



Das Lebensministerium



Energiefruchtfolgen für D-Südstandorte

Schriftenreihe des Landesamtes für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie

Heft 26/2009

Freistaat  Sachsen

Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie

Entwicklung und Optimierung von standortangepassten Anbausystemen für Energiepflanzen im Fruchtfolgeregime auf D-Südstandorten

Teilprojekt 1 des Verbundprojektes „Entwicklung und Vergleich von optimierten Anbausystemen für die landwirtschaftliche Produktion von Energiepflanzen unter den verschiedenen Standortbedingungen Deutschlands“

Dr. habil. Christian Röhrich, Dr. Sven Freydank, Stefan Schröder

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

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung.....	1
2	Material und Methoden	1
2.1	Standortcharakteristik	1
2.2	Witterungsverlauf und klimatische Wasserbilanz.....	2
2.3	Versuchsdurchführung.....	6
2.4	Berechnungsgrundlagen.....	8
2.4.1	Nährstoffbilanzierung (N, P, K, Mg)	8
2.4.2	Humusbilanzierung	9
2.4.3	Theoretische Biogas- und Methanausbeute	10
3	Ergebnisse.....	10
3.1	Frischmasse- und Trockenmasseerträge der Fruchtfolgevarianten.....	10
3.2	Trockensubstanz (TS)-Gehalte der Kulturpflanzen.....	17
3.3	Winterroggenertrag in Kombination mit dem Strohertrag.....	19
3.4	Nährstoffbilanz.....	20
3.5	Humusbilanz.....	23
3.6	Theoretische Biogas- und Methanausbeute	27
3.7	Ökonomische Bewertung.....	32
3.8	Anbauempfehlungen für die Region	37
4	Zusammenfassung	38
5	Literaturverzeichnis	40
6	Anhang.....	42
7	Anlage	75

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Allgemeine Einstufung der Versuchsjahre 2005 - 2008 für das Pflanzenwachstum, Versuchsstandort Trossin (Su3, Az 31).....	4
Tabelle 2: Fruchtfolgen 1. Anlage in Trossin 2005 – 2008; Fruchtfolgen 2. Anlage (Spiegelung) in Trossin 2006 -2009	7
Tabelle 3: Durchschnittliche jährliche Ertragsleistung in den Varianten des Fruchtfolgeversuchs mit Energiepflanzen zur Biogasproduktion am Standort Trossin (Su3, Az 31), Anlage 1, 2005 – 2007)	13
Tabelle 4: Trockenmasseerträge für Mais, Sudangras und Zuckerhirse in verschiedenen Varianten des Fruchtfolgeversuches mit Energiepflanzen zur Biogasproduktion am Standort Trossin (Su3, Az 31), Anlage 1, 2005 – 2007	16
Tabelle 5: Trockenmasseerträge für Mais, Sudangras und Zuckerhirse in verschiedenen Varianten des Fruchtfolgeversuches mit Energiepflanzen zur Biogasproduktion am Standort Trossin (Su3, Az 31), Anlage 2, 2006 – 2008	16
Tabelle 6: Trockenmasseerträge für Getreideganzpflanzen in verschiedenen Varianten des Fruchtfolgeversuches mit Energiepflanzen zur Biogasproduktion am Standort Trossin (Su3, Az 31), Anlage 1 (2005 - 2007) und Anlage 2 (2006 - 2008).....	17
Tabelle 7: Trockenmassertrag des abschließenden Fruchtfolgegliedes Winterroggen im Fruchtfolgeversuch mit Energiepflanzen zur Biogasproduktion am Standort Trossin (Su3, Az 31) 1. Anlage, 2008	20
Tabelle 8: Deckungsbeitragsanalyse in den Fruchtfolgesystemen zum Energiepflanzenanbau am Standort Trossin (Su3, Az 31), Anlage 1, Zeitraum 2005 - 2008, nach TOEWS (2008)	35
Tabelle 9: Deckungsbeitragsanalyse in den Fruchtfolgesystemen zum Energiepflanzenanbau am Standort Trossin (Su3, Az 31), Anlage 2, Zeitraum 2006 - 2008, nach TOEWS (2008)	36

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Monatliche Niederschlagssumme am Versuchsstandort Trossin (Su3, Az 31)	2
Abbildung 2:	Monatliche Mittel der Lufttemperatur am Versuchsstandort Trossin (Su3, Az 31) für die Versuchsjahre 2005 - 2008, Angaben der Wetterstation Spröda des LfULG	3
Abbildung 3:	Globalstrahlung (Monatsmittel) am Versuchsstandort Trossin (Su3, Az 31) für die Versuchsjahre 2005 - 2008, Angaben der Wetterstation Spröda des LfULG	4
Abbildung 4:	Klimatische Wasserbilanz am Standort Trossin (Su3, Az 31) - Fruchtfolgeversuch mit Energiepflanzen für die Biogasproduktion im Zeitraum 2005 - 2008 (Messdaten der Wetterstationen Holzdorf und Torgau).....	5
Abbildung 5:	Kumulative Frischmasseerträge (dt/ha) im Fruchtfolgeversuch mit Energie- pflanzen zur Biogasproduktion am Standort Trossin (Su3, Az 31), Anlage 1, 2005 - 2007	11
Abbildung 6:	Kumulative Trockenmasseerträge (dt/ha) im Fruchtfolgeversuch mit Energie- pflanzen zur Biogasproduktion am Standort Trossin (Su3, Az 31), Anlage 1, 2005 - 2007	12
Abbildung 7:	Kumulative Frischmasseerträge (dt/ha) im Fruchtfolgeversuch mit Energie- pflanzen zur Biogasproduktion am Standort Trossin (Su3, Az 31), Anlage 2, 2006 - 2008	14
Abbildung 8:	Kumulative Trockenmasseerträge (dt/ha) im Fruchtfolgeversuch mit Energie- pflanzen zur Biogasproduktion am Standort Trossin (Su3, Az 31), Anlage 2, 2006 - 2008	15
Abbildung 9:	Mittlere Trockensubstanzgehalte (in %) ausgewählter Kulturpflanzen der Energiefruchtfolgen aus Anlage 1 und 2 (Spiegelvariante) am Standort Trossin. ..	18
Abbildung 11:	Nährstoffbilanzen für N, P, K und Mg im Fruchtfolgeversuch mit Energie- pflanzen für die Biogasproduktion am Standort Trossin (Su3, Az 31), Anlage 2, 2006 - 2008	22
Abbildung 12:	Humussaldo für die Varianten des Fruchtfolgeversuches Anlage 1, 2005 - 2008, ohne Abschlussglied Winterroggen, Standort Trossin (Su3, Az 31)	24
Abbildung 13:	Humussaldo für die Fruchtfolgevarianten des Fruchtfolgeversuches Anlage 2, 2006 - 2008 (Fruchtfolgeglieder 2008, eig. Berechnung nach WILLMS), Standort Trossin (Su3, Az 31).....	26
Abbildung 14:	Theoretische Biogaserträge im Fruchtfolgeversuch mit Energiepflanzen zur Biogasproduktion am Standort Trossin (Su3, Az 31), Anlage 1, 2005 - 2007.....	29
Abbildung 15:	Theoretische Methanerträge im Fruchtfolgeversuch mit Energiepflanzen zur Biogasproduktion am Standort Trossin (Su3, Az 31), Anlage 1, 2005 - 2007.....	30
Abbildung 16:	Theoretische Biogaserträge im Fruchtfolgeversuch mit Energiepflanzen zur Biogasproduktion am Standort Trossin (Su3, Az 31), Anlage 2, 2006 - 2008.....	31
Abbildung 17:	Theoretische Methanerträge im Fruchtfolgeversuch mit Energiepflanzen zur Biogasproduktion am Standort Trossin (Su3, Az 31), Anlage 2, 2006 - 2008.....	32

Anhangsverzeichnis

Tabelle A 1:	Düngeraufwand (N, P, K) im Fruchtfolgeversuch mit Energiepflanzen zur Biogasgewinnung am Standort Trossin (Su3, Az 31)	42
Tabelle A 2:	Durchgeführte Pflanzenschutzmaßnahmen im Fruchtfolgeversuch mit Energiepflanzen zur Biogasgewinnung am Standort Trossin (Su3, Az 31)	44
Tabelle A 3:	Verdaulichkeitskoeffizienten zur Berechnung der theoretischen Biogasausbeute im Fruchtfolgeversuch mit Energiepflanzen zur Biogasproduktion am Standort Trossin (Su3, Az 31), Versuchszeitraum 2005 - 2008	46
Tabelle A 4:	Erntetermin der Kulturen im Fruchtfolgeversuch mit Energiepflanzen zur Biogasproduktion im Standort Trossin (Su3, Az31), 2005 – 2008-	49
Tabelle A 5:	Sorten im Fruchtfolgeversuch mit Energiepflanzen zur Biogasproduktion am Standort Trossin (Su3, Az31), Anlagen 1 und 2 (2005 - 2008)	51
Tabelle A 6:	Aussaatmenge und -zeitpunkt im Fruchtfolgeversuch mit Energiepflanzen zur Biogasproduktion am Standort Trossin (Su3, Az 31)	51
Tabelle A 7:	Frischmasseerträge in den einzelnen Fruchtfolgegliedern des Fruchtfolgeversuches am Standort Trossin (Su3, Az 31), Anlage 1, 2005 - 2008	49
Tabelle A 8:	Trockenmasseerträge (105 °C) in den einzelnen Fruchtfolgegliedern des Fruchtfolgeversuches am Standort Trossin (Su3, Az 31), Anlage 1, 2005 - 2008 ...	51
Tabelle A 9:	Frischmasseerträge in den einzelnen Fruchtfolgegliedern des Fruchtfolgeversuches am Standort Trossin (Su3, Az 31), Anlage 2, 2006 - 2008	53
Tabelle A 10:	Trockenmasseerträge (105 °C) in den einzelnen Fruchtfolgegliedern des Fruchtfolgeversuches am Standort Trossin (Su3, Az 31), Anlage 2, 2006 - 2008 ...	56
Tabelle A 11:	Trockenmasseertrag an Korn und Stroh im Abschlussfruchtfolgeglied Winterroggen des Fruchtfolgeversuches mit Energiepflanzen zur Biogasproduktion am Standort Trossin (Su3, Az 31), Anlage 1, 2005 - 2008	59
Tabelle A 12:	Nährstoffbilanzen in den Varianten des Fruchtfolgeversuches mit Energiepflanzen zur Biogasproduktion am Standort Trossin (Su3, Az 31), Anlage 1, 2005 – 2008	60
Tabelle A 13:	Nährstoffbilanzen in den Varianten des Fruchtfolgeversuches mit Energiepflanzen zur Biogasproduktion am Standort Trossin (Su3, Az 31), Anlage 2, 2006 - 2008	61
Tabelle A 14:	Theoretische Biogas- und Methanausbeute in den Fruchtfolgen mit Energiepflanzen zur Biogasproduktion am Standort Trossin (Su3, Az 31), Anlage 1, 2005 - 2007, Berechnungsdaten	63
Tabelle A 15:	Theoretische Biogas- und Methanausbeute in den Fruchtfolgen mit Energiepflanzen zur Biogasproduktion am Standort Trossin (Su3, Az 31), Anlage 2, 2006 - 2008, Berechnungsdaten	64
Tabelle A 16:	Humusbilanz im Fruchtfolgeversuch mit Energiepflanzen zur Biogasproduktion am Standort Trossin (Su3, Az 31), Anlage 1, 2005 - 2007	66

Tabelle A 17: Humusbilanz im Fruchtfolgeversuch mit Energiepflanzen zur Biogasproduktion am Standort Trossin (Su3, Az 31), Anlage 2, 2006 - 2008	67
Tabelle A 18: Überschlägige Kalkulation der Produktionskosten je Fruchtart in den Fruchtfolgen mit Energiepflanzen zur Biogasproduktion am Standort Trossin (Su3, Az 31), Anlage 1, 2005 - 2008	70
Tabelle A 19: Überschlägige Kalkulation der Produktionskosten je Fruchtart in den Fruchtfolgen mit Energiepflanzen zur Biogasproduktion am Standort Trossin (Su3, Az 31), Anlage 2, 2006 - 2008	71
Tabelle A 20: Annahmen und Rahmenbedingungen für die ökonomische Bewertung der Fruchtfolgeversuche, nach TOEWS.....	72

1 Einleitung

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

Die vorliegenden Untersuchungen zum Energiepflanzenanbau in Fruchtfolgesystemen leisten hierzu einen Beitrag. Sie verfolgen das Ziel, die bestehende hauptsächlich auf Mais ausgerichtete Anbaustruktur für die Biogasproduktion zu diversifizieren. In diesem Sinne werden unterschiedliche Fruchtfolgesysteme, die neben traditionellen Kulturen auch neue Fruchtarten einbeziehen, nach der Trockenmasseleistung, dem Biogas- und Methanertrag, der Humus- und Nährstoffbilanz sowie ihrer Wirtschaftlichkeit bewertet. Aus diesen Ergebnissen sollen Empfehlungen zum Energiepflanzenanbau für die Kartoffel-Winterroggen-Region der D-Süd-Standorte Deutschlands abgeleitet werden. Dieses Vorhaben ist Teil eines durch das Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (BMELV) über die Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe geförderten Verbundforschungsprojektes (Koordination: Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft).

2 Material und Methoden

2.1 Standortcharakteristik

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

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

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

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

2.2 Witterungsverlauf und klimatische Wasserbilanz

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

Wie die Niederschlagsverteilung der einzelnen Jahre zeigt, ist das Versuchsjahr 2005 durch hohe, über dem langjährigen Mittel liegende Niederschläge im Zeitraum April bis August gekennzeichnet. Ein extrem hoher Peak ist besonders im Monat Juli zu beobachten. Die Herbstmonate waren hingegen vergleichsweise trocken (Abb.1).

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

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

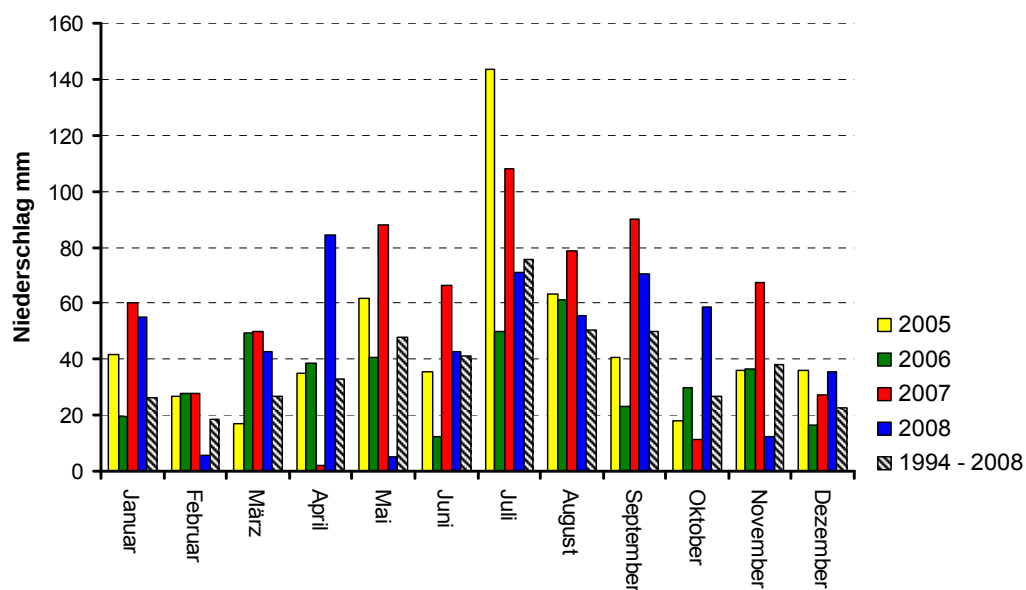


Abbildung 1: Monatliche Niederschlagssumme am Versuchsstandort Trossin (Su3, Az 31) für die Versuchsjahre 2005 - 2008, Angaben der Wetterstation Spröda des LfULG

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

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

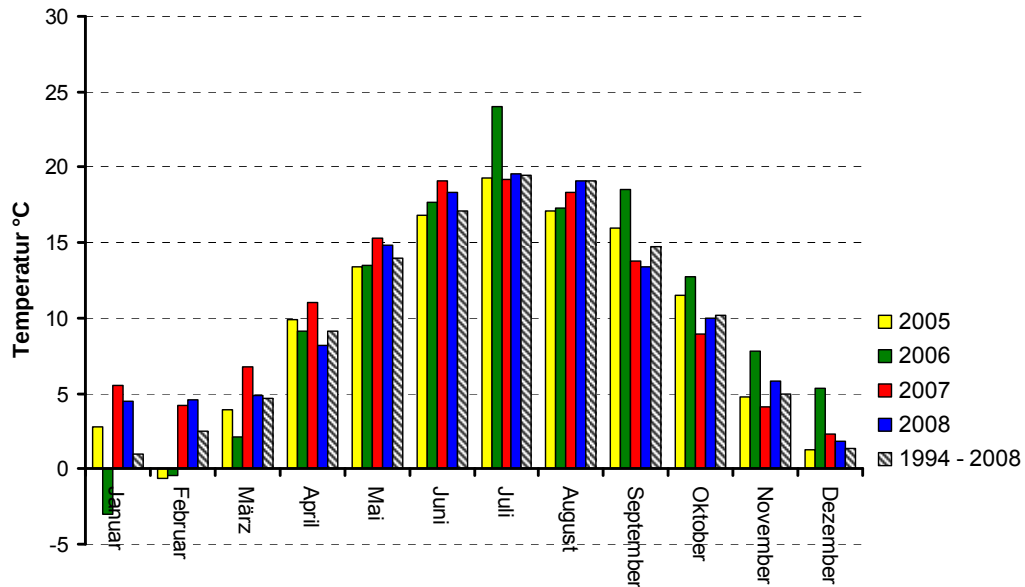


Abbildung 2: Monatliche Mittel der Lufttemperatur am Versuchsstandort Trossin (Su3, Az 31) für die Versuchsjahre 2005 - 2008, Angaben der Wetterstation Spröda des LfULG

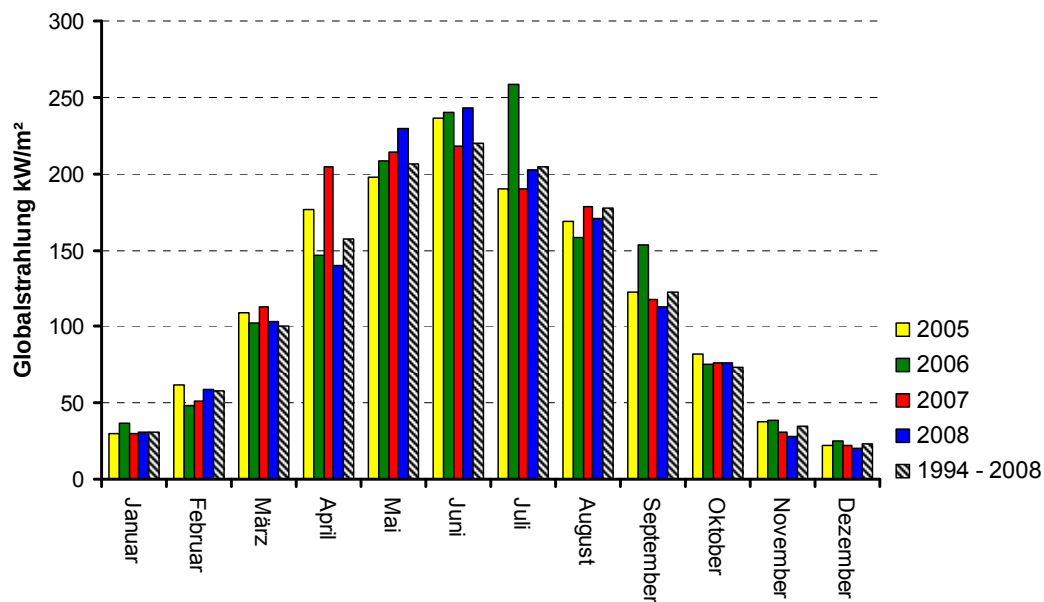


Abbildung 3: Globalstrahlung (Monatsmittel) am Versuchsstandort Trossin (Su3, Az 31) für die Versuchsjahre 2005 - 2008, Angaben der Wetterstation Spröda des LfULG

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

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

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

Die klimatische Wasserbilanz ist ein Maß für die Abschätzung der Grundwasserneubildung. Aus den jährlichen klimatischen Wasserbilanzen geht hervor, dass sie in allen Versuchsjahren einen sinusförmigen Verlauf zeigen. In den ersten Monaten des Jahres (Januar bis März/April) ist sie positiv bzw. neutral, um dann in einen negativen Verlauf bis Jahresende überzugehen. Dies macht

deutlich, dass bereits in der Vorsommerperiode auf den leichten Böden eine ungenügende Auffüllung des Bodenwasservorrates einsetzt und in den Folgemonaten nicht behoben wird.

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

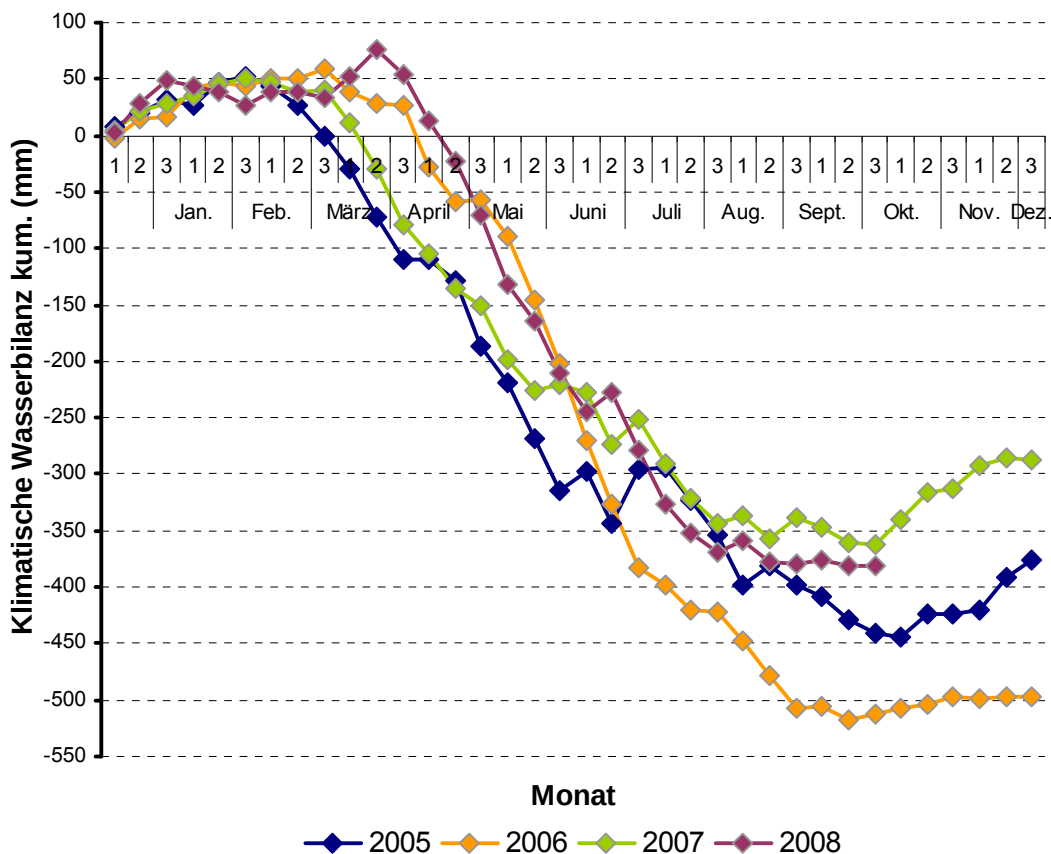


Abbildung 4: Klimatische Wasserbilanz am Standort Trossin (Su3, Az 31) - Fruchtfolgeversuch mit Energiepflanzen für die Biogasproduktion im Zeitraum 2005 - 2008 (Messdaten der Wetterstationen Holzdorf und Torgau)

2.3 Versuchsdurchführung

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

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

Tabelle 2: Fruchtfolgen 1. Anlage in Trossin 2005 - 2008

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

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

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

In den regionalspezifischen Fruchtfolgevarianten 6 - 8 wurden weitere, auf den leichten Standorten anbauwürdige Kulturen (Kartoffel, Sonnenblume, Hanf) unter dem Blickwinkel ihrer Eignung für die Biogasproduktion getestet.

Den Abschluss der Fruchtfolgesysteme bildet die Fruchtart Winterroggen zur Körnernutzung. Insgesamt zeichnen sich die Fruchtfolgevarianten durch eine hohe Biodiversität aus. Klassifiziert man die Varianten nach ihrer Fruchtartenzusammensetzung, so sind die Varianten 1 - 3 Mais/Sorghumhirse betonte Anbausysteme. Die Variante 4 ist als Luzerne-Klee gras-Fruchtfolge zu bezeichnen. Als Nahrungs-/Energieproduktionsfruchtfolge ist das Anbausystem 5 einzustufen. Die Fruchtfolge 6 ist eine Futtergras/GP-Getreide betonte Variante, die Fruchtfolge 7 eine auf Hackfrucht/Mais/Sorghumhirse ausgerichtete Variante. Fruchtfolge 8 ist als Sonnenblume/Hanf betonte Variante zu definieren.

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

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

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

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

2.4 Berechnungsgrundlagen

2.4.1 Nährstoffbilanzierung (N, P, K, Mg)

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

Als Zufuhrgrößen gehen die mineralische Düngung und die N₂-Fixierung durch Leguminosen ein (Richtwerte für die Untersuchung und Beratung sowie zur fachlichen Umsetzung der Düngeverordnung).

nung [DüV] der Länder Brandenburg, Mecklenburg-Vorpommern, Sachsen-Anhalt und Sachsen, 2008). Die Nährstoffabfuhr entspricht dem Nährstoffentzug durch die Ernte. Nicht in die Bilanz gehen ein Mulch, Gründüngung (FF 1 und FF 8), Strohdüngung und Wurzeln. Ebenso werden keine Gärrückstände berücksichtigt.

Der Saldo berechnet sich nach folgendem Verfahren:

$$\begin{array}{lll} \text{Nährstoffsaldo} & = & \text{Nährstoffzufuhr} \quad - \quad \text{Nährstoffentzug} \\ * \text{ N, P, K, Mg} & * & \text{mineralische Düngung} \quad * \text{ durch die Ernte} \\ & & * \text{ durch die Ernte} \end{array}$$

2.4.2 Humusbilanzierung

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

Der Anfall an Gärresten wird dabei wie folgt berechnet:

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

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

Die Humusreproduktionskoeffizienten für die Fruchtarten sind dem VDLUFA-Standpunkt (KÖRSCHENS, ROGASIK, SCHULZ et al. 2004) entnommen. Für Stroh wird der Koeffizient nach den Festlegungen von Cross Compliance (100 kg Humus-C je Tonne Substrat) herangezogen. Die Humus-C-Leistung des Luzerne-Klee gras wird nach dem "Leguminosenrechner" (STEIN-BACHINGER, BACHINGER, SCHMITT 2004) berechnet. Weitere Einzelheiten des methodischen Vorgehens sind bei WILLMS (2008) enthalten.

2.4.3 Theoretische Biogas- und Methanausbeute

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

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

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

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

3 Ergebnisse

3.1 Frischmasse- und Trockenmasseerträge der Fruchtfolgevarianten

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

Aus dem Vergleich im Versuch der Anlage 1 geht hervor, dass das höchste Gesamtertragsniveau an Frischmasse (~1.700 dt FM/ha) und Trockenmasse (>400 dt TM/ha) in den Fruchtfolgesystemen 3 und 7 erzielt wurde (Abb. 5 und 6). Die Analyse der Fruchtfolgeglieder zeigt, dass der Gesamtertrag wesentlich durch die Kulturen Mais, Sorghumhirse und Kartoffeln bestimmt wird (Anhang Tab. A7 und A8).

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

Die Luzerne-Klee-gras-Fruchtfolge (FF 4) realisierte mit vorgeschaltetem Anbau von Getreide (GP-Nutzung) einen mittleren Gesamtertrag von 250 dt TM/ha. Dabei sind beim Luzerne-Klee-gras pro Nutzungsjahr 70 dt TM/ha (2 Schnitte) bzw. 128 dt TM/ha (4 Schnitte) geerntet worden. Eine mittlere kumulative Ertragsleistung (240 dt TM/ha) wurde auch in der Fruchtfolge 6 ermittelt. Das Er-

tragsniveau wird hier von Weidelgras und Getreideganzpflanzen (Sommerung) bestimmt. Aus der Sicht des Gesamttrocken- bzw. Frischmasseertrages wurde das niedrigste Niveau im Fruchtfolgesystem 5 mit einem 50%-igen Anteil an Marktfrüchten (Winterraps, Winterroggen) beobachtet.

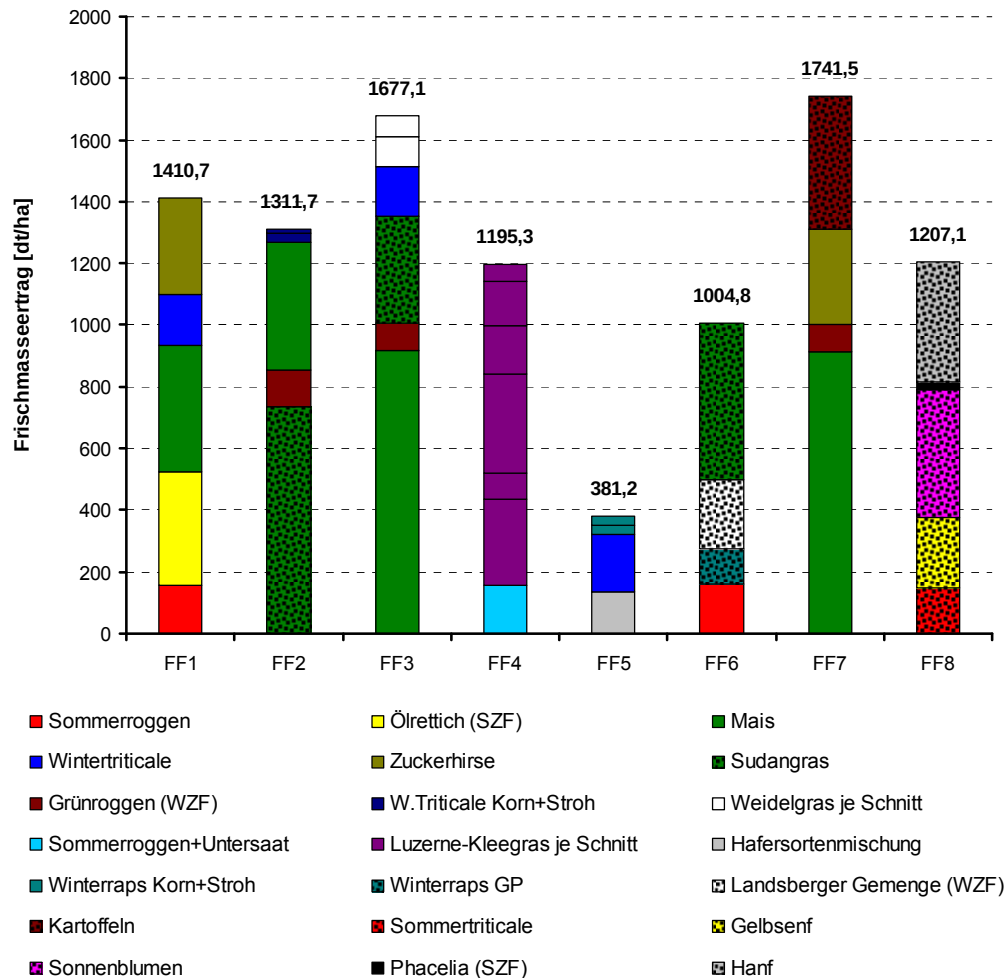


Abbildung 5: Kumulative Frischmasseerträge (dt/ha) im Fruchtfolgeversuch mit Energiepflanzen zur Biogasproduktion am Standort Trossin (Su3, Az 31), Anlage 1, 2005 - 2007

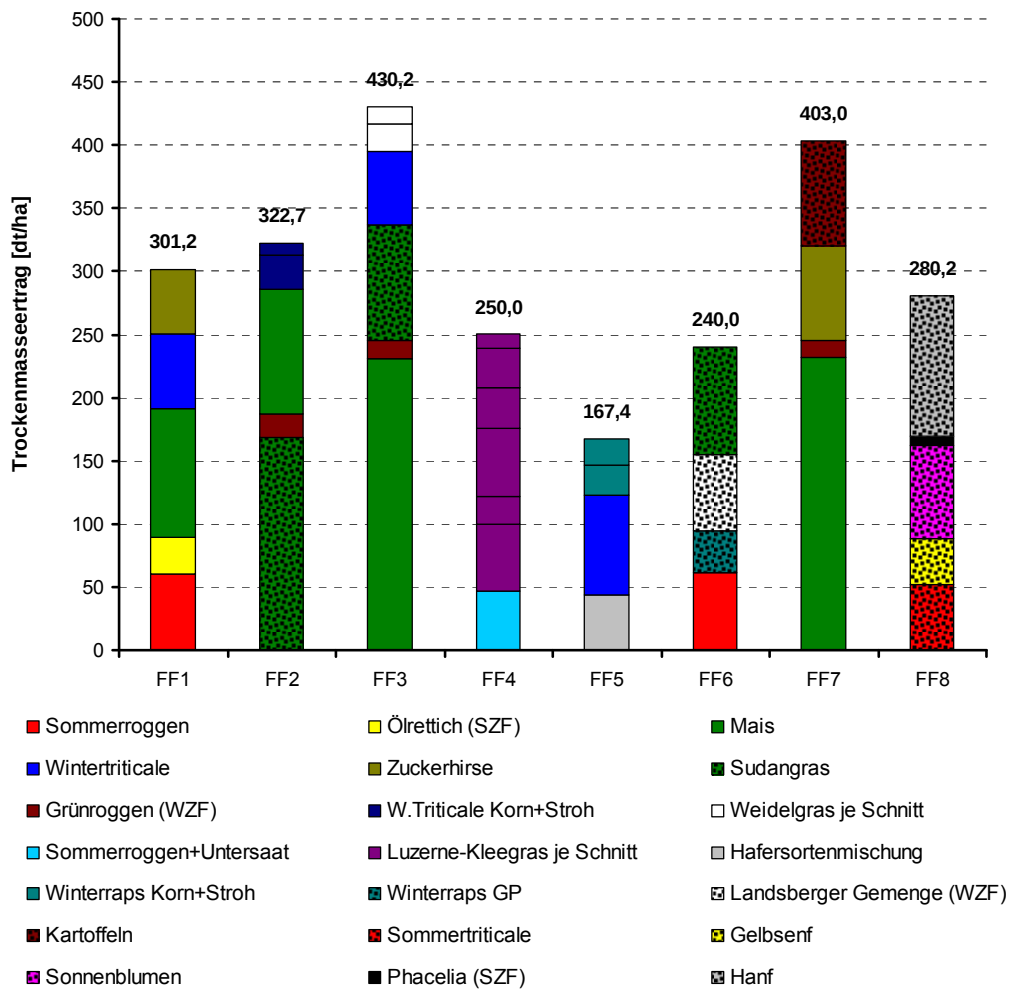


Abbildung 6: Kumulative Trockenmasseerträge (dt/ha) im Fruchtfolgeversuch mit Energiepflanzen zur Biogasproduktion am Standort Trossin (Su3, Az 31), Anlage 1, 2005 - 2007

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

Die Einbindung des mehrjährigen Luzerne-Kleegrases wirkt sich bei mittlerer durchschnittlicher Ertragsleistung (83 dt TM/ha*a) ertragsstabilisierend auf die Rotationsleistung aus (Tab. 3). Die Ertragsmaxima und -minima der Hauptfrüchte machen dabei deutlich, dass in den ertragsstarken Fruchtfolgen allerdings eine große Ertragspreizung besteht. Die ertragsschwächeren Kulturen sind dabei meist Sommergetreideganzpflanzen (Tab. 3).

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

Fruchtfolgevariante	mittlerer jährlicher Ertrag an Trockenmasse	Standardabweichung	Variationskoeffizient	Maximaler und minimaler Ertrag (Hauptfrüchte dt TM /ha)	Spannweite
1	67,98	19,90	29,27	Mais 101,76 - Zuckerhirse 50,29	41,91
2	101,20	53,57	52,29	Sudangras 168,01 - WiTriticale (Korn+Stroh) 36,85	131,16
3	103,98	75,90	72,99	Mais 230,63 - Weidelgras 34,84	195,79
4	83,34	33,86	40,63	Luzerne/Kleegras 128,51 - SoRoggen 46,98	81,53
5	55,45	16,97	30,60	WiTriticale GP 79,40 - Hafer GP 43,18	36,22
6	59,99	18,14	30,24	Sudangras 84,99 - SoRaps GP 33,72	51,29
7	129,61	72,12	55,64	Mais 231,46 - Zuckerhirse 74,07	157,39
8	79,01	24,39	30,86	Hanf 111,03 - SoTriticale GP 51,89	59,14

¹⁾ ohne Schlussfruchtfolgeglied Winterroggen

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

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

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

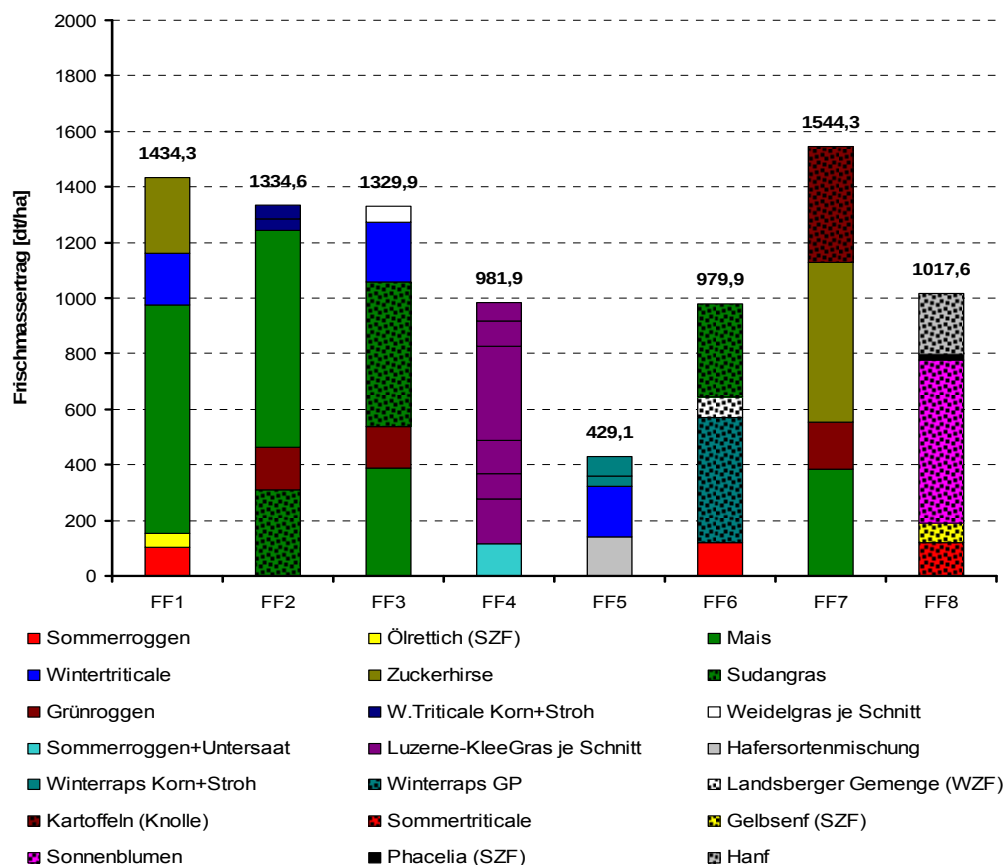


Abbildung 7: Kumulative Frishmasserträge (dt/ha) im Fruchtfolgeversuch mit Energiepflanzen zur Biogasproduktion am Standort Trossin (Su3, Az 31), Anlage 2, 2006 - 2008

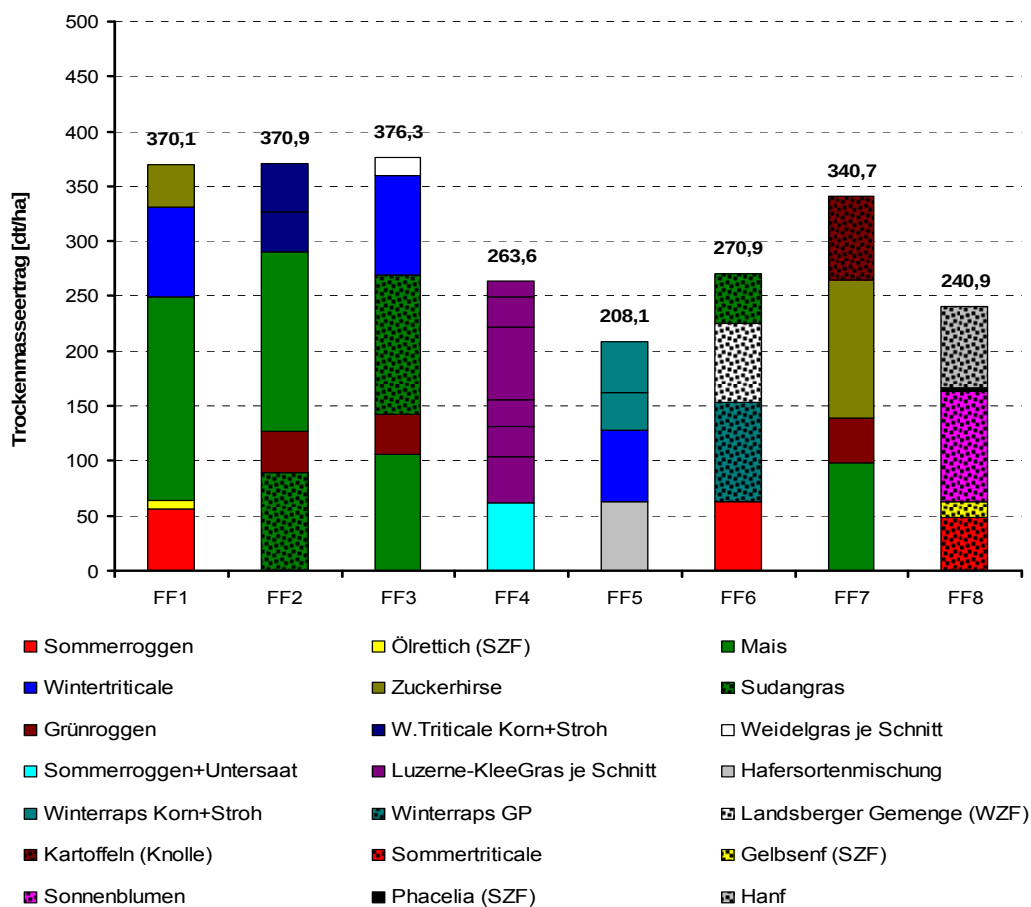


Abbildung 8: Kumulative Trockenmasseerträge (dt/ha) im Fruchtfolgeversuch mit Energiepflanzen zur Biogasproduktion am Standort Trossin (Su3, Az 31), Anlage 2, 2006 - 2008

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

Die Trockenmasseerträge der Getreideganzpflanzen (Winterroggen, Wintertriticale) sind deutlich niedriger als bei Mais und Sorghumhirsens. Insbesondere in niederschlagsarmen, warmen Jahren

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

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

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

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

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

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

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

Im Fazit der Ertragsanalyse in den Fruchtfolgesystemen ist festzustellen, dass die mais- und sorghumhirsebetonten Fruchtfolgen die höchste kumulative Leistung an Frisch- und Trockenmasse erreichen (KARPENSTEIN-MACHAN 2005). Eine weitere wichtige Ertragskomponente in leistungsstarken Anbausystemen bilden Getreideganzpflanzen (Wintergetreide) und Gräser. Für vierfeldrige Fruchtfolgen mit Mais, Sorghumhirse und Getreideganzpflanzen als Fruchtfolgeglieder (FF 1, 2, 3 und 7) konnten kumulative Trockenmasseerträge von 370 bis 430 dt TM/ha nachgewiesen werden. Wie die Analyse des Fruchtfolgesystems 7 deutlich macht, bildet neben Mais und Sorghumhirse auch die Kartoffel ein Fruchtfolgeglied auf den leichten Böden, das die Höhe der Trockenmasseleistung wesentlich mitbestimmt.

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

3.2 Trockensubstanz (TS)-Gehalte der Kulturpflanzen

Für die Silierung des Erntegutes der Energiepflanzen als Ausgangssubstrat für den Biogasfermenter ist ein Trockensubstanz-(TS-)Gehalt von 28 bis 35 % in der Biomasse anzustreben. Erst dadurch wird die zur effektiven Umsetzung des Substrats zu Biogas vorausgesetzte Qualität der Silage gewährleistet (MATTHES 2006; PEYKER, DEGNER, ZORN, FARAK 2005). Mithilfe von Abb. 9 werden die in den Fruchtfolgen angebauten Energiepflanzen unter diesem Blickwinkel genauer betrachtet (siehe auch Anhang, Tab. A4).

Milchreife bonitiert. Hier ließe sich über eine Verlängerung der Wachstumszeit bis zum Stadium der Teigreife ein TS-Zuwachs erzielen. Das in die Fruchtfolgen integrierte Ganzpflanzengetreide wies im Entwicklungsstadium der Milchreife bis frühen Teigreife günstige Trockensubstanzgehalte auf, die sich je nach Getreideart in der Größenordnung von 36 % bis 46 % bewegen. Gleiches gilt für den Hanf, der als Ganzpflanze im BBCH-Stadium 69 bis 75 geerntet wurde. Der zur Fruchtentwicklung (50 % der Schoten sind vollständig ausgebildet) geerntete Ganzpflanzenraps hatte zu diesem Zeitpunkt erst 20 % TS in die Biomasse eingelagert. Mit einer zu einem späteren Entwicklungsstadium durchgeführten Ernte ist ein höherer TS-Gehalt zu erwarten. Von einem ähnlichen Effekt ist bei der Sonnenblume auszugehen, die im Stadium der Fruchtentwicklung (Graufärbung der Samen) bereits bei einem TS-Gehalt von 17 % geerntet wurde. Ein höherer TS-Gehalt ist bei beginnender Samenreife anzunehmen. Das im Stadium der Blütenanlage (sichtbare Knospe) geschnittene Weidelgras wies einen für den Silierprozess ausreichenden TS-Gehalt von 25 % auf.

Beim Landsberger Gemenge variierte die TS-Konzentration stark in Abhängigkeit vom Erntetermin. Während der im vegetativen Entwicklungsstadium geschnittene Aufwuchs von einem sehr geringen TS-Gehalt (14 % TS) geprägt war, konnte bereits im Stadium der sichtbaren Knospe eine TS-Konzentration von 27 % im Erntegut festgestellt werden. Auch beim Luzerne-Kleegras differierten die TS-Gehalte stark schnittabhängig zwischen 17 % in der vegetativen Phase und 26 % im Knospens stadium (Anhang Tab. A4). Die Winterzwischenfrucht Grünroggen zeigte ebenfalls deutliche Unterschiede im TS-Gehalt, bedingt durch das Ernten der Kulturpflanze zu verschiedenen Entwicklungsstadien. So wies der Grünroggenbestand bei Verlängerung der Blattscheide des Fahnenblattes erst einen Gehalt von 16 % TS auf, wogegen zu Beginn des Ährenschiebens der für den Silierungsprozess günstigere Gehalt von 25 % TS nachgewiesen werden konnte (Anhang Tab. A4).

Im Fazit der Untersuchungen sind die TS-Gehalte der untersuchten Energiepflanzen zu niedrig. Als wesentliche Ursache konnten meist zu frühe Erntetermine aufgezeigt werden. Durch die Verbesserung des zeitlichen Erntemanagements ließen sich Reserven in der TS-Ausbeute bei den einzelnen Kulturen erschließen.

3.3 Winterroggenertrag in Kombination mit dem Strohertrag

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

einem erhöhten Korn- und Strohertrag bei der Abschlusskultur zum Tragen. Dies ist möglicherweise auf den niedrigen $N_{\min}$ -Gehalt zum Zeitpunkt der Aussaat zurückzuführen (Anhang Tab. A11).

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

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

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

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

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

3.4 Nährstoffbilanz

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

Für die Fruchtfolgen der Anlagen 1 und 2 werden nach dem Prinzip der Schlagbilanzierung vereinfachte Berechnungen vorgenommen. Sie bilden das Input-Output-Verhältnis für die in den Varianten getätigten mineralischen Düngergaben an Stickstoff, Phosphor, Kalium sowie Magnesium und den entsprechenden Nährstoffentzügen durch die Ernte ab (Abb. 10 und 11, Anhang Tab. A12 und A13).

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

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

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

Deutlich zeichnet sich ab, dass Fruchtfolgesysteme mit Energiepflanzen zur Biogasproduktion über die Ganzpflanzenernte dem System Boden-Pflanze erhebliche Mengen an Stickstoff und Kalium entziehen. Nach dem in beiden Rotationen (Anlage 1 und 2) praktizierten mineralischen Düngerregime sind die Fruchtfolgen im Sinne eines Nährstoffausgleiches deutlich unterbilanziert. Bei Phosphor, Kalium und Magnesium ist in diesem Zusammenhang zu beachten, dass die Böden zu Beginn der Rotation die sehr hohe Versorgungstufe E in der Ackerkrume aufwiesen. Der hohe Entzug an P, K und Mg macht jedoch deutlich, dass mit Energiefruchtfolgen ein starker Abbauprozess über die Rotationen einhergeht, der eine sorgfältige Kontrolle und das rechtzeitige Einleiten von ausgleichenden Maßnahmen erfordert. Die Rückführung von Gärresten bietet sich hier für Energiefruchtfolgen zur Substratbereitstellung für Biogasanlagen an.

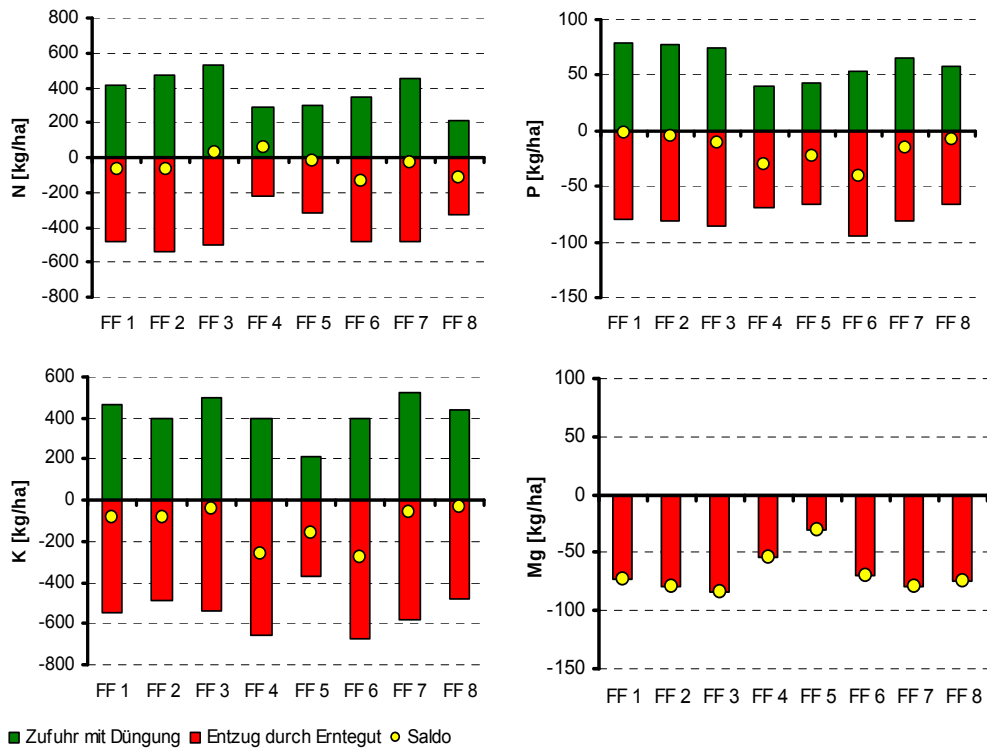


Abbildung 10: Nährstoffbilanzen für N, P, K und Mg im Fruchtfolgeversuch mit Energiepflanzen für die Biogasproduktion am Standort Trossin (Su3, Az 31), Anlage 1, 2005 – 2008

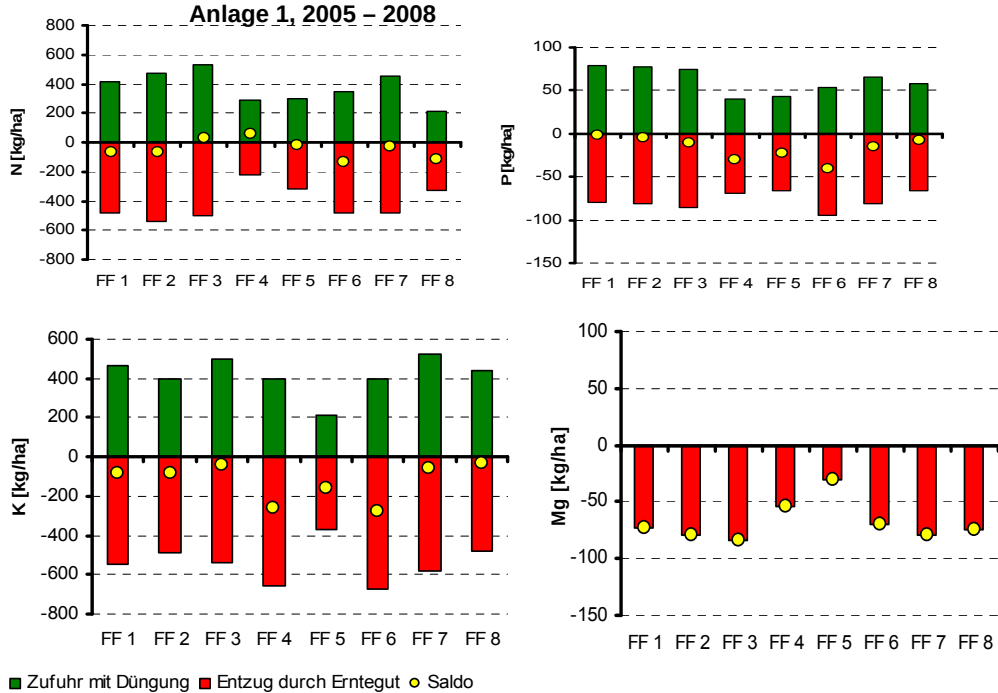


Abbildung 11: Nährstoffbilanzen für N, P, K und Mg im Fruchtfolgeversuch mit Energiepflanzen für die Biogasproduktion am Standort Trossin (Su3, Az 31), Anlage 2, 2006 - 2008

3.5 Humusbilanz

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

Wie die Ergebnisse in Anlage 1 zeigen, ergeben sich fruchtfolgeabhängig unterschiedliche Humussalden (Abb. 12, Anhang Tab. A16). So ist die Fruchtfolge 1 insgesamt mit -99 kg Humus-C/ha durch einen niedrigen Humussaldo (Gruppe B) geprägt, der nur mittelfristig auf humusreichen Böden tolerierbar ist (KÖRSCHENS, ROGASIK, SCHULZ 2004). Die hier anfallenden Gärrückstände vermögen bei gegebener Ertragslage 64 – 84 % der durch Mais, Sorghumhirse und Getreideganzpflanzen abgebauten Humus-C-Mengen zu ersetzen. Einen wichtigen Beitrag zur Verbesserung der negativen Bilanz leistet in diesem Anbausystem der Ölerrettich als Gründüngung.

In den Fruchtfolgen 2 und 3, die einen hohen kumulativen Trockenmasseertrag erzielen, fallen größere Mengen an Gärrückständen an. Sie führen bei der Mehrheit der angebauten Kulturen zu hohen bis sehr hohen Humussalden. Sie stellen Luxusbilanzen dar, die nur mittelfristig akzeptabel sind bzw. mit Salden >300 kg Humus-C ein erhöhtes Risiko für Stickstoffverluste und niedrige N-Effizienz in sich bergen. In diesen Fruchtfolgen müsste deshalb der hohe Gärresteinsatz zu Sudan-gras und Mais in der folgenden Rotation reduziert werden.

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

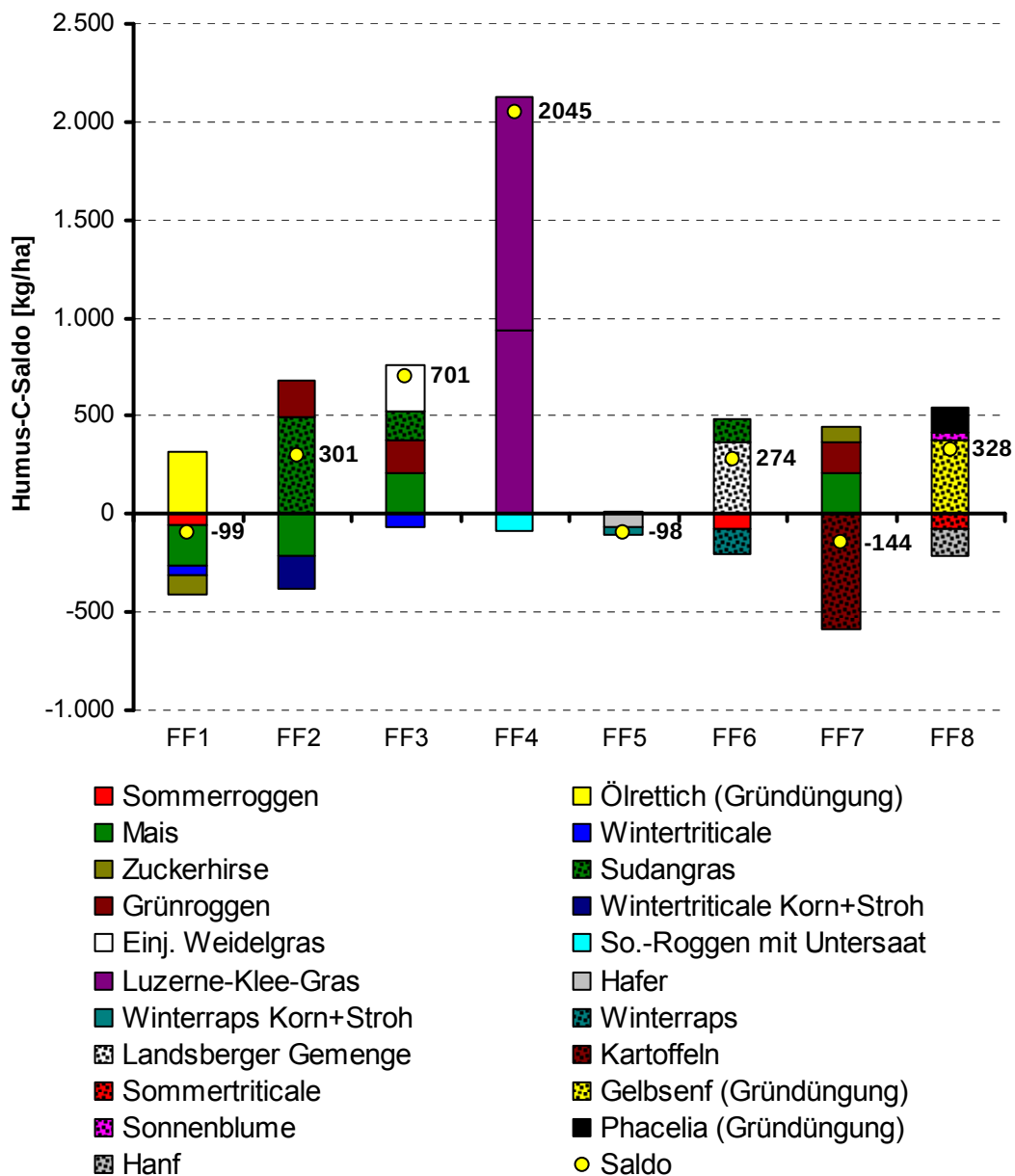


Abbildung 12: Humussaldo für die Varianten des Fruchtfolgeversuches Anlage 1, 2005 - 2008, ohne Abschlussglied Winterroggen, Standort Trossin (Su3, Az 31)

Bezogen auf die angebauten Energiepflanzen ist in Fruchtfolge 5 eine negative Humusbilanz zu verzeichnen. Hier ist zu beachten, dass in dieser Bilanz von den angebauten Marktfrüchten (Raps, Wintertriticale) nur das Rapsstroh als Humusquelle berücksichtigt wurde. Gleichwohl unterstreichen die Ergebnisse, dass in kombinierten Energie-/Marktfruchtfolgen das Stroh als Humus-C-Quelle im System verbleiben muss, um ausgeglichene Bilanzen zu gestalten. In den regionalspezifischen Fruchtfolgen 6 und 8 wurden positive Humussalden ermittelt, die vor allem dem Anbau von Landsberger Gemenge mit stark positivem Saldo (FF 6) und dem hohen Anteil Gründüngungspflanzen (FF 8) geschuldet sind. Die Integration der Kartoffel als Biogasrohstoff in die Fruchtfolge 7 baut den

Humusvorrat des Bodens stark ab (-760 kg Humus-C/ha). Mit dem Einbau der Kartoffel in die Fruchtfolge wird somit ein starker Humusbedarf ausgelöst. Trotz Rückführung der Gärreste kommt in der Fruchtfolge ein negativer Saldo von -144 kg Humus-C/ha zustande. Er verlangt einen höheren Gärresteaufwand (>20 t FM/ha) als im Fruchtfolgesystem unterstellt wurde.

Die humusbilanziellen Untersuchungen in der Spiegelvariante (Anlage 2) beziehen sich auf den Versuchszeitraum 2006 - 2008 (Abb. 13, Anhang Tab. A17). Wie in Anlage 1 konnte in den ertraglich sehr leistungsstarken Fruchtfolgen 2 und 3 durch die vergleichsweise hohen Gaben an Gärrückständen positive Humussalden (Versorgungsstufe E) bilanziert werden. In Fruchtfolge 1 ist ebenfalls, trotz des hohen Anteils an humuszehrenden Kulturen, über den hohen Gärresteinsatz ein optimaler Bilanzwert erreicht worden. Zu vergleichbaren Aussagen gelangen AMON, MACHMÜLLER und KRYVORUSCHKO (2007).

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

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

Die durchgeführten Humusbilanzen erlauben folgende zusammenfassende Aussagen:

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

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

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

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

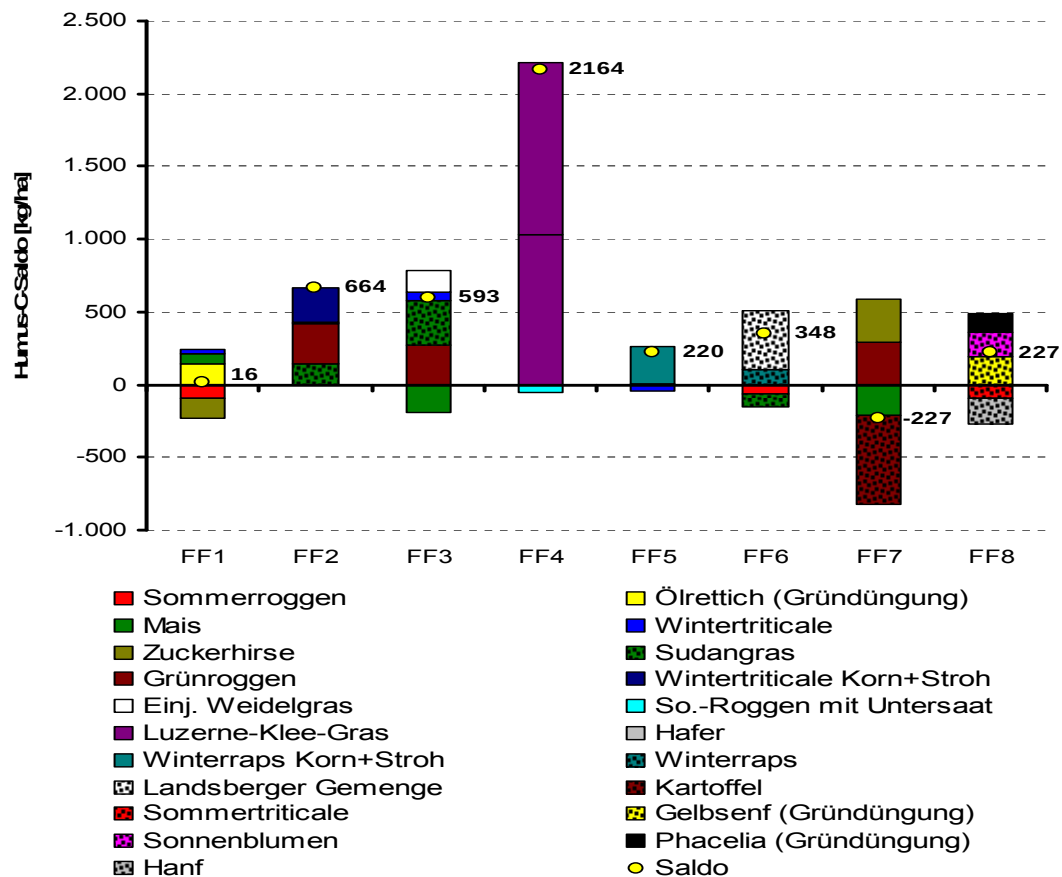


Abbildung 13: Humussaldo für die Fruchtfolgevarianten des Fruchtfolgeversuches Anlage 2, 2006 - 2008 (Fruchtfolgeglieder 2008, eig. Berechnung nach WILLMS), Standort Trossin (Su3, Az 31)

3.6 Theoretische Biogas- und Methanausbeute

Für die Energiefruchtfolgen Anlage 1 und 2 wurde auf Basis der Daten der WEENDER-Analyse der theoretische Biogas- und Methanertrag je Kilogramm organischer Trockensubstanz (oTS) und Hektar berechnet (Abb. 14 bis 17, Anhang Tab. A14 und A15).

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

Über einen sehr hohen Anteil leicht vergärbare Substanzen (80 % N-freie Extraktstoffe, NfE) verfügt die Kartoffelknolle. Ihre spezifische Gas- und Methanausbeute je Kilogramm oTS fällt von den untersuchten Fruchtarten in den geprüften Anbausystemen am höchsten aus. Im Mittel erreicht sie Erträge von 0,781 m³ Biogas/kg oTS mit einem hohen Anteil an wertbestimmendem Methan (CH₄) von 0,418 m³ CH₄/kg oTS. Auch der Futterroggen verfügt über ein hohes Gas- und Methanbildungsvermögen, das im Mittel der Untersuchungen 0,609 m³ Biogas bzw. 0,341 m³ Methan/kg oTS beträgt. Bei mittleren Gehalten an N-freien Extraktstoffen (45 %) bedingen hier die vergleichsweise hohen Rohproteingehalte von 18 % eine höhere spezifische Gasausbeute.

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

Eine mittlere spezifische Leistung bedingt die biochemische Zusammensetzung des Luzerne-Klee-grases (0,473 m³ Biogas bzw. 0,274 m³ CH₄/kg oTS). Sie ist stark schnittabhängig. Bei späten Schnitten enthält das Luzerne-Klee gras geringe Gehalte (40 %) an NfE.

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

Insgesamt bestätigen die Berechnungen im Wesentlichen die in den Richtwerten zum Ausdruck kommende fruchtartenspezifische Rangfolge des spezifische Biogaspotenzials (SCHATTAUER, WIELAND 2006; AMON, MACHMÜLLER, KRYVORUSCHKO 2007; DÖHLER, NIEBAUM 2007; AMON et al. 2006). In

der absoluten Größenordnung bewegen sich die spezifischen Gaserträge teilweise im unteren Bereich der Richtwerte.

Für die Energiegewinnung ist der Flächenenertrag an Biogas, vor allem Methan, zu beurteilen. Er ist das Produkt aus der spezifischen Biogas-/Methanleistung und dem Trockenmasseertrag je Hektar. Anhand dieser Kennziffer wird der kumulative Biogas- und Methanertrag der Fruchtfolgesysteme untersucht. Wie aus den Berechnungen hervorgeht, korrespondieren die erreichten Biogas- und Methanleistungen in starkem Maße mit den jeweiligen Trockenmasseerträgen der Fruchtfolgevarianten (Abb. 14 bis 17).

Danach erreichten die in der Trockenmasseproduktion leistungsstärksten Fruchtfolgen 3 und 7 (Anlage 1) auch die höchsten kumulativen Biogas- und Methanerträge (Abb. 14 und 15). Die kumulative Leistung dieser Systeme liegt in der Größenordnung von ca. 21.000 m³ Biogas/ha bzw. 12.000 m³ Methan/ha. Wesentlich wird diese Fruchtfolgeleistung durch den Maisanbau bestimmt.

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

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

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

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

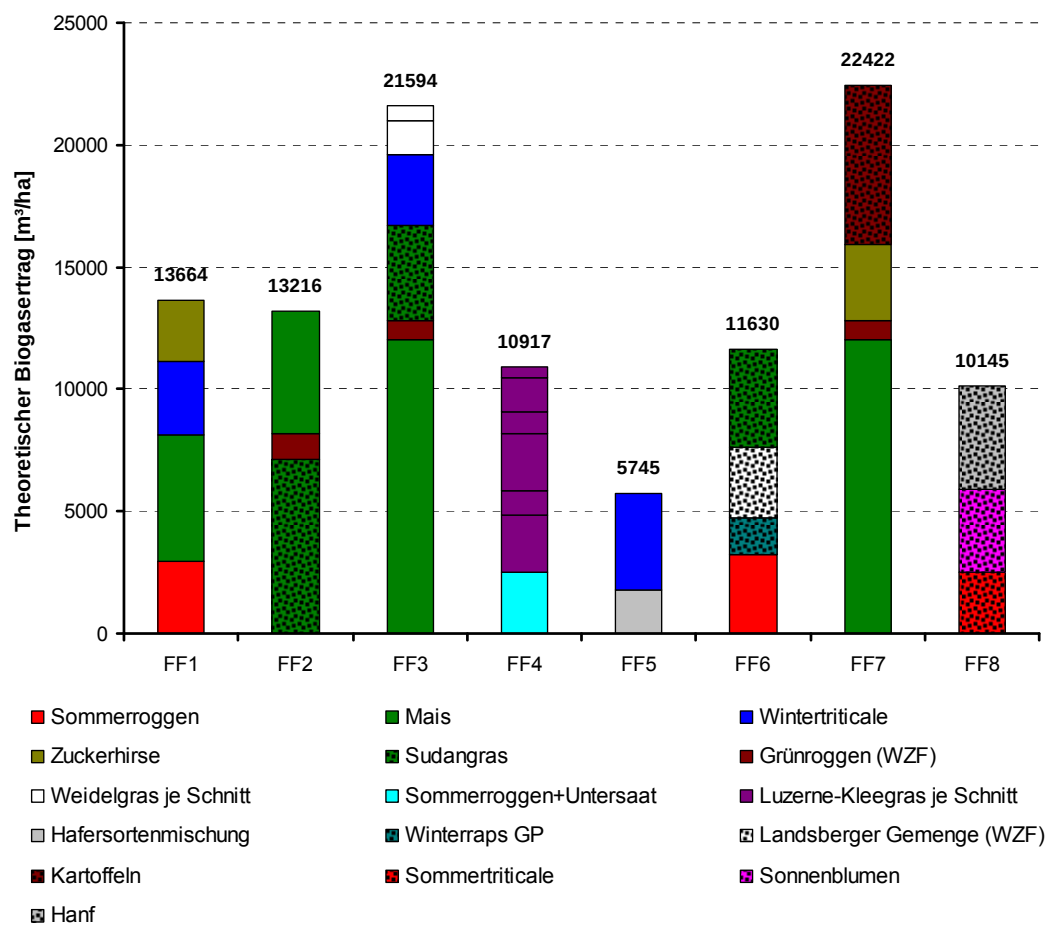


Abbildung 14: Theoretische Biogaserträge im Fruchtfolgeversuch mit Energiepflanzen zur Biogasproduktion am Standort Trossin (Su3, Az 31), Anlage 1, 2005 - 2007

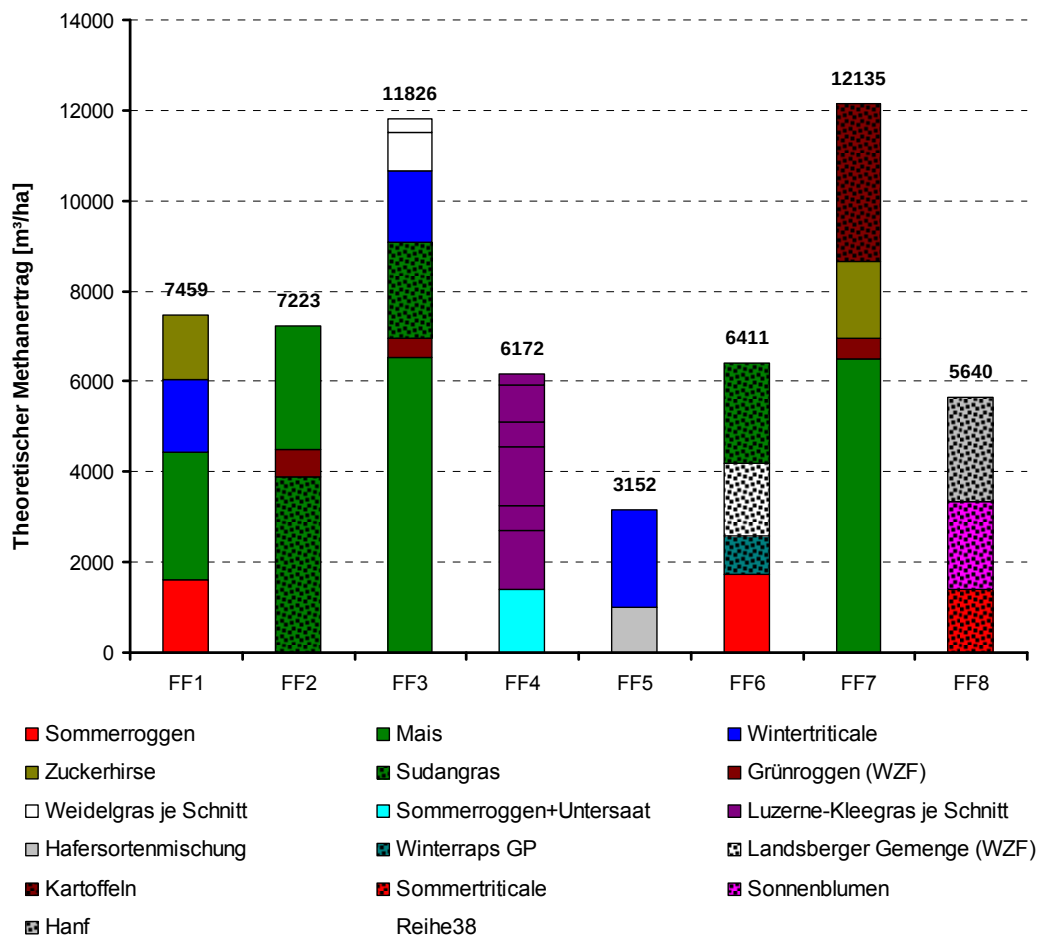


Abbildung 15: Theoretische Methanerträge im Fruchtfolgeversuch mit Energiepflanzen zur Biogasproduktion am Standort Trossin (Su3, Az 31), Anlage 1, 2005 - 2007

Die hohe Ertragsleistung derartiger Anbausysteme konnte auch in der Spiegelvariante des Fruchtfolgeversuches (Anlage 2) bestätigt werden (Abb. 16 und 17).

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

Die Fruchtfolgen 2 (Mais/Sorghumhirse/Marktf Frucht), 4 (Luzerne-Kleegras) und 6 (GP-Getreide/GP-Raps/Ackergras/Sorghumhirse) ordnen sich, wie in Anlage 1, in den mittleren Leistungsbereich mit ca. 13.320 m³ Biogas (7.400 m³ Methan) ein. Auf einem geringeren Niveau siedelt sich das Leistungspotenzial der Fruchtfolge 8 (5.600 m³ Methan) an, die durch einen höheren Anteil Gründüngungspflanzen gekennzeichnet ist. Ebenso wird deutlich, dass die zu 50 % marktf Fruchtbasierte Fruchtfolge 5 nur ein Potenzial von 6.000 m³ Biogas bzw. 3.200 m³ Methan aufweist. Die Ergebnisse der Fruchtfolge 5 bestätigen auch in der Spiegelvariante, dass bei ausschließlicher Integration

von Getreideganzpflanzen (Hafer, Wintertriticale) nur geringe Biogas- und Methanerträge in einer Marktfruchtfolge erreichbar sind.

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

Das errechnete Methanpotenzial dieser Fruchtfolgen schwankt in Abhängigkeit von den Witterungsverhältnissen, der spezifischen Gasausbeute und dem Ertragsniveau der Fruchtfolgeglieder zwischen 9.500 und 12.600 m³/ha. Im Wesentlichen wird dieses Leistungsvermögen durch folgende Fruchtfolgeglieder bestimmt: Mais 4.400 m³ Methan/ha (± 1.683 m³ CH₄/ha), Kartoffel 3.070 m³ Methan/ha (± 419 m³ CH₄/ha), Sudangras/Zuckerhirse 2.020 m³ Methan/ha (± 703 m³ CH₄/ha) und Getreideganzpflanzen 1.960 m³ Methan/ha (± 419 m³ CH₄/ha) (Tab. A14 und A15). Im Fazit der Untersuchungen können für die leichten Standorte des mitteldeutschen Trockengebietes diese stark auf leistungsfähige Energiepflanzen ausgerichteten Fruchtfolgen empfohlen werden.

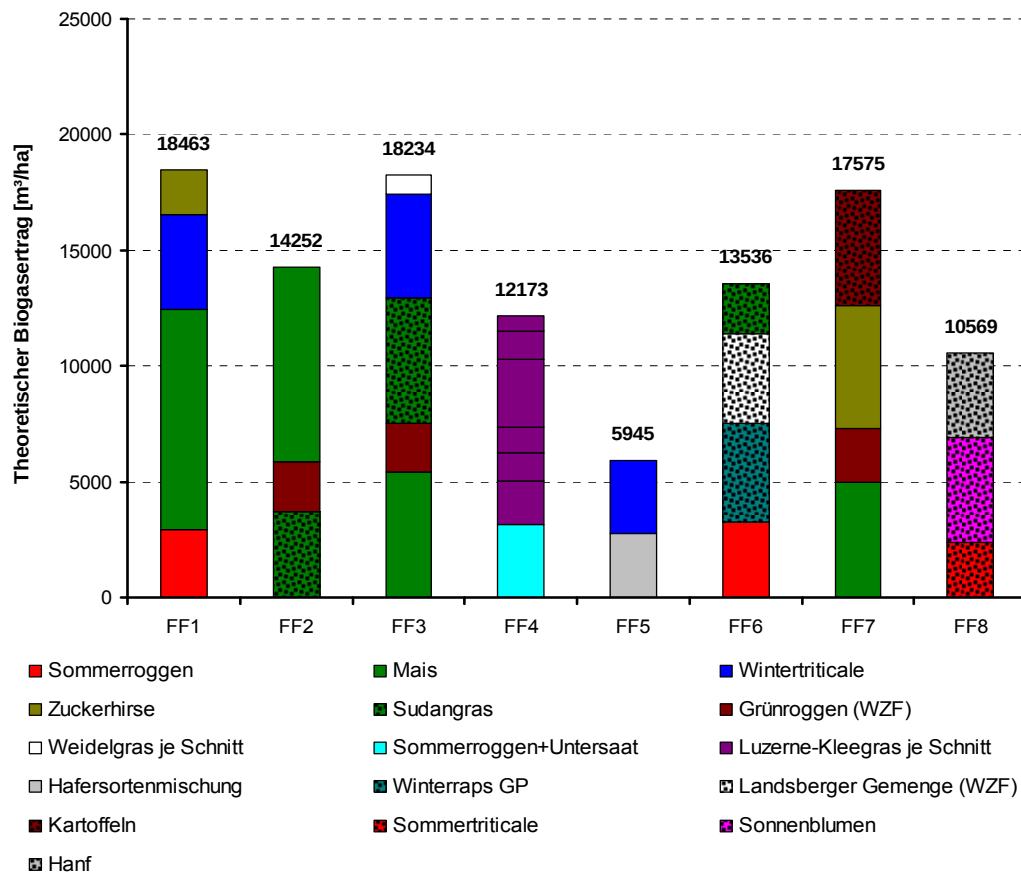


Abbildung 16: Theoretische Biogaserträge im Fruchtfolgeversuch mit Energiepflanzen zur Biogasproduktion am Standort Trossin (Su3, Az 31), Anlage 2, 2006 - 2008

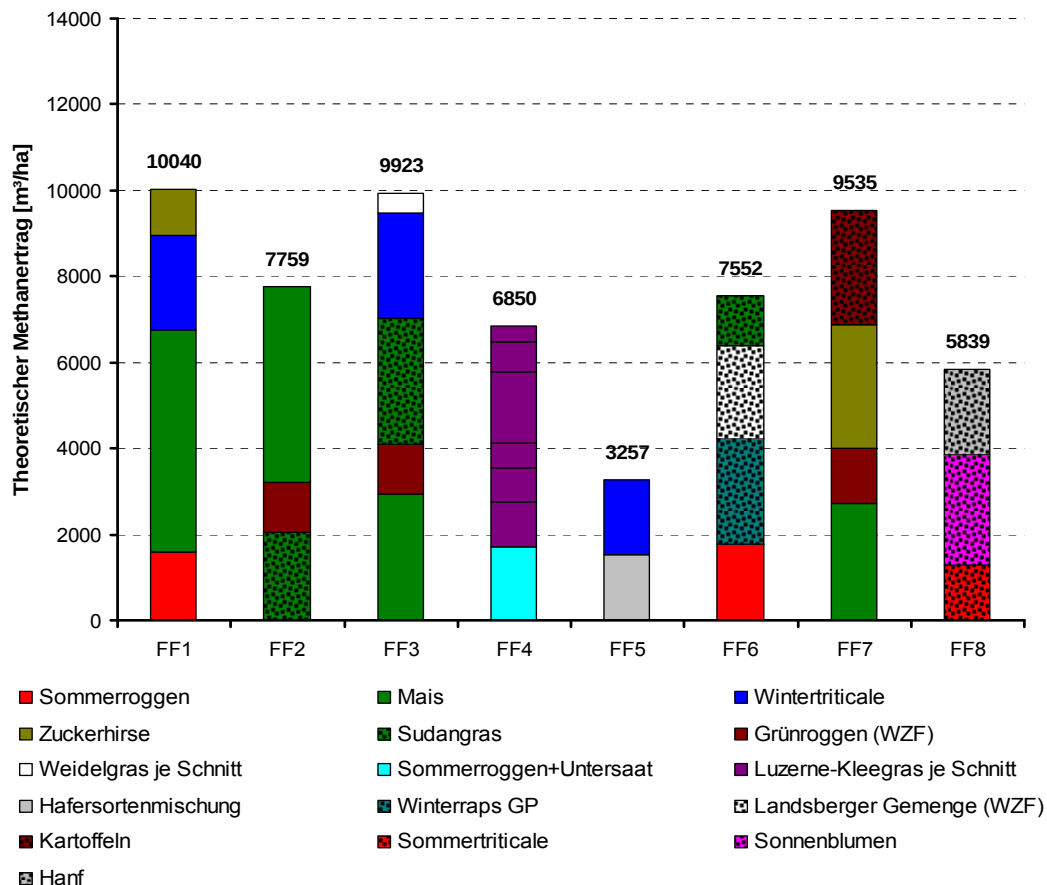


Abbildung 17: Theoretische Methanerträge im Fruchtfolgeversuch mit Energiepflanzen zur Biogasproduktion am Standort Trossin (Su3, Az 31), Anlage 2, 2006 - 2008

3.7 Ökonomische Bewertung

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

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

In der Deckungsbeitragsanalyse (DBI) wird ersichtlich, dass von den angebauten Fruchtarten der Mais den höchsten Deckungsbeitrag realisiert (Tab. 8 und 9). Ein mehrheitlich positiver Deckungs-

beitrag geht auch von den Getreideganzpflanzen aus. Die wirtschaftliche Leistung der Sorghumhirsen weist sowohl positive als auch leicht negative Deckungsbeiträge auf. Danach bewegt sich der Sudangrasanbau in der wirtschaftlich positiven Zone, wenn Erträge >10 t TM/ha erreicht werden (Tab. 8 und 9).

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

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

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

Die für die einzelnen Fruchtarten ermittelten direkten Produktionskosten erlauben auch eine überschlägige Kalkulation der produktionsspezifischen Kosten (ohne fixe Kostenanteile) (Anhang Tab. A18 und A19). Sie zeigen eine deutliche, fruchtartenspezifische Differenzierung. Mit vergleichsweise niedrigen Kosten werden danach Mais und Sorghumhirse (15 - 20 €/t FM) als Biogassubstrat bereitgestellt (SCHINDLER 2005). Für Getreideganzpflanzen belegen die Untersuchungen deutlich höhere Produktionskosten von 30 - 37 €/t FM je nach erzieltm Ertragsniveau. Ebenso ist der Winterzwischenfruchtanbau (Grünroggen) mit vergleichsweise hohen Stückkosten (40 - 50 €/t FM) belastet. Die Kosten für die Bereitstellung von Kartoffeln (62 - 64 €/t FM) korrespondieren gut mit Angaben von KEYMER und REINHOLD (2005).

Die Kosten für Luzerne-Kleegras, Weidelgras und Landsberger Gemenge schwanken stark in Abhängigkeit vom Ertrag je Schnitt. Im Mittel ist hier von Kosten in einer Größenordnung von 25 €/t

FM auszugehen. Eine kostengünstige Substratbereitstellung ist übereinstimmend mit Berechnungen von SCHINDLER (2005) durch die Sonnenblume zu verzeichnen.

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

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

FF	Ernte-jahr	Art	Ertrag dt/ha	Methan m ³ /ha	Erlös €/ha	Saatgut- kosten €/ha	Dünger- kosten €/ha	PSM €/ha	ArEr- Kosten €/ha	Deckungs beitrag €/ha
1	2005	So.Roggen	59	1588	476	49	44	55	438	-110
1	2005	Ölrettich	29			44		9	63	-116
1	2006	Mais	102	2881	864	136	80	26	532	91
1	2007	Wi.Triticale	60	1624	487	71	50	38	373	-45
1	2007	Zu.Hirse	50	1327	398	13	61	17	471	-164
1	2008	Wi.Roggen	53		724	34	128	95	330	137
Gesamt:										-207
2	2005	Sudangras	168	3920	1176	34	147	97	865	33
2	2006	Grünroggen	19	571	171	55	23		394	-300
2	2006	Mais	99	2795	839	136	77	26	535	65
2	2007	Wi.Triticale	32		451	71	89	38	197	56
2	2008	Wi.Roggen	56		763	34	135	95	332	168
Gesamt:										22
3	2005	Mais	231	6528	1958	136	180	131	975	536
3	2006	Grünroggen	14	425	128	55	17		371	-315
3	2006	Sudangras	92	2185	655	39	79	17	496	24
3	2007	Wi.Triticale	58	1581	474	71	49	38	369	-52
3	2007	Weidelgras	31	837	251	161	46		343	-299
3	2008	Wi.Roggen	55		751	34	133	95	331	158
Gesamt:										52
4	2005	So.Roggen mit Untersaat	46	1256	377	39	35	55	438	-190
4	2006	LuzKleeGr	68	1717	515	90	24	57	491	-146
4	2007	LuzKleeGr	116	2906	872		54	9	806	3
4	2008	Wi.Roggen	54		730	34	129	95	330	142
Gesamt:										-191
5	2005	Hafer	43	1056	317	45	40	72	428	-268
5	2006	Wi.Triticale	79	2149	645	51	66		439	88
5	2007	Wi.Raps	27		769	46	141	293	210	81
5	2008	Wi.Roggen	57		776	34	137	147	343	114
Gesamt:										15
6	2005	So.Roggen	61	1660	498	49	46	55	443	-96
6	2006	Wi.Raps	34	887	266	86	38	119	464	-441
6	2007	LaBeGe	54	1463	439	169	91		305	-126
6	2007	Sudangras	85	2016	605	78	73	34	677	-258
6	2008	Wi.Roggen	57		773	34	136	95	332	175
Gesamt:										-746
7	2005	Mais	227	6435	1931	136	178	131	968	518
7	2006	Grünroggen	14	421	126	55	17		369	-314
7	2006	Zu.Hirse	81	1901	570	7	56	17	479	10
7	2007	Kartoffel	83	2973	892	1725	53	99	952	-1938
7	2008	Wi.Roggen	58		782	34	138	95	333	182
Gesamt:										-1542
8	2005	So.Triticale	52	1395	419	55	52	143	446	-278
8	2005	Gelbsenf	37			39		9	63	-111
8	2006	Sonnenblume	74	1883	565	108	83	86	551	-263
8	2006	Phacelia				88			52	-140
8	2007	Hanf	111	2543	763	124	83		586	-30
8	2008	Wi.Roggen	56		763	34	135	95	332	168
Gesamt:										-554

PSM - Pflanzenschutzmittel, ArErKosten - Arbeitserledigungskosten

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

F	Ernte- F	Art	Ertrag	Me- than	Erlös	Saat- gut kosten	Dün- ger- kosten	PSM	ArEr- Kosten	Dek- kungs- beitrag
	jahr		dt/ha	m ³ /ha	€/ha	€/ha	€/ha	€/ha	€/ha	€/ha
1	2006	So.Roggen	56	1528	458	49	43	10	391	-35
1	2006	Ölrettich	8			44	0		73	-117
1	2007	Mais	185	5237	1571	136	145	52	856	383
1	2008	Wi.Triticale	82	2219	666	68	69	79	412	37
1	2008	Zu.Hirse	39	1029	309	13	47	17	462	-230
Gesamt:										38
2	2006	Sudangras	89	2080	624	39	78	17	546	-56
2	2007	Grünroggen	37	1119	363	55	45	35	381	-179
2	2007	Mais	164	4649	1395	136	128		791	339
2	2008	Wi.Triticale	42		598	68	118	95	231	86
Gesamt:										190
3	2006	Mais	106	2993	898	136	83	26	591	62
3	2007	Grünroggen	37	1106	332	55	44	35	380	-181
3	2007	Sudangras	127	3011	903	39	109	17	623	115
3	2008	Wi.Triticale	91	2449	735	68	76	79	433	79
3	2008	Weidelgras	15	391	117	140	21	17	217	-278
Gesamt:										-203
4	2006	So.Roggen mit Untersaat	61	1661	498	42	46	10	397	3
4	2007	LuzKleeGr	84	2121	636	90	39	9	619	-119
4	2008	LuzKleeGr	98	2462	739		38		597	103
Gesamt:										-13
5	2006	Hafer	63	1549	465	49	58	26	424	-89
5	2007	Wi.Triticale	64	1743	523	55	54	85	417	-25
5	2008	Wi.Raps	38		1107	50	202	225	264	365
Gesamt:										251
6	2006	So.Roggen	63	1712	514	49	48	10	401	6
6	2007	Wi.Raps	90	2375	712	50	102	289	647	-375
6	2008	LaBeGe	64	1743	523	159	108		485	-229
6	2008	Sudangras	46	1089	327	76	39	81	581	-451
Gesamt:										-1049
7	2006	Mais	98	2782	835	136	77	26	591	6
7	2007	Grünroggen	41	1231	369	55	49	35	391	-160
7	2007	Zu.Hirse	125	2954	886	7	88	17	662	112
7	2008	Kartoffel	76	2716	815	1725	49	178	959	-2096
Gesamt:										-2138
8	2006	So.Triticale	48	1300	390	55	49	41	404	-159
8	2006	Gelbsenf	14			39	0		73	-112
8	2007	Sonnenblume	101	2568	770	108	113	126	728	-304
8	2007	Phacelia				92	0		73	-165
8	2008	Hanf	75	1711	513	120	56		482	-145
Gesamt:										-885

PSM - Pflanzenschutzmittel, ArErKosten - Arbeitserledigungskosten

3.8 Anbauempfehlungen für die Region

Die Untersuchungen zum Energiepflanzenanbau in speziellen Fruchtfolgen liefern den Nachweis, dass sich auf leichten Böden in niederschlagsarmen Regionen Mitteldeutschlands standortbezogen hohe Erträge unter Beachtung ökologischer und ökonomischer Erfordernisse realisieren lassen. Im Ergebnis der Prüfungen wird empfohlen, den Anbau in fünfgliedrigen Fruchtfolgen vorzunehmen. Als ertragsstarke und ertragsstabile Energiepflanzen haben sich dabei Energiemais, Sudangras, Zuckerhirse und Kartoffeln bewährt. Sie sollten zu 30 bis maximal 60 % in der Fruchtfolge berücksichtigt werden. Von ökologischem (Humushaushalt) und ökonomischem Vorteil ist dabei der Aufbau von Fruchtfolgesystemen, die sowohl leistungsstarke Energiepflanzen als auch Nahrungspflanzen enthalten.

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

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

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

Die Luzerne-Klee gras geprägte Fruchtfolge weist durch die mehrschnittige Nutzung hohe Kosten und einen vergleichsweise geringen Gewinn je Flächeneinheit auf. In dieser Bewertung sind allerdings Fruchtfolgevorteile wie Düngerersparnis und Vorfruchteffekte nicht berücksichtigt. Die Eingliederung von Luzerne-Klee gras bietet Vorteile für den Nährstoff- und Humushaushalt leichter, diluvialer Böden. Günstig ist dabei eine zweijährige Nutzung. Allerdings zeigen die Erträge eine starke Schwankungsbreite in Abhängigkeit von den jährlichen Aufwuchsbedingungen (70 dt TM/ha bei

zwei Schnitten, 130 dt TM/ha bei vier Schnitten). Der Anbau ist besonders auf Standorten zu empfehlen, die in der Humusbilanz sehr niedrige Humussalden aufweisen.

Um Gärsubstrate mit guter Qualität in Bezug auf Abbaubar- und Silierbarkeit zu erhalten, sollten Trockensubstanzgehalte von 28 bis 35 % im Erntegut angestrebt werden. Aus diesem Grund ist die Bestimmung des Trockensubstanzgehaltes in verschiedenen Entwicklungsstadien der Kulturpflanzen erforderlich, um den optimalen Erntezeitpunkt festsetzen zu können.

Die berechneten Humus- und Nährstoffbilanzen belegen, dass durch den Energiepflanzenanbau ein starker Abbau der bodenfruchtbarkeitsbestimmenden Parameter (Humus-C, N, P, K und Mg) stattfindet. Zum notwendigen Ausgleich sind anhand der Untersuchungen komplexe Maßnahmen in den Fruchtfolgen zu empfehlen:

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

4 Zusammenfassung

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

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

Im Ergebnis der Untersuchungen ist festzustellen, dass unter diesen Standortbedingungen die leistungsfähigsten Fruchtfolgevarianten kumulative Trockenmasseerträge von 370 bis zu 430 dt TM/ha erreichten. Über diese Anbausysteme sind theoretische Methanleistungen von insgesamt 12.000 m³ Methan/ha möglich.

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

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

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

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

Die Trockensubstanzgehalte zum Zeitpunkt der Ernte differierten bei den untersuchten Kulturarten stark (Mittelwert von 18 - 45 % TS), wobei in vielen Fällen das Entwicklungsstadium der Pflanze eine bedeutende Rolle spielte.

Auf den Ertrag der Abschlusskultur Winterroggen hatte der Energiepflanzenanbau keinen signifikanten Einfluss ausgeübt. Es konnte in allen Fruchtfolgevarianten ein regionaltypisches Ertragsniveau von 48 dt TM absolut/ha Korn und 50 dt TM absolut/ha Stroh erzielt werden. Von der Luzerne-Kleegrasgeprägten Fruchtfolge ging dabei keine signifikant bessere Vorfruchtwirkung als von den anderen Varianten aus. Hier sind die Langzeiteffekte zu prüfen.

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

Die Wirtschaftlichkeit der Fruchtfolgeglieder basiert auf der Gegenüberstellung der Methanleistung je Hektar ($30 \text{ cent/m}^3 \text{ CH}_4$) und den anfallenden direkten Kosten des Anbaus, der Silierung, des Transportes einschließlich der Gärrestelagerung und -ausbringung. Hier sichert die marktf Fruchtfolge 5 (50 % Marktfruchtanteil) bei einem Marktpreisniveau der letzten Jahre (2005 - 2008) einen hohen positiven Gesamtdeckungsbeitrag.

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

5 Literaturverzeichnis

- ALBERT, E. et al. (2007): Umsetzung der Düngeverordnung, Hinweise und Richtwerte für die Praxis. Freistaat Sachsen, Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft
- AMON, TH. et al. (2006): Optimierung der Methanerzeugung aus Energiepflanzen mit dem Methan-energiewertsystem. Berichte aus der Energie- und Umweltforschung, 80/2006
- AMON, TH., MACHMÜLLER A., KRYVORUSCHKO V. (2007): Optimierung der Methanausbeute aus Zuckerrüben, Silomais, Körnermais, Sonnenblumen, Ackerfutter, Getreide, Wirtschaftsdünger und Rohglycerin unter den Standortbedingungen der Steiermark. Forschungsprojekt Nr. 1421, Endbericht 31. März 2007, Universität für Bodenkultur, Wien
- DÖHLER, H., NIEBAUM, A. et al. (2007): Faustzahlen Biogas. Hrsg.: Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V. (KTBL), Darmstadt
Fachagentur für nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR), Gülzow
- ERZEUGERPREISE DES STATISTISCHEN JAHRBUCHES, BMELV, 2007
- KARPENSTEIN-MACHAN, M. (2005): Energiepflanzenbau für Biogasanlagenbetreiber. DLG-Verlag, Frankfurt/Main
- KEYMER, U., REINHOLD, G. (2005): Bereitstellungskosten von Kofermenten. In: Handreichung Biogasgewinnung und -nutzung, Hrsg.: Fachagentur für nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR), Gülzow
- KÖRSCHENS, M., ROGASIK, J., SCHULZ, E. et al. (2004): Humusbilanzierung, Methode zur Beurteilung und Bemessung der Humusversorgung von Ackerland. Verband Deutscher landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten (VDLUFA)
- KTBL (2008): Betriebsplanung 2008/09
- MATTHES, I. (2006): Abschlussbericht: Langzeituntersuchungen (ab 1991) zur Qualität der in der Thüringer Tierproduktion eingesetzten Futtermittel, Teilbericht Ergebnisse des Silagemonitorings 2005 (Silagen aus der Ernte 2004). Themenblatt-Nr. 46.08/2005, Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft
- PEYKER, W., DEGNER, J., ZORN, W., FARAK, M. (2005): Leitlinie zur effizienten und umweltverträglichen Erzeugung von Getreideganzpflanzen zur Silierung. Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft
- RÖHRICHT, C. (2008): Untersuchungen zum Anbau von Energiefruchtfolgen und Sorghumhirse für die Biogasproduktion auf leichten Standorten. Fachveranstaltung zum Energiepflanzenanbau am 01.09.2008 in Trossin, Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie, www.smul.sachsen.de/lfulg/8499.htm
- RÖHRICHT, C., FREYDANK, S. (2008): Vergleich von Fruchtarten und Fruchtfolgen in Trossin (Roggen-Kartoffel-Region). In: Vetter et al. (2008): Standortangepasste Anbausysteme für Energiepflanzen, Erste Ergebnisse des Verbundprojektes "Entwicklung und Vergleich von optimierten Anbausystemen für die landwirtschaftliche Produktion von Energiepflanzen unter den verschiedenen Standortbedingungen Deutschlands". Hrsg.: Fachagentur für nachwachsende Rohstoffe e.V. Gülzow
- RÖHRICHT, C., SCHRÖDER, S., FREYDANK, S. (2008): Ergebnisse sächsischer Energiefruchtfolgeversuche aus der Dübener Heide. Bauernzeitung, Heft 25, 20. Juni 2008

- RÖHRICHT, C., ZANDER, D. (2008): Anbau und Nutzung von Energiehirse. Schriftenreihe der Sächsischen Landesanstalt für Landwirtschaft, Heft 2
- SCHATTAUER, A., WEILAND, P. (2006): Grundlagen der anaeroben Fermentation. In: Handreichung Biogasgewinnung und -nutzung, Hrsg.: Fachagentur für nachwachsende Rohstoffe e.V. Gülzow
- SCHINDLER, M. (2005): Wirtschaftlichkeit des Anbaus. In: Karpenstein-Machan, M.: Energiepflanzenanbau für Biogasanlagenbetreiber. DLG-Verlag, Frankfurt/Main
- TOEWS, T. (2008): Internes Arbeitspapier zu Zwischenergebnissen des ökonomischen Teilprojektes, Arbeitsmaterial 2008
- WILLMS, M. (2008): Internes Arbeitspapier zur Humusbilanz in Energiefruchtfolgen, Arbeitsmaterial 2008

6 Anhang

Tabelle A 1: Düngeraufwand (N, P, K) im Fruchtfolgeversuch mit Energiepflanzen zur Biogasgewinnung am Standort Trossin (Su3, Az 31)

Jahr	Anlage	Fruchtfolge	Pflanzenart	N-Gesamt kg N/ha	P-Gesamt kg P/ha	K-Gesamt kg K/ha
2005	1	1	Sommerroggen	85	0	0
	1	1	Ölrettich	-	0	0
	1	2	Sudangras	100	0	0
	1	3	Mais	120	0	0
	1	4	Sommerroggen mit US Luzerne-Klee gras	110	0	0
	1	5	Hafer	85	0	0
	1	6	Sommerroggen	85	0	0
	1	7	Mais	120	0	0
	1	8	Sommertriticale	85	0	0
	1	8	Gelbsenf	-	0	0
2006	1	1	Mais	140	0	0
	1	2	Grünroggen	80	0	0
	1	2	Mais	140	0	0
	1	3	Grünroggen	80	0	0
	1	3	Sudangras	100	0	0
	1	4	Luzerne-Klee gras	95	0	0
	1	5	Wintertriticale	80	0	0
	1	6	Sommerraps	75	0	0
	1	7	Grünroggen	85	0	0
	1	7	Zuckerhirse	100	0	0
	1	8	Sonnenblume	60	0	0
	1	8	Phacelia	-	0	0
	2	1	Sommerroggen	65	0	0
	2	1	Ölrettich	-	0	0
	2	2	Sudangras	100	0	0
	2	3	Mais	140	0	0
	2	4	Sommerroggen mit US Luzerne-Klee gras	65	0	0
	2	5	Hafer	70	0	0
	2	6	Sommerroggen	65	0	0
	2	7	Mais	140	0	0
	2	8	Sommertriticale	55	0	0
	2	8	Gelbsenf	-	0	0
2007	1	1	Wintertriticale	120	21	132
	1	1	Zuckerhirse	70	26	202
	1	2	Wintertriticale (Korn+Stroh)	100	29	154
	1	3	Wintertriticale	120	21	132
	1	3	Einjähriges Weidelgras	80	11	81
	1	4	Luzerne-Klee gras	125	20	234
	1	5	Winterraps (Korn+Stroh)	120	22	114
	1	6	Landsberger Gemenge	90	13	180
	1	6	Sudangras	120	19	142
	1	7	Kartoffel	90	24	241
	1	8	Hanf	80	35	209
	2	1	Mais	160	30	195

Fortsetzung Tabelle A 1

Jahr	An- lage	Frucht- folge	Pflanzenart	N- Gesamt kg N/ha	P-Gesamt kg P/ha	K-Gesamt kg K/ha
2008	2	2	Grünroggen	100	21	97
	2	2	Mais	160	35	185
	2	3	Grünroggen	100	21	132
	2	3	Sudangras	130	19	142
	2	4	Luzerne-Kleegras	125	20	199
	2	5	Wintertriticale	120	21	97
	2	6	Winterraps	120	22	114
	2	7	Grünroggen	100	21	97
	2	7	Zuckerhirse	120	29	221
	2	8	Sonnenblume	90	23	199
	2	8	Phacelia	-	-	32
	1	1	Winterroggen (Korn+Stroh)	120	24	140
	1	2	Winterroggen (Korn+Stroh)	120	24	140
	1	3	Winterroggen (Korn+Stroh)	120	24	140
	1	4	Winterroggen (Korn+Stroh)	120	24	140
	1	5	Winterroggen (Korn+Stroh)	120	24	140
	1	6	Winterroggen (Korn+Stroh)	120	23	175
	1	7	Winterroggen (Korn+Stroh)	120	35	175
	1	8	Winterroggen (Korn+Stroh)	120	24	140
	2	1	Wintertriticale	120	32	139
	2	1	Zuckerhirse	70	17	129
	2	2	Wintertriticale (Korn+Stroh)	110	21	119
	2	3	Wintertriticale	120	24	144
	2	3	Einjähriges Weidelgras	40	11	81
	2	4	Luzerne-Kleegras	95	20	199
	2	5	Winterraps (Korn+Stroh)	110	22	114
	2	6	Landsberger Gemenge	90	13	145
	2	6	Sudangras	70	19	142
	2	7	Kartoffel	90	16	206
	2	8	Hanf	70	35	209

US = Untersaat

Tabelle A 2: Durchgeführte Pflanzenschutzmaßnahmen im Fruchtfolgeversuch mit Energiepflanzen zur Biogasgewinnung am Standort Trossin (Su3, Az 31)

Jahr	Anlage	Fruchtfolge	Pflanzenart	Datum, Mittel, Aufwandmenge
2005	1	1	Sommerroggen	21.03.05 Gramoxone Extra 4l, 19.05.05 U 46 Combi M-Fluid 1,5l
	1	1	Ölrettich	26.08.05 Karate mit Zeon Technologie 0,075l
	1	2	Sudangras	21.03.05 Gramoxone Extra 4l, 25.05.05 Artett 3l
	1	3	Mais	21.03.05 Gramoxone Extra 4l, 26.05.05 Artett 5l
	1	4	Sommerroggen mit US Luzerne-Kleegras	21.03.05 Gramoxone Extra 4l, 19.05.05 U 46 Combi M-Fluid 1,5l, 20.07.2005 Round up 4l, 26.08.05 Karate mit Zeon Technologie 0,075l
	1	5	Hafer	21.03.05 Gramoxone Extra 4l, 19.05.05 Lexus 0,02kg
	1	6	Sommerroggen	21.03.05 Gramoxone Extra 4l, 19.05.05 U 46 Combi M-Fluid 1,5l
	1	7	Mais	21.03.05 Gramoxone Extra 4l, 26.05.05 Artett 5l
	1	8	Sommertriticale	21.03.05 Gramoxone Extra 4l, 19.05.05 U 46 Combi M-Fluid 1,5l, 24.06.05 Opera 1,75l
	1	8	Gelbsenf	26.08.05 Karate mit Zeon Technologie 0,075l
2006	1	1	Mais	02.06.06 Certrol B 1,5l
	1	2	Grünroggen	-
	1	2	Mais	02.06.06 Certrol B 1,5l
	1	3	Grünroggen	-
	1	3	Sudangras	02.06.06 Certrol B 1l
	1	4	Luzerne-Kleegras	-
	1	5	Wintertriticale	-
	1	6	Sommerraps	Winterrapssaat von 08/05 ausgewintert, 13.04.06 Schneckenkorn, 27.06.06 Karate mit Zeon Technologie 0,075l
	1	7	Grünroggen	-
	1	7	Zuckerhirse	02.06.06 Certrol B 1l
	1	8	Sonnenblume	24.04.06 Stomp SC 2,5l, Boxer 2,5l, Schneckenkorn
	1	8	Phacelia	-
	2	1	Sommerroggen	11.05.06 U 46 Combi M-Fluid 1,5l
	2	1	Ölrettich	-
	2	2	Sudangras	02.06.06 Certrol B 1l
	2	3	Mais	02.06.06 Certrol B 1,5l
	2	4	Sommerroggen mit US Luzerne-Kleegras	11.05.06 U 46 Combi M-Fluid 1,5l
	2	5	Hafer	11.05.06 Lexus 0,02kg
	2	6	Sommerroggen	11.05.06 U 46 Combi M-Fluid 1,5l
	2	7	Mais	02.06.06 Certrol B 1,5l
2007	2	8	Sommertriticale	02.06.06 Acanto 1l
	2	8	Gelbsenf	-
	1	1	Wintertriticale	13.04.07 Starane 1l, 25.04.07 CCC 1l
	1	1	Zuckerhirse	13.07.07 Certrol B 1l
	1	2	Wintertriticale (Korn+Stroh)	13.04.07 Starane 1l, 25.04.07 CCC 1l
	1	3	Wintertriticale	13.04.07 Starane 1l, 25.04.07 CCC 1l
	1	3	Einj. Weidelgras	-
	1	4	Luzerne-Kleegras	05.06.07 Karate mit Zeon Technologie 0,075l, 17.08.06 Round up 4l, 06.09.06, Butisan Top 2l, Karate Zeon Technologie 0,075l, Schneckenkorn, 25.09.06 Folicur 1l, Fusilade 2l, 04.04.07 Decis 0,2l, Caramba 1,5l, 14.04.07 Karate Zeon Technologie 0,075l
	1	5	Winterraps (Korn+Stroh)	

Fortsetzung Tabelle A 2

Jahr	Anlage	Fruchtfolge	Pflanzenart	Datum, Mittel, Aufwandmenge
2008	1	6	Landsberger Gemenge	-
	1	6	Sudangras	31.05.07 Certrol B 1l, 13.07.07 Certrol B 1l nach Umbruch
	1	7	Kartoffel	07.05.07 Senco 0,5 kg, 05.06.07 Shirlan 0,4l, 13.06.07 Dantop 35g/ha und Dirane Neo Tec 1,8 kg/ ha, 11.07.07 Karate Zeon Technologie 0,075l Shirlan 0,4l
	1	8	Hanf	-
	2	1	Mais	30.03.07 Round up 4l
	2	2	Grünroggen	25.10.06 Fenikan 2l
	2	2	Mais	-
	2	3	Grünroggen	25.10.06 Fenikan 2l
	2	3	Sudangras	31.05.07 Certrol B 1l
	2	4	Luzerne-Kleegras	05.06.07 Karate mit Zeon Technologie 0,075l
	2	5	Wintertriticale	19.07.06 Round up 4l, 25.10.06 Fenikan 2l, 25.04.07 CCC 1l
	2	6	Sommerraps	19.07.06 Round up 4l, 06.09.2006 Karate mit Zeon Technologie 0,075l, Butisan Top 2l, Schneckenkorn, 25.09.06 Fusilade Max 2l, Folicur 1l, 04.04.07 Caramba 1,5l Decis 0,2l, 14.04.07 Karate mit Zeon Technologie 0,075l
	2	7	Grünroggen	25.10.06 Fenikan 2l
	2	7	Zuckerhirse	31.05.07 Certrol B 1l
	2	8	Sonnenblume	30.03.07 Round up 4l, 08.05.07 Stomp 2,5l, Boxer 2,5l, 05.06.07 Karate mit Zeon Technologie 0,075l
	2	8	Phacelia	-
	1	1 - 8	Winterroggen (Korn+Stroh)	22.10.07 Fenikan 2,2l, 28.04.08 Moddus 0,3l, Acanto 1,0l
	2	1	Wintertriticale	22.10.07 Fenikan 2,2l, 28.04.08 Acanto 1l
	2	1	Zuckerhirse	
	2	2	Wintertriticale (Korn+Stroh)	22.10.07 Fenikan 2,2l, 28.04.08 Moddus 0,3l, Accanto 1,0l
	2	3	Wintertriticale	22.10.07 Fenikan 2,2l, 28.04.08 Acanto 1l
	2	3	Einjähriges Weidelgras	19.07.08 Certrol B 1l
	2	4	Luzerne-Kleegras	-
	2	5	Winterraps (Korn+Stroh)	28.08.07 Nimbus 3l, 12.09.07 Decis 0,3l, 09.10.07 Folicur 1l, 01.04.08 Folicur 1,5l, Karate mit Zeon Technologie 0,075l, 28.04.08 Cantus 05,l
	2	6	Landsberger Gemenge	-
	2	6	Sudangras	08.05.08 Round up 3l, 19.07.08 Certrol B 1l
	2	7	Kartoffel	14.05.08 Sencor 0,75kg, 30.05.08 Fusilade 1,8l, 12.06.08 Bulldock 0,3l, 19.06.08 Ditane 1,8kg, Dantop 35g, 02.07.08 Infinion 1,4l, Dantop 35g, 10.07.08 Infinion 1,6l, 31.07.08 Shirlan 0,4l
	2	8	Hanf	-

US = Untersaat

Tabelle A 3: Verdaulichkeitskoeffizienten zur Berechnung der theoretischen Biogasausbeute im Fruchtfolgeversuch mit Energiepflanzen zur Biogasproduktion am Standort Trossin (Su3, Az 31), Versuchszeitraum 2005 - 2008

Jahr	Anlage	Fruchtfolge	Pflanzenart	angenommenes DLG-Stadium Verdaulichkeitskoeffizienten (VQ) Rohprotein, -fett, -faser, N-freie Extraktstoffe	BBCH Ernte (Ist)
2005	1	1	Sommerroggen	-Roggen in der Teigreife, Körneranteil ca. 33% 68; 67; 75; 71	83
	1	1	Ölrettich	-vor bis in der Blüte, 83; 66; 74; 81 (einziges Stadium in der Tabelle)	51-71
	1	2	Sudangras	-in bis Ende der Blüte, 53; 53; 64; 59	75-85
	1	3	Mais	Ende Teigreife, Kolbenanteil mittel 54; 80; 62; 78	85
	1	4	Sommerroggen mit US Luzerne-Kleegras	-Roggen in der Teigreife, Körneranteil ca. 33% 68; 67; 75; 71	83
	1	5	Hafer	-Hafer in der Teigreife, Körneranteil ca. 33% 60; 66; 59; 65	83
	1	6	Sommerroggen	-Roggen in der Teigreife, Körneranteil ca. 33% 68; 67; 75; 71	83
	1	7	Mais	-Ende Teigreife, Kolbenanteil mittel 54; 80; 62; 78	85
	1	8	Sommertriticale	-Teigreife (Roggen + Weizen)/ 2 67; 65; 68 70	83
	1	8	Gelbsenf	-in der Blüte, 80; 66; 65; 74	51-71
2006	1	1	Mais	-Ende Teigreife, Kolbenanteil mittel, 54; 80; 62; 78	85
	1	2	Grünroggen	-Beginn Ährenschieben, 82; 69; 83; 82	41
	1	2	Mais	-Ende Teigreife, Kolbenanteil mittel, 54; 80; 62; 78	85
	1	3	Grünroggen	-Beginn Ährenschieben, 82; 69; 83; 82	41
	1	3	Sudangras	-in bis Ende der Blüte, 53; 53; 64; 59	77
	1	4	Luzerne-Kleegras (1. Schnitt)	-Mitte bis Ende Blüte, 72; 50; 59; 69, 1. Aufwuchs	51
	1	4	Luzerne-Kleegras (2. Schnitt)	-Mitte bis Ende Blüte, 76; 51; 59; 71, 2. Aufwuchs	51
	1	5	Wintertriticale	-Teigreife Roggen+Weizen/ 2, 67; 65; 68; 70	77
	1	6	Sommerraps	-Ende der Blüte 73; 62; 58; 75	86
	1	7	Grünroggen	-Beginn Ährenschieben, 82; 69; 83; 82	
	1	7	Zuckerhirse	-Sudangras als Kompromiss da keine VQ-Werte für Zuckerhirse in bis Ende der Blüte, 53; 53; 64; 59	69
	1	8	Sonnenblume	-Ende der Blüte; 58; 61; 52; 78 letztes ausgewiesenes Stadium	87
	1	8	Phacelia	-keine Verdaulichkeitskoeffizienten vorhanden	

Fortsetzung Tabelle A 3

Jahr	Anlage	Fruchfolge	Pflanzenart	angenommenes DLG-Stadium Verdaulichkeitskoeffizienten (VQ) Rohprotein, -fett, -faser, N-freie Extraktstoffe	BBCH Ernte (Ist)
	2	1	Sommerroggen	-Roggen in der Teigreife, Körneranteil ca. 33% 68; 67; 75; 71	83
	2	1	Ölrettich	-vor bis in der Blüte, 0,83; 0,66; 0,74; 0,81 einziges Stadium in der Tabelle	51
	2	2	Sudangras	-in bis Ende der Blüte, 53; 53; 64; 59	77
	2	3	Mais	-Ende Teigreife, Kolbenanteil mittel, 54; 80; 62; 78	85
	2	4	Sommerroggen mit US Luzerne-Kleegras	2. Roggen in der Teigreife, Körneranteil ca. 33% 68; 67; 75; 71	83
	2	5	Hafer	Hafer in der Teigreife, Körneranteil ca. 33% 60; 66; 59; 65	83
	2	6	Sommerroggen	Roggen in der Teigreife, Körneranteil ca. 33% 68; 67; 75; 71	83
	2	7	Mais	Ende Teigreife, Kolbenanteil mittel, 54; 80; 62; 78	85
	2	8	Sommertriticale	Teigreife Roggen+Weizen/ 2, 67; 65; 68; 70	83
	2	8	Gelbsenf	in der Blüte, 80; 66; 65; 74	51
2007	1	1	Wintertriticale	-Teigreife Roggen+Weizen/ 2 67; 65; 68; 70 Vorgabe Projektleitung	75
	1	1	Zuckerhirse	-Beginn Rispschieben, 75; 60; 76; 7 erstes ausgewiesenes Stadium von Sudangras	36
	1	3	Wintertriticale	-Teigreife Roggen+Weizen/ 2 67; 65; 68; 70 Vorgabe Projektleitung	75
	1	3	Einjährigeswidelgras	-Beginn der Blüte 70; 57; 80; 78	51
	1	3	Einjähriges Widelgras	2. und folgende Aufwüchse 4-6 Wochen 69; 55; 75; 72	51
	1	4	Luzerne-Kleegras (1. Schnitt)	Mitte bis Ende Blüte, 72; 50; 59; 69 1. Aufwuchs Luzerne-Gras-Gemenge	49
	1	4	Luzerne-Kleegras (2.-4. Schnitt)	-Mitte bis Ende Blüte 76; 51; 59; 71 2. Aufwuchs und folg. Luzerne-Gras-Gemenge	51
	1	6	Landsberger Gemenge	-in der Blüte, 70; 61; 65; 76	51
	1	6	Sudangras	-Volles Rispschieben, 62; 63; 66; 70	51
	1	7	Kartoffel	-72; 0; 90; 96	99
	1	8	Hanf	VQ von Mais angenommen	
	2	1	Mais	-Ende Teigreife, Kolbenanteil mittel 54; 80; 62; 78	85
	2	2	Grünroggen	-Beginn Ährenschieben, 82; 69; 83; 82	51

Fortsetzung Tabelle A 3

Jahr	Anlage	Fruchfolge	Pflanzenart	angenommenes DLG-Stadium Verdaulichkeitskoeffizienten (VQ) Rohprotein, -fett, -faser, N-freie Extraktstoffe	BBCH Ernte (Ist)
	2	2	Mais	-Ende Teigreife, Kolbenanteil mittel 54; 80; 62; 78	83
	2	3	Grünroggen	-Beginn Ährenschieben, 82; 69; 83; 82	51
	2	3	Sudangras	-in bis Ende der Blüte, 53; 53; 64; 59	83
	2	4	Luzerne-Kleegras (1. Schnitt)	Mitte bis Ende Blüte, 72; 50; 59; 69 1. Aufwuchs Luzerne-Gras-Gemenge	49
	2	4	Luzerne-Kleegras (2.-4. Schnitt)	-Mitte bis Ende Blüte 76; 51; 59; 71 2. Aufwuchs und folg. Luzerne-Gras-Gemenge	51
	2	5	Wintertriticale	-Teigreife Roggen+Weizen/ 2, 67; 65; 68; 70 Vorgabe Projektleitung	75
	2	6	Sommerraps	-Ende der Blüte, 73; 62; 58; 75 letztes ausgewiesenes Stadium	75
	2	7	Grünroggen	-Beginn Ährenschieben, 82; 69; 83; 82	51
	2	7	Zuckerhirse	-Sudangras in bis Ende der Blüte 53; 53; 64; 59	83
	2	8	Sonnenblume	-Ende der Blüte, 58; 61; 52; 78	73
	2	8	Phacelia	-keine Verdaulichkeitskoeffizienten vorhanden	
2008	2	1	Wintertriticale	-Teigreife Roggen+Weizen/ 2 67; 65; 68; 70 Vorgabe Projektleitung	77
	2	1	Zuckerhirse	-Beginn Rispschieben, 75; 60; 76; 7 erstes ausgewiesenes Stadium von Sudangras	51
	2	3	Wintertriticale	-Teigreife Roggen+Weizen/ 2 67; 65; 68; 70 Vorgabe Projektleitung	77
	2	3	Einjähriges Weidelgras	-Beginn der Blüte 70; 57; 80; 78	51
	2	4	Luzerne-Kleegras (1. Schnitt)	Mitte bis Ende Blüte, 72; 50; 59; 69 1. Aufwuchs Luzerne-Gras-Gemenge	51
	2	4	Luzerne-Kleegras (2.-3. Schnitt)	-Mitte bis Ende Blüte 76; 51; 59; 71 2. Aufwuchs und folg. Luzerne-Gras-Gemenge	61
	2	6	Landsberger Gemenge	-in der Blüte, 70; 61; 65; 76	49
	2	6	Sudangras	-Volles Rispschieben, 62; 63; 66; 70	51
	2	7	Kartoffel	-72; 0; 90; 96	99
	2	8	Hanf	VQ von Mais angenommen	69

US = Untersaat

Tabelle A 4: Erntetermin der Kulturen im Fruchtfolgeversuch mit Energiepflanzen zur Bio-gasproduktion im Standort Trossin (Su3, Az31), 2005 – 2008

Jahr	An-lage	Frucht-folge	Pflanzenart	Datum der Ernte	TS [%]	BBCH
2005	1	1	Sommerroggen	14.07.2005	38,0	83
	1	1	Ölrettich	11.10.2005	8,0	51-71
	1	2	Sudangras	21.09.2005	22,8	69
	1	3	Mais	13.10.2005	25,2	85
	1	4	Sommerroggen mit US Luzerne- Klee gras	14.07.2005	29,9	83
	1	5	Hafer	21.07.2005	32,0	83
	1	6	Sommerroggen	14.07.2005	38,0	83
	1	7	Mais	13.10.2005	25,3	85
	1	8	Sommertriticale	27.07.2005	35,2	83
	1	8	Gelbsenf	11.10.2005	16,2	51-71
	1	8	Gelbsenf	11.10.2005	16,2	51-71
2006	1	1	Mais	29.09.2006	24,9	85
	1	2	Grünroggen	11.05.2006	16,0	41
	1	2	Mais	29.09.2006	23,9	85
	1	3	Grünroggen	11.05.2006	16,2	41
	1	3	Sudangras	22.09.2006	26,5	77
	1	4	Luzerne-Klee gras	22.05, 07.09.2006	18,9 26,1	51
	1	5	Wintertriticale	26.06.2006	42,6	77
	1	6	Sommerraps	14.07.2006	29,8	86
	1	7	Grünroggen	11.05.2006	16,5	41
	1	7	Zuckerhirse	29.09.2006	23,9	69
	1	8	Sonnenblume	10.08.2006	17,9	87
	1	8	Phacelia	17.10.2006	23,6	51
	2	1	Sommerroggen	12.07.2006	53,7	83
	2	1	Ölrettich	17.10.2006	16,1	51
	2	2	Sudangras	22.09.2006	28,6	77
	2	3	Mais	29.09.2006	26,9	85
	2	4	Sommerroggen mit US Luzerne- Klee gras	12.07.2006	54,7	83
	2	5	Hafer	06.07.2006	49,4	83
	2	6	Sommerroggen	12.07.2006	53,7	83
	2	7	Mais	29.09.2006	25,4	85
	2	8	Sommertriticale	14.07.2006	40,1	83
	2	8	Gelbsenf	17.10.2006	20,5	51
2007	1	1	Wintertriticale	08.06.2007	36,3	75
	1	1	Zuckerhirse	13.09.2007	16,1	36
	1	2	Wintertriticale (Korn+Stroh)	18.07.2007		99
	1	3	Wintertriticale	08.06.2007	36,5	75
	1	3	Einjähriges Wie- del gras	13.08., 19.09.2007	21,6 20,3	51
	1	4	Luzerne-Klee gras	15.05., 26.06., 13.08., 19.09.2007	16,7 21,3 21,6 19,5	49, 51, 51, 51
	1	5	Winterraps (Korn+Stroh)	29.06.2007	85,1 66,5	99
	1	5	Winterraps (Korn+Stroh)	29.06.2007	85,1 66,5	99
	1	5	Winterraps (Korn+Stroh)	29.06.2007	85,1 66,5	99
	1	5	Winterraps (Korn+Stroh)	29.06.2007	85,1 66,5	99

Fortsetzung Tabelle A 4

Jahr	Anlage	Fruchtfolge	Pflanzenart	Datum der Ernte	TS [%]	BBCH
	1	6	Landsberger Gemenge	07.05.2007	26,9	51
	1	6	Sudangras	13.09.2007	16,8	57
	1	7	Kartoffel	04.09.2007	19,4	99
	1	8	Hanf	24.08.2007	28,4	75
	2	1	Mais	04.10.2007	22,5	85
	2	2	Grünroggen	02.05.2007	24,7	51
	2	2	Mais	04.10.2007	21,0	83
	2	3	Grünroggen	02.05.2007	24,4	51
	2	3	Sudangras	04.10.2007	24,6	83
					26,2	
	2	4	Luzerne-Klee gras	24.05., 25.07., 19.09.2007	29,8 19,8	51
	2	5	Wintertriticale	08.06.2007	36,2	75
	2	6	Winterraps	24.05.2007	19,9	75
	2	7	Grünroggen	02.05.2007	24,6	51
	2	7	Zuckerhirse	04.10.2007	21,7	83
	2	8	Sonnenblume	16.08.2007	17,2	73
	2	8	Phacelia	25.10.2007	12,4	51
2008	1	1 - 8	Winterroggen	06.08.2008	88,4 88,4	99
	2	1	Wintertriticale	12.06.2008	43,9	77
	2	1	Zuckerhirse	22.09.2008	14,5	51
	2	2	Wintertriticale (Korn+Stroh)	06.08.2008	88,8 89,4	99
	2	3	Wintertriticale	12.06.2008	42,4	77
	2	3	Einjähriges Weidelgras	12.09.2008	27,6	51
					19,9	51,
	2	4	Luzerne-Klee gras	20.05., 27.07., 12.09.2008	29,8 22,1	51, 61
	2	5	Winterraps (Korn+Stroh)	05.07.2008	92,9 67,6	99
	2	6	Landsberger Gemenge	08.05.2008	14,2	49
	2	6	Sudangras	22.09.2008	13,7	51
	2	7	Kartoffel	04.09.2008	18,4	99
	2	8	Hanf	21.08.2008	34,2	69

US = Untersaat

Tabelle A 5: Sorten im Fruchtfolgeversuch mit Energiepflanzen zur Biogasproduktion am Standort Trossin (Su3, Az31), Anlagen 1 und 2 (2005 - 2008)

Kulturart	Sorte
Gelbsenf	Ascot
Grünroggen	Vitallo
Hafer	Freddy/ Dominik (Sortenmischung)
Hanf	Futura 75
Kartoffel	Agria
Landsberger Gemenge	-
Luzerne-Klee gras-Gemisch	QA 10
Mais	Mikado
Ölrettich	Rutina
Phacelia	Americo
Sommerraps	Heros (da Winterraps ausgewintert)
Sommerroggen	Ovid
Sommertriticale	Legalo
Sonnenblume	KWO 411
Sudangrasybride	Susu
Weidelgras (Einjähriges)	Liquattro
Winterraps	Elektra
Wintertriticale	SW Talentro
Winterroggen	Visello
Zuckerhirse(-Hybride?)	Super Sile 18 (FF 1), Super Sile 20 (FF 7 und 10)

Tabelle A 6: Aussaatmenge und -zeitpunkt im Fruchtfolgeversuch mit Energiepflanzen zur Biogasproduktion am Standort Trossin (Su3, Az 31)

Jahr	Anlage	Fruchtfolge	Pflanzenart	Aussaatmenge	Termin
2005	1	1	Sommerroggen	340 Kö/m ²	19.04.2005
	1	1	Ölrettich	20 kg/ha	16.08.2005
	1	2	Sudangras	25 kg/ha	13.05.2005
	1	3	Mais	8,5 Kö/m ²	02.05.2005
	1	4	Sommerroggen mit Untersaat	280 Kö/m ²	19.04.2005
			Luzerne-Klee gras	8+8 kg/ha	
	1	5	Hafer	285 Kö/m ²	19.04.2005
	1	6	Sommerroggen	340 Kö/m ²	19.04.2005
	1	7	Mais	8,5 Kö/m ²	02.05.2005
	1	8	Sommertriticale	340 Kö/m ²	19.04.2005
	1	8	Gelbsenf	18 kg/ha	16.08.2005
2006	1	1	Mais	8,5 Kö/m ²	11.05.2006
	1	2	Grünroggen	350 Kö/m ²	19.10.2005
	1	2	Mais	8,5 Kö/m ²	11.05.2006
	1	3	Grünroggen	350 Kö/m ²	19.10.2005
	1	3	Sudangras	23 kg/ha	15.05.2006
	1	4	Luzerne-Klee gras	8+8 kg/ha	16.08.2005
	1	5	Wintertriticale	330 Kö/m ²	19.10.2005
	1	6	Sommerraps	90 Kö/m ²	13.04.2006
	1	7	Grünroggen	350 Kö/m ²	19.10.2005
	1	7	Zuckerhirse	4,3 kg/ha	15.05.2006
	1	8	Sonnenblume	9 Kö/m ²	22.04.2006
	1	8	Phacelia	10,5 kg/ha	11.08.2006
	2	1	Sommerroggen	340 Kö/m ²	13.04.2006
	2	1	Ölrettich	20 kg/ha	11.08.2006
	2	2	Sudangras	23 kg/ha	15.05.2006
	2	3	Mais	8,5 Kö/m ²	11.05.2006
	2	4	Sommerroggen mit Untersaat	340 Kö/m ²	13.04.2006
			Luzerne-Klee gras	8+8 kg/ha	

Fortsetzung Tabelle A 6

Jahr	Anlage	Frucht- folge	Pflanzenart	Aussaat- menge	Termin
2007	2	5	Hafer	285 Kö/m ²	13.04.2006
	2	6	Sommerroggen	340 Kö/m ²	13.04.2006
	2	7	Mais	8,5 Kö/m ²	11.05.2006
	2	8	Sommertriticale	340 Kö/m ²	13.04.2006
	2	8	Gelbsenf	18 kg/ha	11.08.2006
	1	1	Wintertriticale	330 Kö/m ²	08.11.2006
	1	1	Zuckerhirse	7,5 kg/ha	13.06.2007
	1	2	Wintertriticale (Korn+Stroh)	330 Kö/m ²	08.11.2006
	1	3	Wintertriticale	330 Kö/m ²	08.11.2006
	1	3	Einjähriges Weidelgras	49,5 kg/ha	13.06.2007
	1	4	Luzerne-Klee gras	-	
	1	5	Winterraps (Korn+Stroh)	50 Kö/m ²	22.08.2006
	1	6	Landsberger Gemenge	70 kg/ha	11.08.2006
	1	6	Sudangras	23 kg/ha	13.06.2007
	1	7	Kartoffel	5-6 Pfl./m ²	19.04.2007
	1	8	Hanf	310 Kö/m ²	03.05.2007
	2	1	Mais	8,5 Kö/m ²	05.05.2007
	2	2	Grünroggen	300 Kö/m ²	11.10.2006
	2	2	Mais	8,5 Kö/m ²	05.05.2007
	2	3	Grünroggen	300 Kö/m ²	11.10.2006
	2	3	Sudangras	23 kg/ha	18.05.2007
	2	4	Luzerne-Klee gras	-	
	2	5	Wintertriticale	330 Kö/m ²	11.10.2006
	2	6	Winterraps	50 Kö/m ²	22.08.2006
	2	7	Grünroggen	300 Kö/m ²	11.10.2006
	2	7	Zuckerhirse	4,2 kg/ha	18.05.2007
	2	8	Sonnenblume	9 Kö/m ²	05.05.2007
	2	8	Phacelia	11 kg/ha	16.08.2007
2008	1	1 - 8	Winterroggen	240 Kö/m ²	06.10.2007
	2	1	Wintertriticale	320 Kö/m ²	06.10.2007
	2	1	Zuckerhirse	7,9 kg/ha	17.06.2008
	2	2	Wintertriticale (Korn+Stroh)	320 Kö/m ²	06.10.2007
	2	3	Wintertriticale	320 Kö/m ²	06.10.2007
	2	3	Einjähriges Weidelgras	43 kg/ha	17.06.2008
	2	4	Luzerne-Klee gras	-	-
	2	5	Winterraps (Korn+Stroh)	55 Kö/m ²	25.08.2007
	2	6	Landsberger Gemenge	65,8 kg/ha	16.08.2007
	2	6	Sudangras	23 kg/ha	16.05.2008
	2	7	Kartoffel	5-6 Pfl./m ²	24.04.2008
	2	8	Hanf	250 Kö/m ²	26.04.2008

Tabelle A 7: Frischmasseerträge in den einzelnen Fruchtfolgegliedern des Fruchtfolgeversuches am Standort Trossin (Su3, Az 31), Anlage 1, 2005 - 2008

Fruchtfolge/ Wiederholung		Erntejahr, Nutzung und Frucht		FM dt/ ha	FM dt/ ha	FM dt/ ha	FM dt/ ha	FM dt/ ha	FM dt/ ha	FM dt/ ha
1		2005 Ganzpflanze	2005 Ganzpflanze	2006 Ganzpflanze	2007 Ganzpflanze	2007 Ganzpflanze	2008 Korn	2008 Stroh		
		Sommerroggen	Ölrettich	Mais	Wintertriticale	Zuckerhirse	Winterroggen	Winterroggen		
	a	154,44	395,56	442,78	192,78	282,78	54,33	55,00		
	b	162,22	339,44	395,00	158,33	271,11	50,17	60,00		
	c	152,78	352,78	367,22	153,89	352,22	48,28	48,33		
	d	160,56	379,44	429,44	156,11	343,89	53,72	61,67		
2		2005 Ganzpflanze	2006 Ganzpflanze	2006 Ganzpflanze	2007 Korn	2007 Stroh	2008 Korn	2008 Stroh		
		Sudangras	Grünroggen	Mais	Wintertriticale	Wintertriticale	Winterroggen	Winterroggen		
	a	680,00	126,67	418,89	37,11	11,11	56,89	61,67		
	b	746,11	112,78	419,44	31,11	11,67	54,06	58,33		
	c	743,33	118,39	362,78	26,61	10,83	52,61	48,89		
	d	778,89	118,39	447,78	31,50	13,33	54,22	58,33		
3		2005 Ganzpflanze	2006 Ganzpflanze	2006 Ganzpflanze	2007 Ganzpflanze	2007 Ganzpflanze	2007 Ganzpflanze	2008 Korn	2008 Stroh	
		Mais	Grünroggen	Sudangras	Wintertriticale	Einj. Weidelgras 1. Schnitt	Einj. Weidelgras 2. Schnitt	Winterroggen	Winterroggen	
	a	883,89	95,11	327,78	157,22	99,44	75,00	53,50	61,11	
	b	927,22	94,44	377,78	155,56	108,89	63,89	50,44	52,78	
	c	884,44	75,56	308,33	151,67	96,67	52,22	50,50	50,56	
	d	970,00	87,22	376,11	175,56	96,11	68,33	58,89	62,78	
4		2005 Ganzpflanze	2006 Ganzpflanze	2006 Ganzpflanze	2007 Ganzpflanze	2007 Ganzpflanze	2007 Ganzpflanze	2007 Ganzpflanze	2008 Korn	2008 Stroh
		Sommerroggen + Luzerne-Kleegras	Luzerne- Kleegras 1. Schnitt	Luzerne- Kleegras 2. Schnitt	Luzerne- Kleegras 1. Schnitt	Luzerne- Kleegras 2. Schnitt	Luzerne- Kleegras 3. Schnitt	Luzerne-Kleegras 4. Schnitt	Winterroggen	Winterroggen
	a	171,11	298,00	80,00	389,44	155,00	167,78	84,44	48,11	65,00
	b	131,89	233,06	82,22	362,50	162,78	129,44	33,33	48,94	47,80
	c	168,33	272,83	93,33	263,89	151,11	145,00	52,78	52,44	56,11

Fortsetzung Tabelle A 7

Fruchtfolge/ Wiederholung		Erntejahr, Nutzung und Frucht							
		FM dt/ ha	FM dt/ ha	FM dt/ ha	FM dt/ ha	FM dt/ ha	FM dt/ ha	FM dt/ ha	FM dt/h
d		157,22	307,78	79,44	279,44	145,00	132,78	51,11	58,17
5		2005 Ganzpflanze Hafer	2006 Ganzpflanze Wintertriticale	2007 Korn Winterraps	2007 Stroh Winterraps	2008 Korn Winterroggen	2008 Stroh Winterroggen		
	a	141,78	165,56	28,11	30,56	54,11	65,00		
	b	114,44	181,11	24,94	27,22	51,28	47,78		
	c	127,89	169,44	28,56	27,22	52,83	56,11		
	d	155,56	230,11	31,33	41,11	62,17	66,67		
6		2005 Ganzpflanze Sommerroggen	2006 Ganzpflanze Sommerraps (!!!)	2007 Ganzpflanze Landsberger Gem.	2007 Ganzpflanze Sudangras	2008 Korn Winterroggen	2008 Stroh Winterroggen		
	a	184,44	124,44	244,44	516,67	53,94	57,22		
	b	146,67	73,89	201,11	473,89	51,22	47,22		
	c	165,00	137,78	209,44	496,67	56,72	56,67		
	d	149,56	121,11	236,11	537,78	57,61	52,78		
7		2005 Ganzpflanze Mais	2006 Ganzpflanze Grünroggen	2006 Ganzpflanze Zuckerhirse	2007 Knollen Kartoffel	2008 Korn Winterroggen	2008 Stroh Winterroggen		
	a	931,11	98,44	328,33	440,00	59,00	62,78		
	b	874,44	83,89	260,00	331,11	51,06	50,00		
	c	909,44	86,28	308,33	479,44	54,94	53,89		
	d	945,00	75,56	347,78	466,67	57,89	60,56		
8		2005 Ganzpflanze Sommertriticale	2005 Ganzpflanze Gelbsenf	2006 Ganzpflanze Sonnenblume	2006 Ganzpflanze Phacelia	2007 Ganzpflanze Hanf	2008 Korn Winterroggen	2008 Stroh Winterroggen	
	a	158,44	240,00	471,67	25,83	421,11	57,72	68,06	

Fortsetzung Tabelle A 7

Fruchtfolge/ Wiederholung	Erntejahr, Nutzung und Frucht							
	FM dt/ ha	FM dt/ ha	FM dt/ ha	FM dt/ ha	FM dt/ ha	FM dt/ ha	FM dt/ ha	FM dt/ ha
b	136,22	219,44	382,22	23,89	364,44	50,94	53,33	
c	146,67	205,56	379,44	30,00	390,00	53,00	57,78	
d	148,33	242,22	426,11	30,00	386,67	55,11	61,67	

Tabelle A 8: Trockenmasseerträge (105 °C) in den einzelnen Fruchtfolgegliedern des Fruchtfolgeversuches am Standort Trossin (Su3, Az 31), Anlage 1, 2005 - 2008

Fruchtfolge/ Wiederholung	Erntejahr, Nutzung und Frucht							
	TM dt/ ha	TM dt/ ha	TM dt/ ha	TM dt/ ha	TM dt/ ha	TM dt/ ha	TM dt/ ha	
1	2005 GPS Sommerroggen	2005 GPS Ölrettich	2006 GPS Mais	2007 GPS Wintertriticale	2007 GPS Zuckerhirse	2008 Korn Winterroggen	2008 Stroh Winterroggen	
a	58,69	28,97	111,82	70,68	45,76	47,9	49,7	
b	61,64	27,65	100,50	56,15	43,94	44,1	51,0	
c	58,06	31,29	88,07	56,06	57,27	42,5	44,3	
d	61,01	29,42	106,67	57,12	54,21	47,3	55,5	
2	2005 GPS Sudangras	2006 GPS Grünroggen	2006 GPS Mais	2007 Korn Wintertriticale	2007 Stroh Wintertriticale	2008 Korn Winterroggen	2008 Stroh Winterroggen	
a	164,12	18,60	103,41	31,77	9,55	50,1	55,4	
b	160,95	17,34	100,14	26,62	9,62	47,6	51,6	
c	179,18	21,24	88,60	22,88	9,10	46,4	43,2	
d	167,80	19,10	102,82	27,13	10,74	47,9	51,4	
3	2005 GPS Mais	2006 GPS Grünroggen	2006 GPS Sudangras	2007 GPS Wintertriticale	2007 GPS Einj. Weidelgras	2007 GPS Einj. Weidelgras	2008 Korn Winterroggen	2008 Stroh Winterroggen
a	235,25	14,83	85,52	58,95	22,72	15,40	47,3	54,7

Fortsetzung Tabelle A 8

Fruchtfolge		Erntejahr, Nutzung und Frucht								
Wiederholung		TM dt/ ha	TM dt/ ha	TM dt/ ha	TM dt/ ha	TM dt/ ha	TM dt/ ha	TM dt/ ha		
	b	238,21	14,68	100,58	55,45	22,75	12,72	44,6	45,1	
	c	221,12	13,47	80,10	54,15	21,16	10,82	46,7	45,6	
	d	227,94	13,80	102,22	65,18	20,03	13,80	52,2	56,4	
4		2005 GPS	2006 GPS	2006 GPS	2007 GPS	2007 GPS	2007 GPS	2007 GPS	2008 Korn	2008 Stroh
		Sommerroggen + Luzerne-Kleegras	Luzerne- Klee gras 1. Schnitt	Luzerne- Klee gras 2. Schnitt	Luzerne- Klee gras 1. Schnitt	Luzerne- Klee gras 2. Schnitt	Luzerne- Klee gras 3. Schnitt	Luzerne-Klee gras 4. Schnitt	Winterroggen	Winterroggen
	a	51,16	50,66	20,24	66,79	34,39	35,61	16,48	42,6	49,8
	b	39,43	44,75	23,19	56,01	33,84	27,93	6,57	43,2	42,2
	c	50,33	52,93	23,46	44,57	33,28	32,01	10,94	46,3	53,3
	d	47,01	62,48	20,40	48,58	29,13	28,63	9,30	51,8	50,9
5		2005 GPS	2006 GPS	2007 Korn	2007 Stroh	2008 Korn	2008 Stroh			
		Hafer	Wintertriticale	Winterraps	Winterraps	Winterroggen	Winterroggen			
	a	45,37	68,37	22,89	21,81	48,0	58,8			
	b	36,62	75,89	21,62	19,11	45,4	42,8			
	c	40,92	75,06	24,68	17,70	46,7	49,9			
	d	49,78	98,26	26,90	24,43	55,0	56,7			
6		2005 GPS	2006 GPS	2007 GPS	2007 GPS	2008 Korn	2008 Stroh			
		Sommerroggen	Sommerraps (!!!)	Landsberger Gem.	Sudangras	Winterroggen	Winterroggen			
	a	70,09	35,47	60,78	90,40	47,7	50,9			
	b	55,73	23,57	56,91	80,48	45,3	41,4			
	c	62,70	37,41	54,27	83,67	50,1	51,2			
	d	56,83	38,51	67,69	85,40	51,1	46,1			

Fortsetzung Tabelle A 8

Fruchtfolge		Erntejahr, Nutzung und Frucht						
Wiederholung		TM dt/ ha	TM dt/ ha	TM dt/ ha	TM dt/ ha	TM dt/ ha	TM dt/ ha	
7		2005 GPS Mais	2006 GPS Grünroggen	2006 GPS Zuckerhirse	2007 Knollen Kartoffel	2008 Korn Winterroggen	2008 Stroh Winterroggen	
	a	229,27	15,13	76,68	86,98	52,2	56,4	
	b	214,26	14,19	64,45	61,68	45,1	43,7	
	c	246,88	14,46	74,37	92,44	48,5	46,7	
	d	235,45	12,75	80,77	92,07	51,2	54,0	
8		2005 GPS Sommertriticale	2005 GPS Gelbsenf	2006 GPS Sonnenblume	2006 GPS Phacelia	2007 GPS Hanf	2008 Korn Winterroggen	2008 Stroh Winterroggen
	a	55,77	38,11	82,78	6,44	118,79	51,1	56,4
	b	47,95	40,25	73,20	4,93	105,05	45,1	47,9
	c	51,63	30,66	65,07	6,47	110,84	47,0	49,4
	d	52,21	37,49	75,42	8,16	109,42	48,9	55,3

Tabelle A 9: Frischmasseerträge in den einzelnen Fruchtfolgegliedern des Fruchtfolgeversuches am Standort Trossin (Su3, Az 31), Anlage 2, 2006 - 2008

Fruchtfolge		Erntejahr, Nutzung und Frucht						
Wiederholung		FM dt/ ha	FM dt/ ha	FM dt/ ha	FM dt/ ha	FM dt/ ha	FM dt/ ha	FM dt/ ha
1		2006 GPS Sommerroggen	2006 GPS Ölrettich	2007 GPS Mais	2008 GPS Wintertriticale	2008 GPS Zuckerhirse		
	a	111,11	36,11	824,44	176,11	300,56		
	b	100,00	47,22	792,78	175,00	226,11		
	c	102,78	46,67	836,11	190,56	300,00		
	d	107,22	62,22	837,22	206,11	258,89		

Fortsetzung Tabelle A 9

Fruchtfolge		Erntejahr, Nutzung und Frucht						
Wiederholung		FM dt/ ha	FM dt/ ha	FM dt/ ha	FM dt/ ha	FM dt/ ha	FM dt/ ha	FM dt/ ha
2		2006 GPS	2007 GPS	2007 GPS	2008 Korn	2008 Stroh		
		Sudangras	Grünroggen	Mais	Wintertriticale	Wintertriticale		
	a	303,89	119,44	803,33	45,89	60,00		
	b	318,33	141,11	722,78	35,72	44,44		
	c	256,11	147,22	760,00	40,17	50,00		
	d	365,56	202,78	838,33	40,11	43,33		
3		2006 GPS	2007 GPS	2007 GPS	2008 GPS	2008 GPS		
		Mais	Grünroggen	Sudangras	Wintertriticale	Weidelgras		
	a	403,89	151,11	502,22	187,78	52,78		
	b	365,00	136,67	462,22	196,11	57,22		
	c	309,44	159,44	480,00	191,67	65,00		
	d	471,11	158,89	623,33	284,44	61,11		
4		2006 GPS	2007 GPS	2007 GPS	2007 GPS	2008 GPS	2008 GPS	2008 GPS
		Sommerroggen +	Luzerne- Klee gras	Luzerne- Klee gras	Luzerne- Klee gras	Luzerne- Klee gras	Luzerne- Klee gras	Luzerne- Klee gras
		Luzerne-Klee gras	1. Schnitt	2. Schnitt	3. Schnitt	1. Schnitt	2. Schnitt	3. Schnitt
	a	125,00	162,78	88,06	134,44	347,22	82,39	55,56
	b	98,89	136,11	82,22	118,89	337,22	106,67	80,56
	c	136,94	222,22	113,89	128,33	352,78	95,78	57,22
	d	94,44	126,67	86,11	101,67	303,89	83,50	68,33
5		2006 GPS	2007 GPS	2008 Korn	2008 Stroh			
		Hafer	Wintertriticale	Winterraps	Winterraps			
	a	116,67	138,89	37,50	68,33			
	b	84,72	138,89	32,22	61,11			
	c	95,83	177,22	36,61	52,78			

Fortsetzung Tabelle A 9

Fruchtfolge		Erntejahr, Nutzung und Frucht						
Wiederholung		FM dt/ ha	FM dt/ ha	FM dt/ ha	FM dt/ ha	FM dt/ ha	FM dt/ ha	FM dt/ ha
	d	271,67	264,44	42,33	97,22			
6		2006 GPS Sommerroggen	2007 GPS Winterraps (!!!)	2007 GPS Landsberger Gem. (Herbstschnitt)	2008 GPS Landsberger Gem.	2008 GPS Sudangras		
	a	141,11	508,33	86,11	537,78	366,11		
	b	118,89	477,22	72,22	521,67	345,56		
	c	118,89	428,33	75,00	490,56	277,78		
	d	95	400,56	55,00	471,67	353,33		
7		2006 GPS Mais	2007 GPS Grünroggen	2007 GPS Zuckerhirse	2008 Knollen Kartoffel			
	a	443,33	187,22	503,89	434,44			
	b	392,22	178,89	586,67	390,56			
	c	375,00	154,44	639,44	388,89			
	d	332,78	146,67	577,22	445,56			
8		2006 GPS Sommertriticale	2006 GPS Gelbsenf	2007 GPS Sonnenblume	2007 GPS Phacelia	2008 GPS Hanf		
	a	143,61	67,22	578,33	25,00	235,00		
	b	106,11	54,44	615,00	11,67	206,11		
	c	141,39	88,89	514,44	25,00	187,78		
	d	87,78	66,67	648,89	22,78	244,44		

Tabelle A 10: Trockenmasseerträge (105 °C) in den einzelnen Fruchtfolgegliedern des Fruchtfolgeversuches am Standort Trossin (Su3, Az 31), Anlage 2, 2006 - 2008

Fruchtfolge		Erntejahr, Nutzung und Frucht					
Wiederholung		TM dt/ ha	TM dt/ ha	TM dt/ ha	TM dt/ ha	TM dt/ ha	TM dt/ ha
1		2006 GPS	2006 GPS	2007 GPS	2008 GPS	2008 GPS	
		Sommerroggen	Ölrettich	Mais	Wintertriticale	Zuckerhirse	
	a	58,22	7,41	181,25	76,35	41,78	
	b	53,40	7,15	178,99	77,90	36,36	
	c	57,45	6,59	183,06	82,18	41,13	
	d	56,83	8,96	196,75	91,74	36,88	
2		2006 GPS	2007 GPS	2007 GPS	2008 Korn	2008 Stroh	
		Sudangras	Grünroggen	Mais	Wintertriticale	Wintertriticale	
	a	86,91	29,72	166,63	40,93	54,97	
	b	90,65	35,81	155,35	31,72	40,97	
	c	71,31	38,34	157,56	35,55	43,74	
	d	107,80	45,53	177,40	35,54	37,37	
3		2006 GPS	2007 GPS	2007 GPS	2008 GPS	2008 GPS	
		Mais	Grünroggen	Sudangras	Wintertriticale	Weidelgras	
	a	102,11	35,68	124,53	78,87	14,72	
	b	88,65	34,30	117,67	84,08	19,47	
	c	80,52	40,30	119,18	86,30	14,94	
	d	151,66	37,38	146,40	112,78	15,61	
4		2006 GPS	2007 GPS	2007 GPS	2007 GPS	2008 GPS	2008 GPS
		Sommerroggen +	Luzerne- Klee gras	Luzerne- Klee gras	Luzerne- Klee gras	Luzerne- Klee gras	Luzerne- Klee gras
		Luzerne-Klee gras	1. Schnitt	2. Schnitt	3. Schnitt	1. Schnitt	3. Schnitt
	a	67,00	45,53	28,54	30,13	68,79	24,33
	b	55,87	35,2	23,40	22,98	65,97	30,91
	c	64,77	55,82	31,28	23,23	71,03	29,45
							12,64

Fortsetzung Tabelle A 10

Fruchtfolge		Erntejahr, Nutzung und Frucht					
Wiederholung		TM dt/ ha	TM dt/ ha	TM dt/ ha	TM dt/ ha	TM dt/ ha	TM dt/ ha
	d	57,89	32,51	26,50	19,78	60,59	24,99
5		2006 GPS Hafer	2007 GPS Wintertriticale	2008 Korn Winterraps	2008 Stroh Winterraps		
	a	61,37	50,39	35,31	50,00		
	b	45,92	52,03	29,74	39,42		
	c	54,91	65,78	34,14	42,19		
	d	91,28	89,49	39,03	51,39		
6		2006 GPS Sommerroggen	2007 GPS Winterraps (!!!)	2007 GPS Landsberger Gem. (Herbstschnitt)	2008 GPS Landsberger Gem.	2008 GPS Sudangras	
	a	73,10	100,53	14,18	73,68	53,50	
	b	61,35	91,32	10,99	63,06	42,17	
	c	64,68	86,11	11,51	70,46	41,58	
	d	54,06	83,45	10,08	78,23	46,30	
7		2006 GPS Mais	2007 GPS Grünroggen	2007 GPS Zuckerhirse	2008 Knollen Kartoffel		
	a	118,88	45,38	110,86	79,21		
	b	93,36	48,01	128,17	71,13		
	c	97,69	34,42	136,71	71,75		
	d	83,21	36,5	125,03	82,47		
8		2006 GPS Sommertriticale	2006 GPS Gelbsenf	2007 GPS Sonnenblume	2007 GPS Phacelia	2008 GPS Hanf	
	a	57,88	15,05	95,42	2,83	82,14	

Fortsetzung Tabelle A 10

Fruchtfolge	Erntejahr, Nutzung und Frucht					
Wiederholung	TM dt/ ha	TM dt/ ha	TM dt/ ha	TM dt/ ha	TM dt/ ha	TM dt/ ha
b	42,98	10,90	105,42	1,73	70,02	
c	59,3	18,33	91,20	2,67	63,96	
d	33,09	12,62	112,34	2,89	83,80	

Tabelle A 11: Trockenmasseertrag an Korn und Stroh im Abschlussfruchtfolgeglied Winterroggen des Fruchtfolgeversuches mit Energiepflanzen zur Biogasproduktion am Standort Trossin (Su3, Az 31), Anlage 1, 2005 – 2008

Fruchtfolge Versuchs- bedingungen	1	2	3	4	5	6	7	8
N _{min} [kg/ha] nach Ernte Vorfrucht	30,3	39,4	34,8	18,3	46,7	17,7	51,4	8,8
Aussaattermin:	06.10.07	06.10.07	06.10.07	06.10.07	06.10.07	06.10.07	06.10.07	06.10.07
Aussaatstärke Kö/m ²	240	240	240	240	240	240	240	240
Herbizid Fenikan l/ ha 18.10.07:	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2
Grunddüngung kg P ₂ O ₅ /ha 10.03.08	54	54	54	54	54	54	73	54
kg K ₂ O/ha 10.03.08	168	168	168	168	168	206	206	168
N _{min} [kg/ha] zu Vegetationsbe- ginn	8,8	8,5	12,1	13,0	9,7	8,6	5,7	7,4
N-Düngung N/ha 1. Gabe 10.03.08 2. Gabe 22.04.08	55 65	55 65	55 65	55 65	55 65	55 65	55 65	55 65
N _{min} [kg/ha] nach Ernte Winterroggen	57,0	69,1	65,2	74,4	78,3	65,6	51,4	57,8
Wachstumsregler Modus l/ha 28.04.08	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
Fungizid Acanto l/ ha 28.04.08	1	1	1	1	1	1	1	1
Kornertrag in dt/ha:								
A	47,9	50,1	47,3	42,6	48,0	47,7	52,2	51,1
B	44,1	47,6	44,6	43,2	45,4	45,3	45,1	45,1
C	42,5	46,4	46,7	46,3	46,7	50,1	48,5	47,0
D	47,3	47,9	52,2	51,8	55,0	51,1	51,2	48,9
Mittelwert	45,5	48,01	47,2	45,9	48,8	48,6	49,2	48,03
Strohertrag:								
a	49,7	55,4	54,7	49,8	58,8	50,9	56,4	56,4
b	51,0	51,6	45,1	42,2	42,8	41,4	43,7	47,9
c	44,3	43,2	45,6	53,3	49,9	51,2	46,7	49,4
d	55,5	51,4	56,4	50,9	56,7	46,1	54,0	55,3
Mittelwert	50,1	50,4	50,5	49,2	52,0	47,4	50,2	52,3

Tabelle A 12: Nährstoffbilanzen in den Varianten des Fruchtfolgeversuches mit Energiepflanzen zur Biogasproduktion am Standort Trossin (Su3, Az 31), Anlage 1, 2005 - 2008

Frucht- folge	Jahr	Fruchtart	Stel- lung	Zufuhr mit Düngung [kg/ha]				Entzug durch Erntegut [kg/ha]				Saldo [kg/ha]			
				N	P	K	Mg	N	P	K	Mg	N	P	K	Mg
1	2005	Sommerroggen	HF	85	0	0	0	84,4	13,1	106,4	7,6	0,6	-13,1	-106,4	-7,6
1	2005	Ölrettich	ZwF	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	2006	Mais	HF	140	0	0	0	140,8	21,6	132,7	34,0	-0,8	-21,6	-132,7	-34,0
1	2007	Wintertriticale	HF	120	21	132	0	86,8	15,6	81,2	9,6	33,2	5,4	50,8	-9,6
1	2007	Zuckerhirse	ZF	70	26	202	0	108,0	15,0	108,8	15,8	-38,0	11,0	93,2	-15,8
1	2008	Winterroggen	HF	120	24	140	0	116,3	22,1	91,1	6,2	3,7	1,9	48,9	-6,2
2	2005	Sudangras	HF	100	0	0	0	243,7	50,8	258,5	56,0	-143,7	-50,8	-258,5	-56,0
2	2006	Grünroggen	ZwF	80	0	0	0	54,8	9,7	59,1	3,1	25,2	-9,7	-59,1	-3,1
2	2006	Mais	HF	140	0	0	0	146,8	23,5	137,9	33,2	-6,8	-23,5	-137,9	-33,2
2	2007	Wintertriticale	HF	100	29	154	0	71,5	9,6	23,4	2,2	28,5	19,4	130,6	-2,2
2	2008	Winterroggen	HF	120	24	140	0	120,8	22,7	99,5	6,0	-0,8	1,3	40,5	-6,0
3	2005	Mais	HF	120	0	0	0	282,7	52,3	282,6	43,9	-162,7	-52,3	-282,6	-43,9
3	2006	Grünroggen	ZwF	80	0	0	0	41,1	7,3	43,9	2,4	38,9	-7,3	-43,9	-2,4
3	2006	Sudangras	HF	100	0	0	0	153,8	16,4	123,6	32,3	-53,8	-16,4	-123,6	-32,3
3	2007	Wintertriticale	HF	120	21	132	0	76,3	12,7	70,2	8,1	43,7	8,3	61,8	-8,1
3	2007	Weidelgras	ZF	80	11	81	0	86,0	11,0	77,9	8,2	-6,0	0,0	3,1	-8,2
3	2008	Winterroggen	HF	120	24	140	0	118,6	21,4	93,4	5,9	1,4	2,6	46,6	-5,9
4	2005	So-Roggen mit Untersaat	HF	110	0	0	0	90,6	13,1	104,7	7,9	19,4	-13,1	-104,7	-7,9
4	2006	Luzerne- Kleegras	HF	95	0	0	0	32,6	22,0	211,9	23,1	62,4	-22,0	-211,9	-23,1
4	2007	Luzerne- Kleegras	HF	125	20	234	0	46,4	37,3	359,1	34,1	78,6	-17,3	-125,1	-34,1
4	2008	Winterroggen	HF	120	24	140	0	116,9	21,8	86,3	6,0	3,1	2,2	53,7	-6,0
5	2005	Hafer	HF	85	0	0	0	98,2	12,2	109,5	11,3	-13,2	-12,2	-109,5	-11,3
5	2006	Wintertriticale	HF	80	0	0	0	94,0	16,1	91,3	11,3	-14,0	-16,1	-91,3	-11,3
5	2007	Winterraps	HF	120	22	114	0	110,4	17,9	56,5		9,6	4,1	57,5	
5	2008	Winterroggen	HF	120	24	140	0	127,5	24,0	106,7	6,5	-7,5	0,0	33,3	-6,5
6	2005	Sommerroggen	HF	85	0	0	0	86,5	13,4	109,1	7,8	-1,5	-13,4	-109,1	-7,8
6	2006	Winterraps	HF	75	0	0	0	47,3	13,6	65,4	12,2	27,7	-13,6	-65,4	-12,2
6	2007	Landsberger Gem.	ZwF	90	13	180	0	161,9	15,6	172,3	16,6	-71,9	-2,6	7,7	-16,6

Fortsetzung Tabelle A 12

Frucht- folge	Jahr	Fruchtart	Stel- lung	Zufuhr mit Düngung [kg/ha]				Entzug durch Erntegut [kg/ha]				Saldo [kg/ha]			
				N	P	K	Mg	N	P	K	Mg	N	P	K	Mg
6	2007	Sudangras	HF	120	19	142	0	157,5	17,6	141,7	35,2	-37,5	1,4	0,3	-35,2
6	2008	Winterroggen	HF	120	24	175	0	126,1	22,4	91,3	6,2	-6,1	1,6	83,7	-6,2
7	2005	Mais	HF	120	0	0	0	278,1	50,6	286,5	43,3	-158,1	-50,6	-286,5	-43,3
7	2006	Grünroggen	ZwF	85	0	0	0	41,5	7,3	43,8	2,4	43,5	-7,3	-43,8	-2,4
7	2006	Zuckerhirse	HF	100	0	0	0	125,4	13,5	111,3	31,4	-25,4	-13,5	-111,3	-31,4
7	2007	Kartoffel	HF	90	24	241	0	101,8	20,0	158,6	10,9	-11,8	4,0	82,4	-10,9
7	2008	Winterroggen	HF	120	32	175	0	124,4	23,1	99,7	6,6	-4,4	8,9	75,3	-6,6
8	2005	Sommerroggen	HF	85	0	0	0	99,1	13,6	91,2	8,2	-14,01	-13,6	-91,2	-8,2
8	2005	Gelbsenf	ZwF	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	2006	Sonnenblume	HF	60	0	0	0	141,4	16,5	198,2	25,3	-81,4	-16,5	-198,2	-25,3
8	2006	Phacelia	ZwF	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	2007	Hanf	HF	80	35	209	0	138,3	18,8	161,7	27,0	-58,3	16,2	47,3	-27,0
8	2008	Winterroggen	HF	120	24	140	0	122,6	23,4	105,2	6,6	-2,6	0,6	34,8	-6,6

Tabelle A 13: Nährstoffbilanzen in den Varianten des Fruchtfolgeversuches mit Energiepflanzen zur Biogasproduktion am Standort Trossin (Su3, Az 31), Anlage 2, 2006 - 2008

Frucht- folge	Jahr	Fruchtart	Stel- lung	Zufuhr mit Düngung [kg/ha]				Entzug durch Erntegut [kg/ha]				Saldo [kg/ha]			
				N	P	K	Mg	N	P	K	Mg	N	P	K	Mg
1	2006	Sommerroggen	HF	65	0	0	0	60,9	9,8	76,2	6,2	4,1	-9,8	-76,2	-6,2
1	2006	Ölrettich	ZwF	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	2007	Mais	HF	160	30	195	0	245,5	36,6	228,5	41,2	-85,5	-6,6	-33,5	-41,2
1	2008	Wintertriticale	HF	120	32	139	0	97,9	20,5	145,0	10,8	22,1	11,5	-6,0	-10,8
1	2008	Zuckerhirse	ZF	70	17	129	0	79,1	13,1	96,1	14,1	-9,1	3,9	32,9	-14,1
2	2006	Sudangras	HF	100	0	0	0	138,2	16,6	139,6	28,7	-38,2	-16,6	-139,6	-28,7
2	2007	Grünroggen	ZwF	100	21	97	0	61,2	11,0	84,3	4,4	38,8	10,0	12,7	-4,4
2	2007	Mais	HF	160	35	185	0	228,4	32,3	198,4	40,1	-68,4	2,7	-13,4	-40,1
2	2008	Wintertriticale	HF	110	21	119	0	109,9	21,9	65,8	6,5	0,1	-0,9	53,2	-6,5
3	2006	Mais	HF	140	0	0	0	142,9	23,7	150,1	29,7	-2,9	-23,7	-150,1	-29,7
3	2007	Grünroggen	ZwF	100	21	132	0	63,9	11,4	83,1	4,4	36,1	9,6	48,9	-4,4
3	2007	Sudangras	HF	130	19	142	0	161,6	24,3	137,1	34,9	-31,6	-5,3	4,9	-34,9
3	2008	Wintertriticale	HF	120	24	144	0	102,7	21,0	135,0	11,2	17,3	3,0	9,0	-11,2
3	2008	Weidelgras	ZF	40	11	81	0	34,1	5,1	31,2	3,7	5,9	5,9	49,8	-3,7

Fortsetzung Tabelle A 13

Frucht- folge	Jahr	Fruchtart	Stel- lung	Zufuhr mit Düngung [kg/ha]				Entzug durch Erntegut [kg/ha]				Saldo [kg/ha]			
				N	P	K	Mg	N	P	K	Mg	N	P	K	Mg
4	2006	So-Roggen mit Untersaat	HF	65	0	0	0	60,9	10,4	83,6	6,6	4,1	-10,4	-83,6	-6,6
4	2007	Luzerne- Klee gras	HF	125	20	199	0	158,6	26,7	245,8	22,6	-33,6	-6,7	-46,8	-22,6
4	2008	Luzerne- Klee gras	HF	95	20	199	0	4,5	32,7	325,1	24,1	90,5	-12,7	-126,1	-24,1
5	2006	Hafer	HF	70	0	0	0	90,5	16,2	155,2	12,2	-20,5	-16,2	-155,2	-12,2
5	2007	Wintertriticale	HF	120	21	97	0	90,5	16,3	85,1	10,1	29,5	4,7	11,9	-10,1
5	2008	Winterraps	HF	110	22	114	0	134,5	33,2	133,0	8,1	-24,5	-11,2	-19,0	-8,1
6	2006	Sommerroggen	HF	65	0	0	0	66,7	11,0	90,9	6,7	-1,7	-11,0	-90,9	-6,7
6	2007	Winterraps	HF	120	22	114	0	180,0	41,8	219,6	30,9	-60,0	-19,8	-105,6	-30,9
6	2008	Landsberger Gem.	ZwF	90	13	145	0	143,4	26,9	258,1	15,1	-53,4	-13,9	-113,1	-15,1
6	2008	Sudangras	HF	70	19	142	0	90,7	14,9	105,4	16,5	-20,7	4,1	36,6	-16,5
7	2006	Mais	HF	140	0	0	0	144,1	21,9	148,3	25,9	-4,1	-21,9	-148,3	-25,9
7	2007	Grünroggen	ZwF	100	21	97	0	68,0	12,5	96,6	4,9	32,0	8,5	0,4	-4,9
7	2007	Zuckerhirse	HF	120	29	221	0	169,8	25,9	157,4	38,4	-49,8	3,1	63,6	-38,4
7	2008	Kartoffel	HF	90	16	206	0	100,3	21,5	181,2	9,8	-10,3	-5,5	24,8	-9,8
8	2006	Sommerroggen	HF	55	0	0	0	69,0	14,4	72,9	7,4	-14,0	-14,4	-72,9	-7,4
8	2006	Gelbsenf	ZwF	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	2007	Sonnenblume	HF	90	23	199	0	174,6	35,8	310,3	46,6	-84,6	12,8	-111,3	-46,6
8	2007	Phacelia	ZwF	0	0	32	0	0	0	0	0	0	0	32,0	0
8	2008	Hanf	HF	70	35	209	0	84,4	16,0	93,1	20,0	-14,4	19,0	115,9	-20,0

Tabelle A 14: Theoretische Biogas- und Methanausbeute in den Fruchtfolgen mit Energiepflanzen zur Biogasproduktion am Standort Trossin (Su3, Az 31), Anlage 1, 2005 - 2007, Berechnungsdaten

Frucht- folge	Jahr	Fruchtart	Trocken- substanz [%]	Rohasche % in der TS	Rohprotein % in der TS	Rohfett % in der TS	Rohfaser % in der TS	N-freie Ex- traktstoffe % in der TS	Theoret. Biogasertrag je kg oTS [m³]	Theoret. Biogasertrag [m³/ha]	Theoret. Methanertrag je kg oTS [m³]	Theoret. Methanertrag [m³/ha]
1	2005	Sommerroggen	38,00	4,72	8,82	0,69	33,07	52,70	0,520	2965,8	0,282	1607,8
1	2006	Mais	24,88	5,11	8,74	1,87	25,79	58,50	0,537	5188,1	0,292	2817,1
1	2007	Wintertriticale	36,29	4,59	9,11	2,49	22,60	61,21	0,518	2967,1	0,284	1624,7
1	2007	Zuckerhirse	16,10	6,92	12,37	2,15	33,02	45,55	0,543	2542,7	0,301	1408,9
2	2005	Sudangras	22,84	5,07	9,07	1,90	30,61	53,35	0,448	7150,3	0,244	3893,2
2	2006	Grünroggen	16,03	9,08	17,97	2,75	28,89	41,30	0,606	1050,7	0,343	595,4
2	2006	Mais	23,99	5,46	9,29	2,31	25,57	57,37	0,537	5014,6	0,293	2733,9
3	2005	Mais	25,20	4,10	7,66	2,04	24,12	62,34	0,544	12040,2	0,295	6521,5
3	2006	Grünroggen	16,20	10,09	18,12	3,25	28,02	40,52	0,607	774,5	0,345	440,5
3	2006	Sudangras	26,47	5,66	10,44	1,38	31,94	50,58	0,447	3884,6	0,244	2119,4
3	2007	Wintertriticale	36,49	4,37	9,36	2,50	24,22	59,54	0,518	2894,1	0,284	1585,9
3	2007	Einj. Weidelgras	21,62	8,17	14,81	2,23	32,94	41,85	0,711	1415,3	0,416	828,4
3	2007	Einj. Weidelgras	20,34	16,73	16,88	2,15	28,18	36,05	0,533	585,0	0,301	330,3
4	2005	So.-Roggen mit US	29,90	5,67	12,06	0,74	30,57	50,96	0,570	2527,7	0,313	1385,8
4	2006	Luzerne-Klee-Gras	18,98	8,87	14,91	1,94	29,05	45,23	0,486	2335,3	0,273	1309,6
4	2006	Luzerne-Klee-Gras	26,08	9,31	18,00	4,09	27,35	41,24	0,500	988,7	0,287	567,1
4	2007	Luzerne-Klee-Gras	16,72	11,46	14,74	2,76	31,07	39,98	0,485	2316,9	0,273	1306,0
4	2007	Luzerne-Klee-Gras	21,27	8,74	17,86	3,43	33,74	36,23	0,303	904,5	0,182	543,8
4	2007	Luzerne-Klee-Gras	21,61	9,37	18,45	3,30	31,11	37,77	0,495	1393,0	0,284	798,6
4	2007	Luzerne-Klee-Gras	19,53	16,81	20,24	2,08	23,50	37,37	0,501	451,3	0,290	261,2
5	2005	Hafer	32,00	6,94	14,22	3,25	23,07	52,52	0,446	1791,2	0,250	1003,5
5	2006	Wintertriticale	42,55	3,87	7,40	1,99	27,01	59,73	0,518	3953,9	0,281	2148,4
6	2005	Sommerroggen	38,00	4,72	8,82	0,69	33,07	52,70	0,548	3203,1	0,297	1736,4

Fortsetzung Tabelle A14

Frucht- folge	Jahr	Fruchtart		Trocken- substanz [%]	Rohasche % in der TS	Rohprotein % in der TS	Rohfett % in der TS	Rohfaser % in der TS	N-freie Ex- traktstoffe % in der TS	Theoret. Biogasertrag je kg oTS [m³]	Theoret. Biogasertrag [m³/ha]	Theoret. Methanertrag je kg oTS [m³]	Theoret. Methanertrag [m³/ha]
6	2006	Winterraps	Ge-	29,84	9,37	8,76	3,01	43,77	35,09	0,497	1519,2	0,274	838,5
6	2007	Landsberger menge WZF		26,94	9,30	16,66	3,15	25,42	45,47	0,530	2877,9	0,299	1625,2
6	2007	Sudangras		16,80	5,80	11,26	1,68	32,54	48,72	0,503	4029,6	0,276	2210,9
7	2005	Mais		25,30	4,13	7,51	2,05	24,26	61,82	0,542	12022,0	0,293	6510,3
7	2006	Grünroggen		16,48	9,67	18,36	3,53	28,74	39,70	0,607	774,9	0,346	441,5
7	2006	Zuckerhirse		23,87	6,13	10,58	1,72	28,87	52,69	0,446	3099,7	0,244	1695,0
7	2008	Kartoffeln		19,35	9,81	8,10	0,00	2,58	79,51	0,869	6525,4	0,464	3488,6
8	2005	Sommertriticale		35,20	5,29	11,94	2,42	21,21	59,30	0,514	2525,6	0,284	1396,1
8	2006	Sonnenblumen		17,89	11,56	11,92	9,01	21,33	45,82	0,518	3396,0	0,295	1931,1
8	2007	Hanf		28,44	6,45	7,79	3,33	48,05	34,38	0,407	4223,8	0,223	2312,8

Tabelle A 15: Theoretische Biogas- und Methanausbeute in den Fruchtfolgen mit Energiepflanzen zur Biogasproduktion am Standort Trossin (Su3, Az 31), Anlage 2, 2006 - 2008, Berechnungsdaten

Frucht- folge	Jahr	Fruchtart		Trocken- substanz [%]	Rohasche % in der TS	Rohprotein % in der TS	Rohfett % in der TS	Rohfaser % in der TS	N-freie Ex- trakt- stoffe % in der TS	Theoret. Biogasertrag je kg oTS [m³]	Theoret. Biogasertrag [m³/ha]	Theoret. Methanertrag je kg oTS [m³]	Theoret. Methanertrag [m³/ha]
1	2006	Sommerroggen		53,68	4,14	6,74	2,19	36,04	50,90	0,542	2937,0	0,294	1592,4
1	2007	Mais		22,49	4,18	8,29	1,87	26,52	59,13	0,538	9532,7	0,292	5168,5
1	2008	Wintertriticale		43,88	4,68	7,46	1,91	25,74	60,21	0,518	4052,0	0,281	2201,3
1	2008	Zuckerhirse		14,49	8,53	12,67	2,22	33,20	43,39	0,544	1941,3	0,302	1078,2
2	2006	Sudangras		28,60	7,06	9,69	2,74	31,87	48,64	0,448	3711,1	0,245	2034,0
2	2007	Grünroggen		24,69	6,54	10,24	2,58	29,60	51,04	0,612	2137,5	0,337	1176,8
2	2007	Mais		21,03	4,37	8,69	1,36	26,35	59,23	0,535	8403,2	0,290	4547,9
3	2006	Mais		26,95	5,37	8,45	2,25	25,37	58,56	0,540	5405,3	0,294	2937,0
3	2007	Grünroggen		24,38	6,27	10,81	2,58	30,38	49,95	0,612	2119,2	0,338	1168,3

Fortsetzung Tabelle A 15

Frucht- folge	Jahr	Fruchtart	Trocken- substanz [%]	Rohasche % in der TS	Rohprotein % in der TS	Rohfett % in der TS	Rohfaser % in der TS	N-freie Extrakt- stoffe % in der TS	Theoret. Biogasertrag je kg oTS [m³]	Theoret. Biogasertrag [m³/ha]	Theoret. Methanertrag je kg oTS [m³]	Theoret. Methanertrag [m³/ha]
3	2007	Sudangras	24,64	4,60	7,96	1,58	27,86	58,00	0,448	5422,6	0,343	2938,6
3	2008	Wintertriticale	42,39	4,16	7,09	1,97	25,44	61,34	0,519	4500,1	0,282	2442,1
3	2008	Einj. Weidelgras	27,61	14,67	13,18	2,67	30,52	38,95	0,570	787,1	0,317	437,3
4	2006	So.-Roggen mit US	54,68	4,43	6,20	1,79	37,07	50,37	0,542	3177,5	0,293	1717,0
4	2007	Luzerne-Klee-Gras	26,17	8,57	11,33	2,80	32,91	44,38	0,486	1880,3	0,270	1043,2
4	2007	Luzerne-Klee-Gras	29,78	8,89	47,92	2,90	30,19	10,10	0,483	1207,0	0,309	772,2
4	2007	Luzerne-Klee-Gras	19,82	10,35	14,19	2,62	26,77	46,06	0,501	1079,3	0,282	606,9
4	2008	Luzerne-Klee-Gras	19,86	8,53	11,18	2,56	33,40	44,33	0,485	2955,8	0,269	1638,7
4	2008	Luzerne-Klee-Gras	29,79	10,07	19,91	2,55	29,99	37,48	0,495	1220,9	0,285	702,2
4	2008	Luzerne-Klee-Gras	22,13	9,21	16,40	2,62	30,48	41,29	0,496	652,3	0,281	370,0
5	2006	Hafer	49,43	7,45	8,93	2,87	30,21	50,54	0,470	2758,3	0,259	1518,5
5	2007	Wintertriticale	36,17	4,49	8,78	2,08	23,13	61,52	0,518	3186,8	0,283	1738,4
6	2006	Sommerroggen	53,68	4,63	6,59	1,48	35,45	51,85	0,541	3264,8	0,292	1763,5
6	2007	Winterraps	19,96	8,80	12,45	9,57	35,78	33,41	0,515	4240,8	0,296	2441,8
6	2007	Landsberger menge (Schröpf)	16,34	12,35	18,24	3,01	16,88	49,51	0,549	562,5	0,309	317,1
6	2008	Landsberger menge	14,18	11,80	12,56	2,33	27,94	45,37	0,530	3333,2	0,294	1851,4
6	2008	Sudangras	13,72	7,21	12,35	2,04	35,90	42,50	0,501	2135,0	0,277	1178,6
7	2006	Mais	25,42	5,38	9,16	2,14	25,42	57,89	0,538	4999,7	0,293	2721,9
7	2007	Grünroggen	24,57	7,70	10,34	2,74	29,94	49,28	0,612	2322,1	0,337	1279,9
7	2007	Zuckerhirse	21,72	5,03	8,48	1,33	28,09	57,07	0,447	5314,2	0,242	2881,2
7	2008	Kartoffeln	18,35	6,48	8,23	0,37	2,65	82,27	0,694	4939,1	0,372	2651,8
8	2006	Sommertriticale	40,13	5,18	8,92	2,46	28,36	55,07	0,518	2374,9	0,283	1298,8
8	2007	Sonnenblumen	17,17	11,19	10,80	7,45	28,43	42,13	0,506	4542,0	0,285	2560,1
8	2008	Hanf	34,21	6,92	7,06	2,11	38,26	45,65	0,525	3652,0	0,285	1979,7

Tabelle A 16: Humusbilanz im Fruchtfolgeversuch mit Energiepflanzen zur Biogasproduktion am Standort Trossin (Su3, Az 31), Anlage 1, 2005 - 2007

Frucht- folge	Jahr	Fruchtart	spez. Ände- rung Humus- vorrat VDLUFA	Humusrepro- duktionsleis-tung Stroh	Humusre- pro- duktions- leistung Gründün- gung	Humussaldo ohne Gärres- te [kg/ha]	Gärrest- menge TM [t/ha]	Gärrest- menge [g/kg TM]	Gärrestmen- ge FM bei 10% TS [t/ha]	Humus-C [kg/ha]	Saldo [kg/ha]
1	2005	Sommerroggen	-280	0	0	-280,0	1,84	362,1	18,42	221,1	-59
1	2005	Ölrettich	80	0	234,64	314,6					315
1	2006	Mais	-560	0	0	-560,0	2,98	344,3	29,79	357,4	-203
1	2007	Wintertriticale	-280	0	0	-280,0	1,87	366,9	18,71	225,5	-55
1	2007	Zuckerhirse	-280	0	0	-280,0	1,53	356,8	15,25	183,0	-97
2	2005	Sudangras	-280	0	0	-280,0	6,48	453,4	64,75	777,1	497
2	2006	Grünroggen	120	0	0	120,0	0,50	307,6	4,99	59,8	180
2	2006	Mais	-560	0	0	-560,0	2,92	348,2	29,23	350,7	-209
2	2007	Wintertriticale	-280	113,39	0	-166,61					-167
3	2005	Mais	-560	0	0	-560,0	6,42	327,7	64,24	770,8	211
3	2006	Grünroggen	120	0	0	120,0	0,38	315,7	3,81	45,7	166
3	2006	Sudangras	-280	0	0	-280,0	3,60	459,6	35,98	431,8	152
3	2007	Wintertriticale	-280	0	0	-280,0	1,82	366,0	18,18	218,2	-62
3	2007	Weidelgras	100	0	0	100,0	1,12	377,6	11,19	134,2	234
4	2005	Sommerroggen	-280	0	0	-280,0	1,63	396,7	16,29	195,5	-85
		Luzerne-Klee- Gras									
4	2006	Luzerne-Klee- Gras	600	0	0	600,0	2,78	432,9	27,80	333,7	934
4	2007	Luzerne-Klee- Gras	600	0	0	600,0	4,96	460,2	49,64	596,6	1196
5	2005	Hafer	-280	0	0	-280,0	1,74	475,3	17,44	209,3	-71
5	2006	Wintertriticale	-280	0	0	-280,0	2,43	359,7	24,27	291,3	11
5	2007	Winterraps	-280	241,41	0	-38,59					-39
6	2005	Sommerroggen	-280	0	0	-280,0	1,71	327,8	17,09	205,1	-75
6	2006	Winterraps	-280	0	0	-280,0	1,22	425,9	12,21	146,6	-133
6	2007	Landsberger	120	0	0	120,0	2,01	395,2	20,13	242,5	362

Fortsetzung Tabelle A 16

Frucht- folge	Jahr	Fruchtart	spez. Änderung Humusvorrat VDLUFA	Humusrepro- duktionsleistung Stroh	Humusre- pro- duktions- leistung Gründün- gung	Humussaldo ohne Gärres- te [kg/ha]	Gär- restmen-ge TM [t/ha]	Gär- restmen-ge [g/kg TM]	Gärrestmen- ge FM bei 10% TS [t/ha]	Humus-C [kg/ha]	Saldo [kg/ha]
6	2007	Sudangras	-280	0	0	-280,0	3,33	461,6	39,14	400,2	120
7	2005	Mais	-560	0	0	-560,0	6,38	330,1	63,79	765,4	205
7	2006	Grünroggen	120	0	0	120,0	0,38	318,0	3,80	45,6	166
7	2006	Zuckerhirse	-280	0	0	-280,0	2,97	433,8	29,71	356,5	76
7	2007	Kartoffeln	-760	0	0	-760,0	1,41	196,2	14,08	169,1	-591
8	2005	Sommertriticale	-280	0	0	-280,0	1,68	380,0	16,76	201,1	-79
8	2005	Senf	80	0	293,01	373,01					373
8	2006	Sonnenblumen	-280	0	0	-280,0	2,68	425,4	26,80	321,6	42
8	2006	Phacelia	80	0	52,00	132,0					132
8	2007	Hanf	-560	0	0	-560,0	3,51	371,5	35,05	420,7	-139

Tabelle A 17: Humusbilanz im Fruchtfolgeversuch mit Energiepflanzen zur Biogasproduktion am Standort Trossin (Su3, Az 31), Anlage 2, 2006 - 2008

Frucht- folge	Jahr	Fruchtart	spez. Änderung Humusvorrat VDLUFA	Humusrepro- duktionsleistung Stroh	Humusre- pro- duktions- leistung Gründün- gung	Humussaldo ohne Gärres- te [kg/ha]	Gär- restmen-ge TM [t/ha]	Gär- restmen-ge TM [g/kg TM]	Gärrestmen- ge FM bei 10% TS [t/ha]	Humus-C [kg/ha]	Saldo [kg/ha]
1	2006	Sommerroggen	-280	0	0	-280	1,59	542,5	15,87	190,5	-90
1	2006	Ölrettich	80	0	60,2	140					140
1	2007	Mais	-560	0	0	-560	5,30	537,7	52,97	635,6	76
1	2008	Wintertriticale	-280	0	0	-280	2,56	518,3	25,63	307,6	28
1	2008	Zuckerhirse	-280	0	0	-280	1,18	543,1	11,84	142,0	-138
2	2006	Sudangras	-280	0	0	-280	3,54	449,7	35,36	424,3	144
2	2007	Grünroggen	120	0	0	120	1,28	403,6	12,81	154,8	274

Fortsetzung Tabelle A 17

Frucht- folge	Jahr	Fruchtart	spez. Änderung Humusvorrat VDLUFA	Humusrepro- duktionsleistung Stroh	Pro- duktions- leistung Gründün- gung	Humussaldo ohne Gärres- te [kg/ha]	Gär- restmen-ge TM [t/ha]	Gär- restmen-ge TM [g/kg TM]	Gärrestmen- ge FM bei 10% TS [t/ha]	Humus-C [kg/ha]	Saldo [kg/ha]
2	2007	Mais	-560	0	0	-560	4,76	340,8	47,57	570,9	11
2	2008	Wintertriticale	-280	515,1	0	235					235
3	2006	Mais	-560	0	0	-560	3,08	539,7	30,80	369,6	-190
3	2007	Grünroggen	120	0	0	120	1,26	401,9	12,61	151,3	271
3	2007	Sudangras	-280	0	0	-280	4,86	447,8	48,56	582,7	303
3	2008	Wintertriticale	-280	0	0	-280	2,82	518,0	28,23	338,7	59
3	2008	Weidelgras	100	0	0	100	0,43	622,2	4,28	51,4	151
4	2006	Sommerroggen	-280	0	0	-280	1,90	364,1	18,99	227,9	-52
		Luzerne-Klee- Gras									
4	2007	Luzerne-Klee- Gras	600	0	0	600	3,62	454,5	36,22	434,6	1035
4	2008	Luzerne-Klee- Gras	600	0	0	600	4,84	433,3	48,40	580,8	1.181
5	2006	Hafer	-280	0	0	-280	2,39	471,3	23,93	287,2	7
5	2007	Wintertriticale	-280	0	0	-280	2,00	365,3	20,00	240,0	-40
5	2008	Winterraps	-280	532,6	0	253					253
6	2006	Sommerroggen	-280	0	0	-280	1,80	540,8	18,01	216,1	-64
6	2007	Winterraps	-280	0	0	-280	3,19	514,7	31,91	383,0	103
6	2008	Landsberger	120	0	0	120	2,35	529,6	23,50	282,1	402
6	2008	Sudangras	-280	0	0	-280	1,56	503,3	15,61	187,4	-93
7	2006	Mais	-560	0	0	-560	2,90	537,4	28,96	347,5	-212
7	2007	Grünroggen	120	0	0	120	1,44	411,1	14,36	172,3	292

Fortsetzung Tabelle A 17

Frucht- folge	Jahr	Fruchtart	spez. Änderung Humusvorrat VDLUFA	Humusrepro- duktionsleistung Stroh	Pro- duktions- leistung Gründün- gung	Humussaldo ohne Gärres- te [kg/ha]	Gär- restmen-ge TM [t/ha]	Gär- restmen-ge TM [g/kg TM]	Gärrestmen- ge FM bei 10% TS [t/ha]	Humus-C [kg/ha]	Saldo [kg/ha]
7	2007	Zuckerhirse	-280	0	0	-280	4,83	447,0	48,27	579,3	299
7	2008	Kartoffeln	-760	0	0	-760	1,29	198,7	12,86	154,3	-605,7
8	2006	Sommertriticale	-280	0	0	-280	1,52	517,3	15,22	182,6	-97
8	2006	Senf	80	0	113,8	194					194
8	2007	Sonnenblumen	-280	0	0	-280	3,73	505,8	37,27	447,3	167
8	2007	Phacelia	80	0	52	132					132
8	2008	Hanf	-560	0	0	-560	3,26	406,7	32,59	391,1	-169

**Tabelle A 18: Überschlägige Kalkulation der Produktionskosten je Fruchtart in den
Fruchtfolgen mit Energiepflanzen zur Biogasproduktion am Standort
Trossin (Su3, Az 31), Anlage 1, 2005 - 2008**

Fruchtart	FF	Jahr	direkte Produk- tionskosten [€/ha]	Ertrag FM [t/ha]	direkte Produktions- kosten [€/t FM]
Mais	1	2006	774	40,8	19,0
Mais	3	2005	1422	92,4	15,4
Mais	7	2005	1413	90,8	15,6
GP- Sommerroggen	1	2005	586	15,5	37,8
GP-Wintertriticale	1	2007	532	16,7	31,9
GP-Wintertriticale	3	2007	527	16,1	32,7
GP-Wintertriticale	5	2006	556	18,8	29,6
GP- Sommerroggen	6	2005	593	16,0	37,1
GP- Sommertriticale	8	2005	696	13,0	53,5
Grünroggen	2	2006	472	11,9	39,7
Grünroggen	3	2006	443	8,8	48,9
Grünroggen	7	2006	441	5,6	78,8
Zuckerhirse	1	2007	562	31,2	18,0
Zuckerhirse	7	2006	559	36,8	15,2
Sudangras	2	2005	1143	35,4	32,3
Sudangras	3	2006	631	73,0	8,6
Sudangras	6	2007	862	50,0	17,2
Luzerne-Kleegras	4	2006	662	25,2	26,3
Luzerne-Kleegras	4	2007	869	68,2	12,7
Kartoffel	7	2007	2829	45,5	62,2
Weidelgras	3	2007	550	14,1	39,0
Landsberger Ge- menge	6	2007	565	18,0	31,4
Sonnenblume	8	2006	828	59,4	13,9

FF = Fruchtfolge

**Tabelle A 19: Überschlägige Kalkulation der Produktionskosten je Fruchtart in den
Fruchtfolgen mit Energiepflanzen zur Biogasproduktion am Standort
Trossin (Su3, Az 31), Anlage 2, 2006 - 2008**

Fruchtart	FF	Jahr	direkte Produkti- onskosten [€/ha]	Ertrag FM [t/ha]	direkte Produkti- onskosten [€/t FM]
Mais	1	2007	1189	84,1	14,1
Mais	3	2006	836	39,2	21,3
Mais	7	2006	830	39,2	21,2
GP-Wintertriticale	1	2008	628	15,2	41,3
GP-Wintertriticale	3	2008	656	21,7	30,2
GP-Wintertriticale	5	2007	611	17,8	34,3
GP- Sommertriticale	8	2006	549	12,0	45,8
Grünroggen	2	2007	516	14,8	34,9
Grünroggen	3	2007	515	15,4	33,4
Grünroggen	7	2007	530	16,4	32,3
Zuckerhirse	1	2008	539	26,0	20,7
Zuckerhirse	7	2007	774	56,8	13,6
Sudangras	2	2006	680	30,7	22,2
Sudangras	3	2007	788	50,8	15,5
Sudangras	6	2008	777	27,0	28,8
Luzerne-Klee gras	4	2007	757	25,2	30,0
Luzerne-Klee gras	4	2008	635	68,2	9,3
Kartoffel	7	2008	2911	45,5	64,0
Weidelgras	3	2008	395	53,6	7,4
Landsberger Ge- menge	6	2008	752	45,7	16,5
Sonnenblume	8	2007	1075	59,4	18,1

FF = Fruchtfolge

Tabelle A 20: Annahmen und Rahmenbedingungen für die ökonomische Bewertung der Fruchtfolgeversuche, nach ToEWS

Annahmen																			
1.	Gräser, Luzerne-Kleegras Kosten für die Bereitung von Anwelksilage unterstellt 10 % Bröckelverluste und die Arbeitsgänge Mähen (Kreiselmähwerk), Wenden, Schwaden und Silieren																		
2.	Marktfrüchte Die Erträge in absoluter Trockenmasse werden auf verkaufsfähige Ware standardisiert (Raps 9 % Restfeuchte, Getreide 14,5 % Restfeuchte).																		
3.	Arbeitserledigungskosten Kalkulation erfolgt nach Richtwerten des KTBL (Daten zur Betriebsplanung) Modifiziert für die Berechnungen werden - der Zinssatz auf 5 % - die Lohnkosten für die Arbeitserledigung auf 15 €/h - die Kosten für Diesel auf 1,20 €/l - die Kosten für Heizöl auf 0,65 €/l Einheitlich wurde die Transportentfernung auf 5 km und die Schlaggröße 10 ha gewählt.																		
4.	Gärreste Kalkulation nach Abschnitt 2.4.2 Humusbilanzierung Die Ausbringungskosten wurden nach KTBL mit 4,10 €/t Substrat bei einer Gabe von 25 t Substrat/ha festgelegt.																		
5.	Mineraldüngerapplikation Es werden die Mineraldüngerarten Kalkammonsalpeter (27 % N), Superphosphat (7,85 % P) und 40er-Kali (33,2 % K) verwendet. Die Grundnährstoffe werden als Vorratsdüngung (800 kg/ha, 15 €/ha Ausbringungskosten) eingesetzt. Der N-Aufwand richtet sich nach den tatsächlichen Aufwendungen im Fruchtfolgeversuch (Tab. A 1).																		
6.	Trocknungskosten Bei höheren Restfeuchtegehalten als 14,5 % (Getreide) und 9 % (Raps) werden die variablen Kosten der Getreidekosten nach Vorgaben des KTBL (2008, S.13) ermittelt bei einem Heizölpreis von 0,65 €/l und einem Strompreis von 0,15 €/kWh.																		
7.	Preise Der Methanpreis von 30 cent/m³ unterstellt einen Substratpreis von 30 €/t Frischmasse. Die Marktfruchtpreise (Roggen, Raps) widerspiegeln den Durchschnittspreis der Jahre 2005 bis 2008. Die Düngemittelpreise fußen auf den Preisentwicklungen ab 2005 (Indizes des Statistischen Bundesamtes: <table> <tr> <td></td><td>Stickstoff</td><td>Phosphor</td><td>Kalium</td></tr> <tr> <td></td><td>in €/t</td><td>in €/t</td><td>in €/t</td></tr> <tr> <td>Oxid</td><td>-</td><td>883</td><td>405</td></tr> <tr> <td>Element</td><td>859</td><td>2022</td><td>488</td></tr> </table> Für die applizierte N-Gabe wird ein N-Überschuss in Höhe von 20 % der N-Gabe als Ausgleich von Verlusten angenommen. Bei Gärresten wird von einem Mineraldüngeräquivalent von 50 % für Stickstoff ausgegangen.				Stickstoff	Phosphor	Kalium		in €/t	in €/t	in €/t	Oxid	-	883	405	Element	859	2022	488
	Stickstoff	Phosphor	Kalium																
	in €/t	in €/t	in €/t																
Oxid	-	883	405																
Element	859	2022	488																
8.	Gasbildungspotenzial Für die Bestimmung des Gasbildungspotenzials wurden die nachfolgenden Parameter verwendet:																		

Verwendete Parameter zur Bestimmung des Gasbildungspotenzials

Kürzel	Nutzung	FF_Stellung	Schnitt	oTM-Gehalt	Biogas je kg oTM	CH ₄ -Gehalt %
EinWeiGr	GPS	So.-Zw.Fr.	1	87,28	553,94	56,89
EinWeiGr	GPS	So.-Zw.Fr.	2	87,28	553,90	56,90
Erb	GPS	So.-Zw.Fr.	1	85,09	430,56	59,09
Erb Ha Leind	GPS	Haupt-Fr.	1	93,69	555,32	55,51
GerGras	GPS	Haupt-Fr.	1	90,43	519,22	55,90
GerGras	GPS	Haupt-Fr.	2	90,43	492,49	56,64
Ha	GPS	Haupt-Fr.	1	93,69	555,32	55,51
HaMisch	GPS	Haupt-Fr.	1	93,69	555,32	55,51
Kart	Knolle	Haupt-Fr.	1	79,46	503,29	55,51
KleeGr	GPS	Haupt-Fr.	1	87,75	554,79	55,81
KleeGr	GPS	Haupt-Fr.	2	87,75	514,45	55,92
KleeGr	GPS	Untersaat	1	89,80	561,55	54,20
LaBeGe	GPS	Wi.-Zw.Fr.	1	91,62	592,26	54,97
LuzGr	GPS	Haupt-Fr.	1	86,70	549,39	56,31
LuzGr	GPS	Haupt-Fr.	2	87,50	518,50	56,32
LuzKleeGr	GPS	Haupt-Fr.	1	87,57	553,16	55,87
LuzKleeGr	GPS	Haupt-Fr.	2	88,10	524,46	55,95
Mais	CCM	Haupt-Fr.	1	97,00	598,69	56,23
Mais	GPS	Haupt-Fr.	1	94,52	538,40	55,09
Mais	GPS	Zweit-Fr.	1	95,72	551,12	55,00
SB	GPS	Haupt-Fr.	1	89,14	458,16	57,26
Senf	GPS	So.-Zw.Fr.	1	79,98	565,20	56,10
SGer	GPS	Haupt-Fr.	1	94,11	485,10	55,39
SRog	GPS	Haupt-Fr.	1	95,68	493,29	55,00
SRog STrit	GPS	Haupt-Fr.	1	95,26	483,53	55,39
STrit	GPS	Haupt-Fr.	1	94,83	473,77	55,77
STrit	GPS	So.-Zw.Fr.	1	72,58	400,82	57,10
SuGr	GPS	Haupt-Fr.	1	93,31	415,29	55,18
SuGr	GPS	Haupt-Fr.	2	93,31	415,29	55,18
SuGr	GPS	So.-Zw.Fr.	1	91,23	414,47	56,96
SuGr	GPS	Zweit-Fr.	1	93,78	469,53	55,22
SuGr	GPS	Zweit-Fr.	2	93,78	469,53	55,20
Topi	Kr	Haupt-Fr.	1	89,99	537,30	53,40
WeiWeiGr	GPS	Haupt-Fr.	1	86,20	548,88	56,61
WeiWeiGr	GPS	Haupt-Fr.	2	86,20	492,49	56,64
WeiWeiGr	GPS	Wi.-Zw.Fr.	1	91,62	592,26	54,97
WGer	GPS	Haupt-Fr.	1	94,65	489,57	55,18
WGer	GPS	Wi.-Zw.Fr.	1	92,19	550,07	55,99
WGer WTrit	GPS	Haupt-Fr.	1	95,07	514,63	55,19
WWei						
WRap	GPS	Haupt-Fr.	1	90,93	480,71	58,35
WRap	GPS	Wi.-Zw.Fr.	1	86,49	537,43	58,19
WRog	GPS	Haupt-Fr.	1	94,81	526,67	55,24
WRog	GPS	Wi.-Zw.Fr.	1	92,71	501,96	56,27
WRog WWick	GPS	Haupt-Fr.	1	94,86	539,04	55,26
WTrit	GPS	Haupt-Fr.	1	94,65	571,15	55,22
WTrit	GPS	Wi.-Zw.Fr.	1	92,03	512,47	56,12
WWei	GPS	Haupt-Fr.	1	95,90	483,18	55,18
ZHirse	GPS	Haupt-Fr.	1	78,73	562,60	51,80
ZHirse	GPS	So.-Zw.Fr.	1	89,19	562,60	51,80
ZHirse	GPS	Zweit-Fr.	1	94,96	562,60	51,80

Mittlerer Gasbildungsparameter bei Berücksichtigung des Fruchtanteils und des Reifestadiums, nach WILLMS

Kürzel	FF_Stellung	Schnitt	oTM-Gehalt	Biogas je kg oTM	CH ₄ -Gehalt
EinWeiGr	So.-Zw.Fr.	2	88,30	543,45	55,79
Erb	So.-Zw.Fr.	1	91,53	490,99	57,91
Erb Ha Leind	Haupt-Fr.	1	94,11	499,83	55,18
GerGras	Haupt-Fr.	2	89,18	308,66	54,97
Ha	Haupt-Fr.	1	93,69	472,78	54,95
HaMisch	Haupt-Fr.	1	93,48	473,74	55,22
KleeGr	Haupt-Fr.	2	89,51	318,19	56,36
KleeGr	Untersaat	2	88,15	264,00	56,69
LaBeGe	Wi.-Zw.Fr.	2	90,68	529,70	56,47
LuzGr	Haupt-Fr.	2	89,60	206,64	56,86
LuzGr	Untersaat	2	87,38	212,47	56,23
LuzKleeGr	Haupt-Fr.	2	89,77	251,62	57,21
Mais	Haupt-Fr.	1	95,86	534,04	54,35
Mais	Zweit-Fr.	1	95,84	558,54	54,35
Ölr	So.-Zw.Fr.	1	80,41	576,46	57,48
SB	Haupt-Fr.	1	88,91	516,42	55,89
Senf	So.-Zw.Fr.	1	80,43	529,76	57,02
SGer	Haupt-Fr.	1	93,80	377,73	54,47
SRog	Haupt-Fr.	1	95,57	447,10	54,26
SRog STrit	Haupt-Fr.	1	95,04	263,36	54,39
STrit	Haupt-Fr.	1	94,87	515,49	54,98
SuGr	Haupt-Fr.	1	94,50	448,46	54,31
SuGr	Haupt-Fr.	2	93,28	465,90	55,02
SuGr	So.-Zw.Fr.	1	91,27	539,13	56,26
SuGr	Zweit-Fr.	1	94,07	468,33	54,33
SuGr	Zweit-Fr.	2	90,78	504,93	55,57
WeiWeiGr	Haupt-Fr.	2	86,20	561,88	55,75
WeiWeiGr	Wi.-Zw.Fr.	2	91,28	648,64	54,22
WGer	Haupt-Fr.	1	94,65	486,39	54,20
WGer	Wi.-Zw.Fr.	1	92,15	605,53	55,18
WGer WTrit WWei	Haupt-Fr.	1	94,07	167,02	54,07
WRap	Haupt-Fr.	1	90,91	512,16	57,11
WRap	Wi.-Zw.Fr.	1	86,44	619,05	56,60
WRog	Haupt-Fr.	1	95,50	539,93	54,36
WRog	Wi.-Zw.Fr.	1	93,10	576,83	55,26
WRog WWick	Haupt-Fr.	1	95,73	258,04	54,68
WTrit	Haupt-Fr.	1	95,01	517,61	54,49
WTrit	Wi.-Zw.Fr.	1	91,97	604,03	55,16
WWei	Haupt-Fr.	1	95,94	498,97	54,48
ZHirse	Haupt-Fr.	1	93,59	394,22	54,86
ZHirse	So.-Zw.Fr.	1	91,75	525,80	55,24
ZHirse	Zweit-Fr.	1	95,22	453,69	54,08

Einzelheiten der getroffenen ökonomischen Annahmen und eine Methodikbeschreibung enthält der nachfolgende Bericht (Anlage).

7 Anlage

Ökonomische Bewertung des Anbaus und der Nutzung von Energiepflanzen (Auszug)

Dr. Thore Toews, Prof. h. c. Dr. Dr. Friedrich Kuhlmann, Justus-Liebig-Universität Gießen

I Theoretische Vorüberlegungen zur Auswertung der Versuchsergebnisse

Um die Ertrageinflüsse der nicht beeinflussbaren Wachstumsfaktoren untersuchen zu können, sollten die beeinflussbaren 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 pflanzenbaulicher 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 widerspiegeln. Weiter wird unterstellt, dass die ersten drei Versuchsjahre zusammen bereits eine gewisse Repräsentativität für die Klimabedingungen des Standortes besitzen, sodass – mit Einschränkungen – eine Extrapolation von den Versuchsergebnissen auf die zukünftig zu erwartenden Erträge zulässig ist.

II 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 II.1) in Abschnitt II.2 definiert.

II.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 Arbeitserledigungsaufwendungen zwischen den Anbaualternativen ergeben, sodass 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.

II.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 ($\text{€} \times \text{ha}^{-1} \times \text{Jahr}^{-1}$). 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.

II.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 Anbausys-

tem zu Anbausystem unterschiedlich sein können. Demgegenüber sind entkoppelte Flächenprä-mien fixe Leistungen, weil sie nicht in Abhängigkeit von Anbausystemen variieren.

In diesem Zusammenhang ist zu berücksichtigen, dass die Naturalerträge einzelner Fruchtfolge-glieder in unterschiedlichen Fruchtfolgen aufgrund von Vorfrucht-Nachfrucht-Wirkungen unter-schiedlich sein werden. Stellt man deshalb Deckungsbeitragsvergleiche für einzelne Fruchtfolgeglie-der an, die in verschiedenen Fruchtfolgen stehen, muss man sich dieses möglichen Fehlers be-wusst 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 unter-schiedlichen Fruchtfolgen liefern nur vorläufige Ergebnisse, die – unter sachgerechter Berücksichti-gung der genannten Einschränkungen – gleichwohl wichtige Hinweise zur Wirtschaftlichkeit liefern können.

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

II.2.2 Variable und fixe Kosten bei der Bewertung von Anbausystemen

Zur Berechnung der variablen Kosten für den EVA-Deckungsbeitrag sind sämtliche Materialauf-wendungen (Saatgut, Pflanzenschutz- und Düngemittel etc.) und sämtliche Arbeitserledigungsauf-wendungen für den Maschinen- und Arbeitseinsatz zu berücksichtigen, da sie von Anbausystem zu Anbausystem unterschiedliche Beträge aufweisen können.

Darüber hinaus sind Trocknungskosten als variable Kosten in Ansatz zu bringen, da sie nur für be-stimmte Früchte auftreten und damit von Anbausystem zu Anbausystem variieren. Lagerhaltungs-kosten 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 vernach-lässigbar.

Flächennutzungskosten wie Pachtzins bzw. Pachtzinsanspruch und Grundsteuern werden zur Be-stimmung des EVA-Deckungsbeitrages nicht in Ansatz gebracht, weil sie erstens nicht von Anbau-system 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.

II.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 Flächen Differenz 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 ver-

kaufen. 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.

II.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.

II.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 familien-eigene Arbeitskräfte, dann fällt der Gewinn höher aus als in einem Pachtbetrieb mit Fremdarbeitsverfassung. Dies ergibt sich daraus, dass für die eigenen Produktionsfaktoren keine Aufwendungen bei der Berechnung des Gewinns geltend gemacht werden dürfen. Wenn aber bei gleichen natürlichen Leistungen und mengenmäßigen Aufwendungen 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 Unternehmerngewinn 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 Management, der Grundsteuer A und Verbandsbeiträgen. In der Summe werden als grober Anhaltswert etwa $50 \text{ € ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ an Fixkosten anfallen. Die Flächenkosten werden durch den ortsüblichen Pachtzins bestimmt.

II.6 Mehrwertsteuer

Bei der Umsatzbesteuerung genießen landwirtschaftliche Unternehmen eine Sonderstellung. Neben der Regelbesteuerung können diese die Pauschalierung wählen. Produktionsmittel werden dann inkl. 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.

III Annahmen zu Mengengerüsten und Preisen (Methodik)

III.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.

III.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 Windens 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 ($FM_{\text{angewelkt}}$) erfolgt nach Gleichung 3. Die Gleichungen 1 und 2 dienen der Herleitung.

Gleichung 1: $TM_Gehalt_{\text{angewelkt}} = TM_Gehalt_{\text{frisch}} + 0,10$

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

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

Da in den Versuchen der stehende Bestand mit einem Messerbalken abgetrennt und direkt abgefahren wird, wird quasi der Bruttoertrag inkl. der Bröckelverluste erfasst. Um diesen Fehler zu korrigieren, wird bei allen anzuwelkenden Prüfgliedern ein Bröckelverlust von 10 % berücksichtigt.

III.1.2 Marktflechterträge

Bei den Versuchsgliedern in denen nur die Körner als Marktflechter 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.

III.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 Auswahlrübrik 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 Tab. 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, sodass 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.

III.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:
$$M_{CH_4} [g/M] \cdot A_{CH_4} [\%] + M_{CO_2} [g/M] \cdot A_{CO_2} [\%] = M_{Biogas} [g/M]$$

Gleichung 5:
$$\frac{M_{Biogas} \left[\frac{g}{M} \right]}{Molvolumen \left[\frac{m^3}{M} \right]} = Masse_{Biogas} \left[\frac{g}{M} \right]$$

Gleichung 6:

$$\text{Masse}_{\text{Biogas}} \left[\frac{\text{g}}{\text{NL}} \right] \times \text{Biogasmenge} \left[\frac{\text{NL}}{\text{kg TM}} \right] \times \text{TM}_{\text{Gehalt}} \left[\frac{\text{kg TM}}{\text{kg FM}} \right] = \text{Massenverlust} \left[\frac{\text{g}}{\text{kg FM}} \right]$$

Gleichung 7: $1000 \left[\frac{\text{g}}{\text{kg FM}} \right] - \text{Massenverlust} \left[\frac{\text{g}}{\text{kg FM}} \right] = \text{Gärrestmenge} \left[\frac{\text{g}}{\text{kg FM}} \right]$

M: molare Masse

A: Volumenanteil

Die Masse von einem Mol CH₄ beträgt 16 g, die von einem Mol CO₂ 44 g. Ein Mol hat ein Volumen von 22,4 l.

III.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 der nachfolgenden 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 m³ Volumen mit einem 15 m breiten Schleppschlauchverteiler und einen Schlepper mit 120 kW.

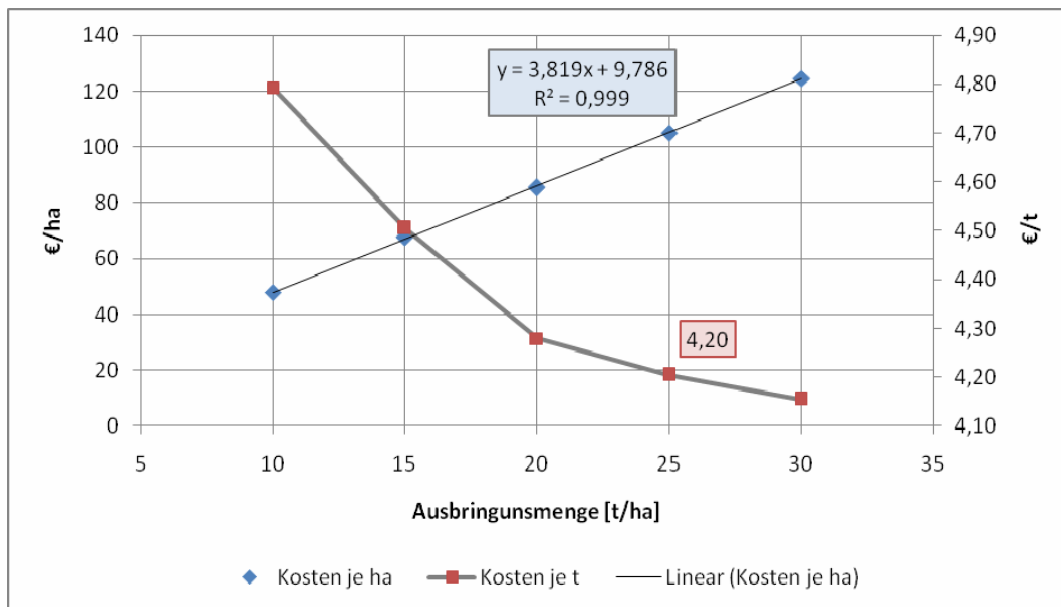


Abbildung 1: Gärrestausbringungskosten in Abhängigkeit von der Ausbringungsmenge

(Quelle: KTBL 2008; Darstellung nach TOEWS)

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). Dieser Kostenfaktor wird mit der jeweils auszubringenden Gärrestmenge multipliziert (siehe III.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 m³-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 m³ ersetzt 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 m³-Gärrestgabe 1,4 Mineraldüngergabe (à 300 kg/ha) eingespart werden können.

III.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 III.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.

III.4 Ganzpflanzenerntekosten

Die Erntekosten der unterschiedlichen Gärsubstrate (Sonnenblume, Mais, Sudangras, Roggen-GPS etc.) werden weniger durch die zu erntenden Pflanzen 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 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 Abb. 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.

Zur Berechnung der jeweiligen Erntekosten der Versuchsglieder wird die Ausgleichsgerade, wie sie in Abb. 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 Ausgleichsgerade 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 Abb. 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 Abb. 3).

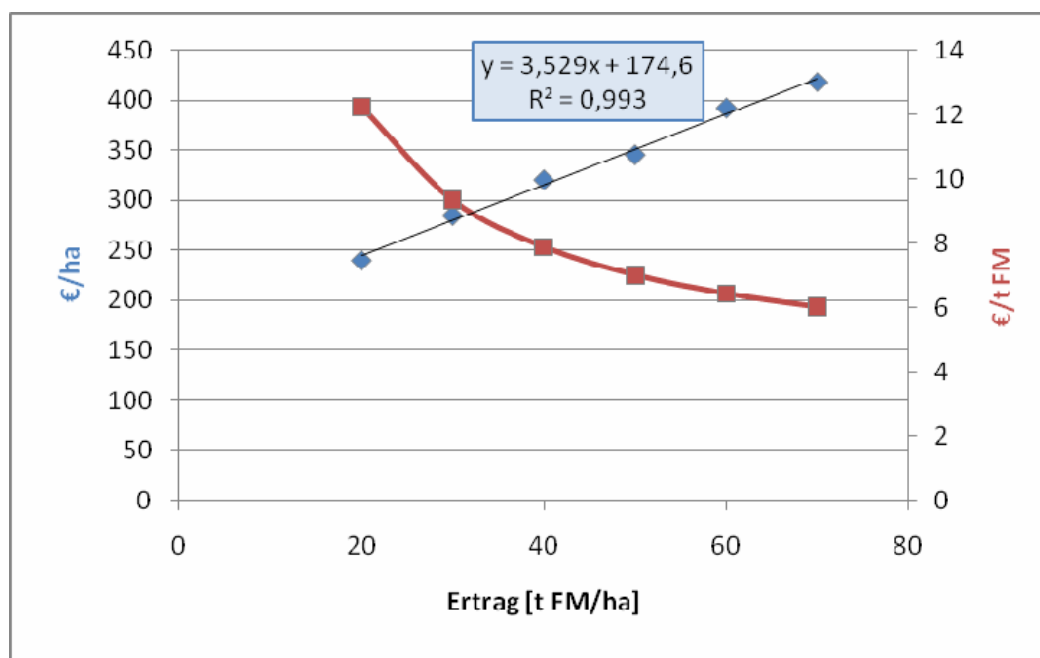


Abbildung 2: Vollkosten der Ganzpflanzenernte (GPS-Ernte)

(Quelle: Berechnungen nach TOEWS, KTBL 2008b)

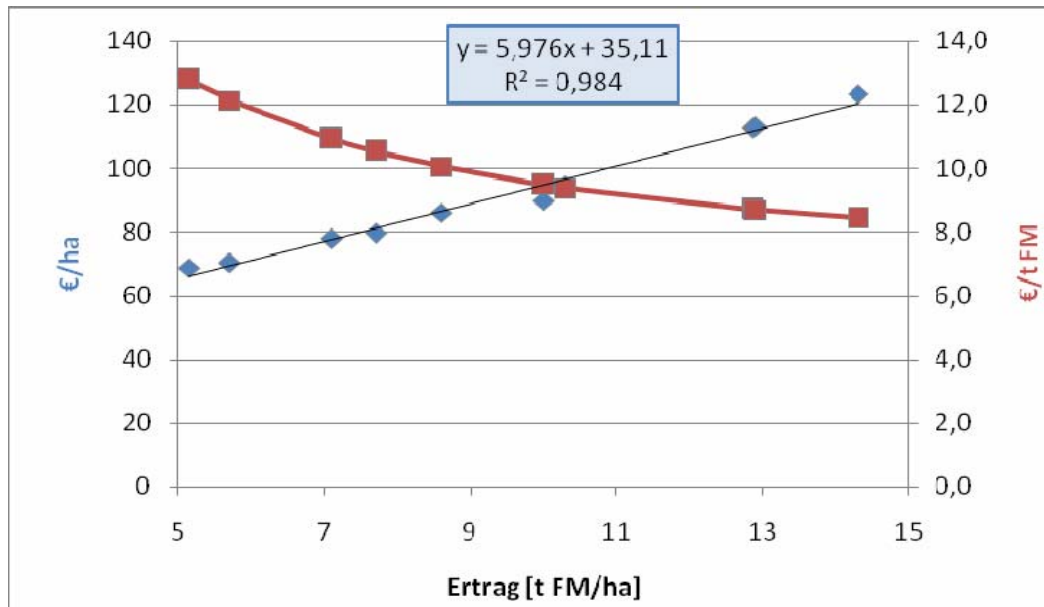


Abbildung 3: Vollkosten des Grashäckselns

(Quelle: Berechnungen nach TOEWS; KTBL 2008a)

III.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 €-ct/l und ein Strompreis von 15 €-ct/kWh angesetzt.

III.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 Agrarrohstoffe 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 Marktfreuchtanbaus (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, dass die Verdrängung von bestehenden Produktionsrichtungen der Nahrungsproduktion größer ausfällt als aktuell gemeinhin erwartet wird, wenn kein allgemeiner (exogener) Preisanstieg für Agrarrohstoffe auf dem Weltmarkt erfolgt oder wenn das EEG nicht erneut anpasst 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, sodass 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.

III.6.1 Angebot

Ein Ackerbauer wird dann bereit sein 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 widerspiegelt.

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 Tab. 2). Der Indifferenzpreis von Silomais ist der Preis, bei dem der Deckungsbeitrag genau dem der Weizenproduktion entspricht. In der Kostenkalkulation der Tab. 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

(Quelle: Berechnungen nach TOEWS)

		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

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, sodass 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.

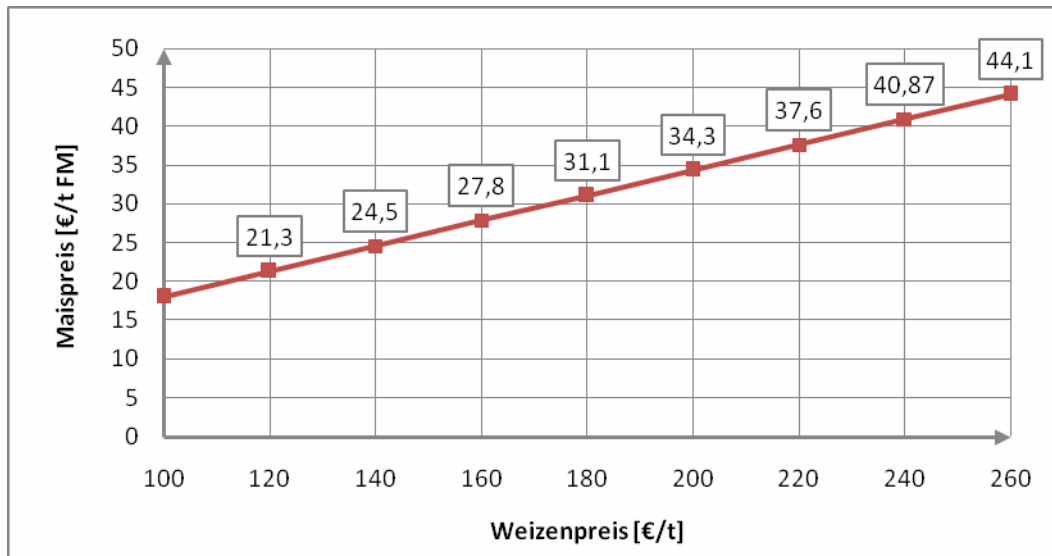


Abbildung 4: Indifferenzpreis von Maissilage in Abhängigkeit vom Weizenpreis

Nach Vorgabe der Projektleitung soll das Gasbildungspotenzial der unterschiedlichen Versuchsglieder mit Hilfe der Werte der WEENDER-Analyse berechnet werden (siehe Kapitel III.15). Nach dieser Methode hat Silomais in Hauptfruchtstellung gemittelt über alle EVA-Daten mit einem TM-Gehalt von 32% ein Methanbildungspotenzial von 90,6 m³/t FM. Nach Angaben der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL) liefert durchschnittliche Maissilage mit 32% TM 93,8 m³ CH₄/t FM. Diese Werte liegen noch nicht besonders weit auseinander. Nach SEDLMEIER (2008) wird der Wert von 93,8 m³/t in der Praxis allerdings regelmäßig deutlich überschritten. So wurden in Praxisanlagen häufig um 20% höhere Gaserträge gemessen (SEDLMEIER 2008). In Tab. 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 m³ Methan.

Tabelle 3: Ableitung der CH₄-Preise in Abhängigkeit vom Gasbildungsvermögen

(Quelle: Berechnungen nach TOEWS)

	m ³ CH ₄ /t	€/m ³ CH ₄
EVA-Vorgabe	91	0,31
LfL	94	0,30
LfL + 20%	113	0,25

III.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 (inkl. der Faktorkosten) gedeckt, darüber hinaus aber kein positiver Unternehmensgewinn 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 m³ CH₄/t Silomais (EVA-Vorgabe), dann liegt der Veredelungswert nach eigenen Berechnungen bei ca. 35 €/t. Bei einem Gasbildungsvermögen von 113 m³ CH₄/t Silomais steigt der Veredelungswert allerdings auf knapp 44 €/t.

III.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, sodass 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, sodass 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/m³.

III.7 Marktf Fruchtpreise

Die Marktf Fruchtpreise für fast alle landwirtschaftlichen Pflanzenrohstoffe sind vom Wirtschaftsjahr¹ 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 Abb. 5 sind die mittleren Preisindizes der jüngsten neun 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.

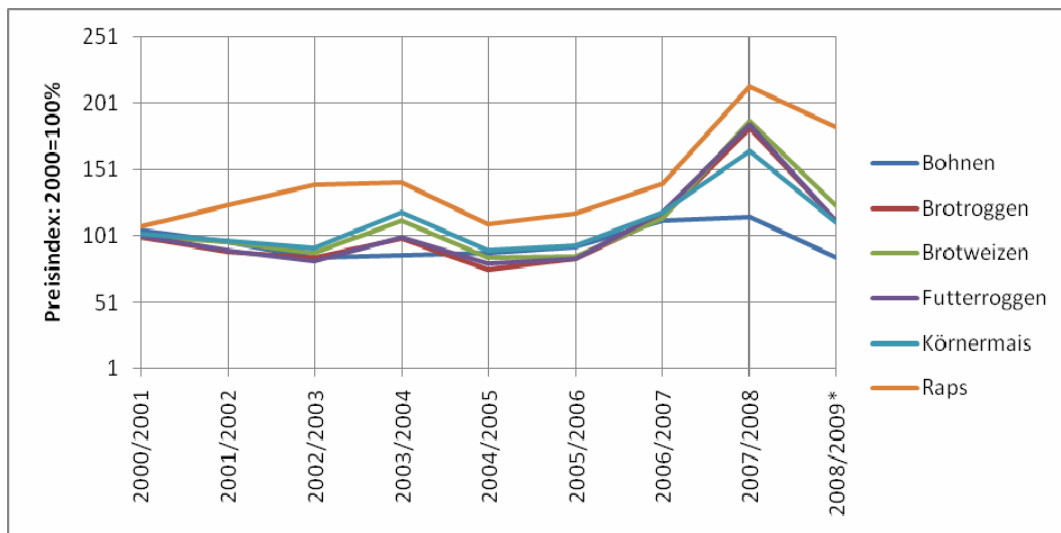


Abbildung 5: Preisindizes landwirtschaftlicher Rohstoffe (Erzeugerpreisebene)

(Quelle: DESTASTIS 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 BAYERISCHEN LANDESANSTALT

¹ Von Juli bis Juni des Folgejahres.

FÜR LANDWIRTSCHAFT (2008) und für Lupinen die des LANDESAMTES FÜR VERBRAUCHERSCHUTZ, LANDWIRTSCHAFT UND FLURNEUORDNUNG BRANDENBURG (2004) verwendet. In Tab. 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 Abb. 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, ist es beim USDA ein mittlerer Preis von 17 €/dt. 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 Tab. 4 genannte Weizenpreis von 14,67 €/dt fügt sich sehr gut in das Bild der Prognosen von USDA und Fapri.

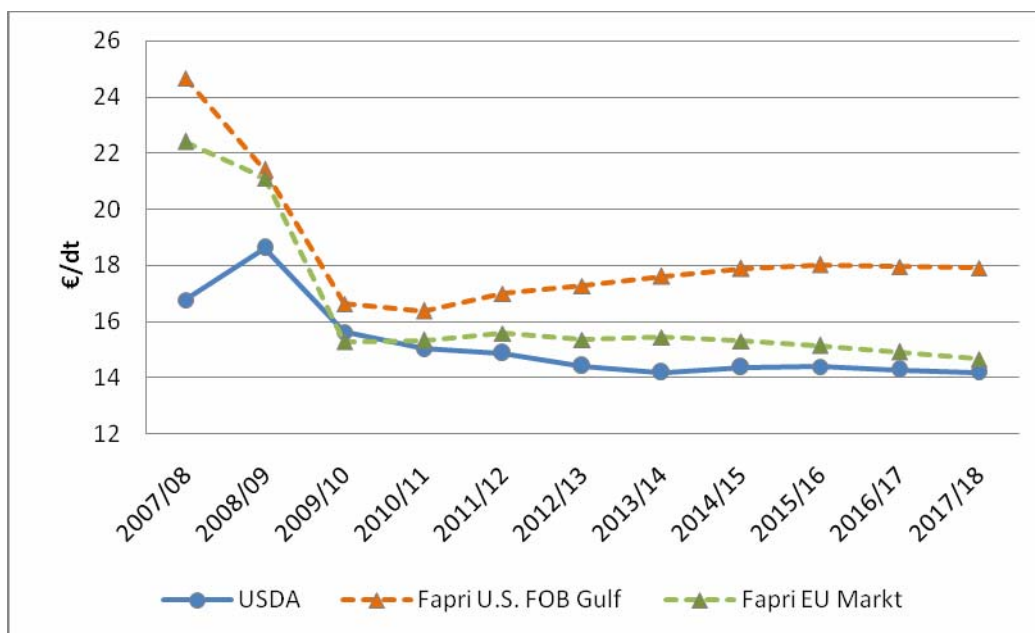


Abbildung 6: Weizenpreisprognosen in €/dt

(Quelle: Berechnungen nach TOEWS und Darstellung nach USDA 2009; FAPRI 2009; EUROPEAN CENTRAL BANK 2009)

III.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 III.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 Tab. 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.

III.9 Düngerpreise

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

anstieg sogar 340 %. Ab Januar weist 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, sodass derselbe Zeitraum wie für die Produktpreisbestimmung (siehe Abschnitt III.7) verwendet wird. Die so ermittelten Preise werden für die Auswertungen verwendet und sind jeweils bezogen auf die Oxidform bzw. auf das Element in Tab. 5 wiedergegeben.

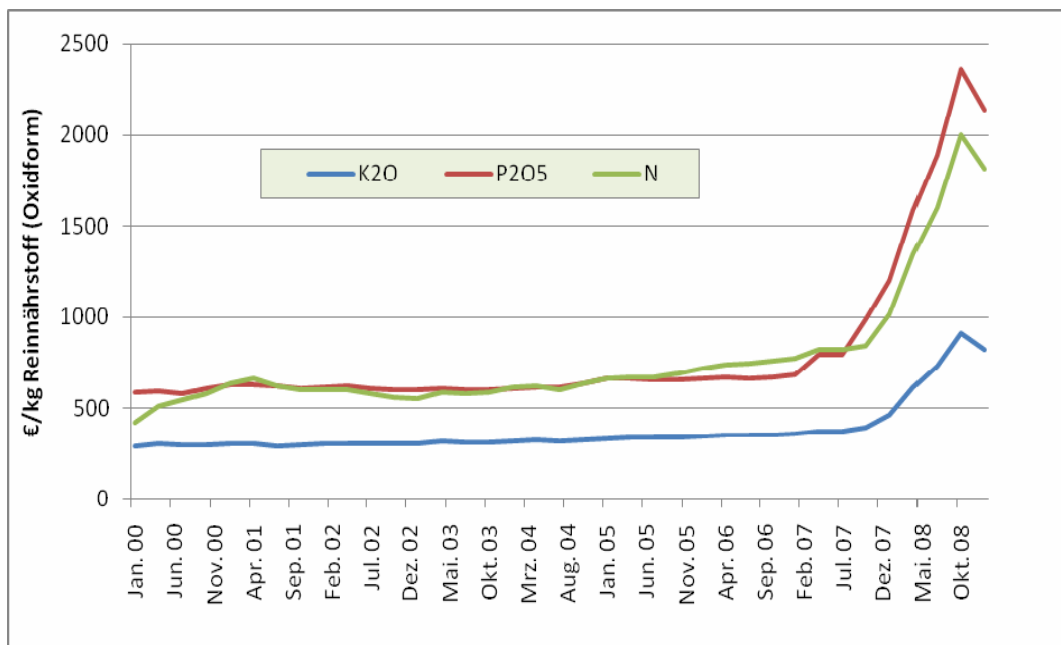


Abbildung 7: Düngerpreisentwicklung von Januar 2000 bis Januar 2009

(Quelle: Berechnungen nach TOEWS und Darstellung nach DESTATIS 2009; BMELV 2007)

Tabelle 5: Verwendete Nährstoffpreise €/t

	N	P ₂ O ₅ bzw. P	K ₂ O bzw. K
Oxidform		1094	476
Element	1025	2507	573

III.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 des Weiteren 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 drei Jahren $60 \text{ kg N}/(\text{ha} \times \text{a})$ nicht übersteigen. Bei rein mineralischer Düngung unterstellt die Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (2007) bei allen Nutzpflanzen einen N-Überschuss von $30 \text{ kg}/(\text{ha} \times \text{a})$. 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.

III.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, sodass 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, sodass 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, 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, sodass 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.

Werden P und K „im Kreis geführt“, 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.

III.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.

III.13 Leguminosen

Um die Stickstofffixierungsleistung der Leguminosen bzw. der Leguminosengemische zu bestimmen, werden die Angaben der BAYERISCHEN LANDESANSTALT FÜR LANDWIRTSCHAFT (2007) zu den Stickstoffgehalten und Stickstofffixierungsleistungen herangezogen (siehe Tab. 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. Luzernegrass, 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), sodass die Bilanz positiv ist. Es wird also mehr Stickstoff gebunden als entzogen.

Tabelle 6: Symbiotische N-Bindung

(Quelle: BAYERISCHE LFL 2007; Berechnung und Darstellung nach TOEWS)

	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%
Kleegrass (Kleeanteil <60 %)	0,52	0,27	52%
Luzernegrass (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)

Aufbauend auf den oben dargestellten Werten der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft werden Hypothesen für die Stickstofffixierungsleistung der im Grundversuch angebauten Leguminosen formuliert (siehe Tab. 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 3.11

III.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.

III.15 Biogasausbeuten

Es existieren unterschiedliche Formeln zur Berechnung der Biogasausbeuten von Gärsubstraten. Einerseits unterscheiden sich die Formeln darin, dass jeweils andere Parameter als erklärende Variable 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, CH₄-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. und Folgeschnitte) gruppiert und dann die Gasbildungskoeffizienten entsprechend gemittelt werden. Die Ergebnisse sind in Tab. 9 wiedergegeben. 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%

Frucht	FF-Stellung	Nutz- ung	Ernte	oTM- Gehalt	Biogas m ³ /t oTM	Methan- ertrag m ³ /t oTM	Methan- gehalt
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%
WeiWeiGr	Haupt-Fr.	GPS	1.ter Schnitt	91%	622	336	54%
WeiWeiGr	Haupt-Fr.	GPS	1+n.ter Schnitt	88%	552	307	56%
WeiWeiGr	Wi.-Zw.Fr.	GPS		92%	649	352	54%
WGer	Haupt-Fr.	GPS		95%	486	264	54%
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 Tab. 10 sind die so ermittelten CH₄-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 Methanerträgen des Zweikulturnutzungs-Grundversuchs

Frucht	FF-Stellung	Methanertrag m ³ CH ₄ /t TM	
		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.Erbesen, 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 Abb. 8 die Histogramme der Methanerträge von Mais in Haupt- und Zweitfruchtstellung, 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 Tab. 10), während die Sonnenblumen deutlich geringere CH₄-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.

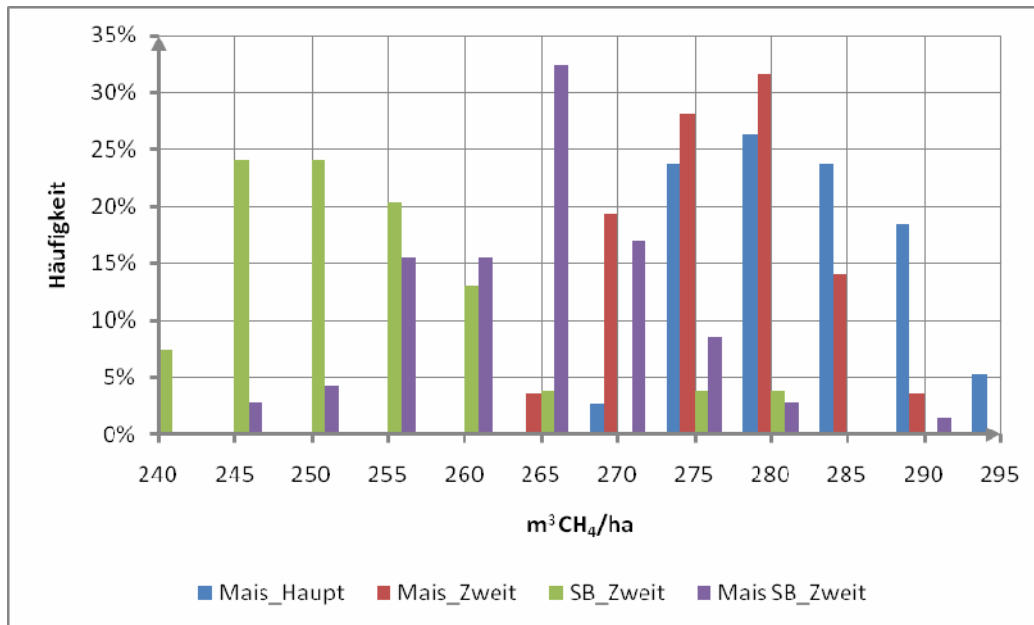


Abbildung 8: Histogramme der Methanerträge [$\text{m}^3 \text{CH}_4/\text{t TM}$]
(Quelle: Darstellung nach TOEWS und Berechnung nach BUTTLAR 2009)

Aus Abb. 8 wird nochmals 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.

III.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 Preisankünfte verwendet. In Tab. 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
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
Knautgras	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
Saffor	2,2	kg
Senf	2,15	kg
Serradella	10	kg
Sonnenblumen	90	Einheit
Sorghum-Hybride	4	kg

Frucht	Preis €/Einheit	Einheit
Steinklee	0,4	kg
Sudangras	1,7	kg
Topinambur	0,45	kg
W.Erbesen	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
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

IV 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
- DESTATIS (2009b): Erzeugerpreisindizes landwirtschaftlicher Produkte: GENESIS-Tabelle: 61211-0005
- DESTATIS (2009c): Index der Einkaufspreise landwirtschaftl. Betriebsmittel
- 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 Ko-substraten. 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
- LVL (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

Impressum

Herausgeber:	Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie Pillnitzer Platz 3, 01326 Dresden Internet: http://www.smul.sachsen.de/lfulg
Autoren:	Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie Abteilung Pflanzliche Erzeugung Dr. habil. Christian Röhrich, Dr. Sven Freydank, Stefan Schröder Gustav-Kühn-Str. 8 04159 Leipzig Telefon: 0341 9174-284 Telefax: 0341 9174-111 E-Mail: christian.roehricht@smul.sachsen.de
Redaktion:	siehe Autoren
Endredaktion:	Öffentlichkeitsarbeit Präsidialabteilung
ISSN:	1867-2868
Redaktionsschluss	August 2009

Für alle angegebenen E-Mail-Adressen gilt:

Kein Zugang für elektronisch signierte sowie für verschlüsselte elektronische Dokumente

Verteilerhinweis

Diese Informationsschrift wird von der Sächsischen Staatsregierung im Rahmen der Öffentlichkeitsarbeit herausgegeben. Sie darf weder von Parteien noch von Wahlhelfern zum Zwecke der Wahlwerbung verwendet werden. Dies gilt für alle Wahlen.