05

Willms, M. (2008): Datenlieferungen des ZALF. 2009-03-09

Yara (2008): Fertilizer prices. Online im Internet. URL: http://www.yara.com/en/investor_relations/analyst_information/fertilizer_prices/index.html , Abrufdatum: 2008-11-28

Zimmer, Y. (2009): persönliches Gespräch, 2009-04-28, Braunschweig