

Aus dem Institut für Landnutzung
der Agrar- und Umweltwissenschaftlichen Fakultät

Beurteilung unterschiedlicher Energiefruchtfolgen hinsichtlich ihrer Nachhaltigkeit und
Rentabilität bei der Rohstoffversorgung von Biogasanlagen für die Region
Mecklenburg – Vorpommern

Dissertation
zur
Erlangung des akademischen Grades
Doctor agriculturæ (Dr. agr.)
an der Agrar- und Umweltwissenschaftlichen Fakultät
der Universität Rostock

vorgelegt von Dipl. agr. Ing. Jana Peters
aus Rostock

Rostock, 15.09.2010

Tag der Verteidigung: 09.06.2011

Gutachter: Dr. habil. Bettina Eichler Löbermann, Universität Rostock

Gutachter: Prof. Dr. habil. Henning Kage, Christian-Alberts-Universität zu Kiel

Gutachter: Prof. Dr. habil. Olaf Christen, Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg

Gutachter: Dr. Andreas Gurgel, Landesforschungsanstalt für Landwirtschaft und
Fischerei Mecklenburg-Vorpommern

INHALTSVERZEICHNIS

1	Einleitung.....	1
2	Ziel.....	7
3	Material und Methoden.....	9
3.1	Fruchtfolgegestaltung und Standortcharakterisierung.....	9
3.1.1	Versuchsanlage und Fruchtfolgegestaltung.....	9
3.1.2	Standortcharakterisierung.....	10
3.1.3	Witterungsverlauf und Klimatische Wasserbilanz.....	12
3.2	Methoden zur Merkmalerfassung pflanzenbaulicher Parameter....	15
3.3	Methoden zur Ermittlung der Methangasausbeute.....	18
3.4	Ökologische Begleitforschung.....	18
3.4.1	Methoden zur Nährstoffbilanzierung der Fruchtfolgen.....	18
3.4.2	Methoden zur Humus–Bilanzierung.....	20
3.4.3	Methoden zur Energiebilanzierung der Fruchtfolgen.....	21
3.5	Ökonomische Berechnungen.....	24
3.5.1	Deckungsbeitrag/Gewinnbeitrag.....	24
3.5.2	Produktionsschwelle und Relative Vorzüglichkeit.....	27
3.6	Statistische Auswertung.....	28
4	Ergebnisse und Diskussion.....	29
4.1	Erträge.....	29
4.1.1	Erträge einzelner Fruchtarten.....	29
4.1.2	Erträge der Fruchtfolgen.....	38
4.1.3	Theoretische Biogas- und Methangasausbeute.....	40
4.2	Ökologische Begleitforschung.....	43
4.2.1	Nährstoffbilanzierungen der Fruchtfolgen.....	43
4.2.1.1	Stickstoff.....	43

4.2.1.2	Phosphor	47
4.2.1.3	Kalium	53
4.2.2	Humusbilanzierung der Fruchtfolgen.....	57
4.2.3	Energiebilanz.....	64
4.2.3.1	Energiebilanzierung der Fruchtarten	64
4.2.3.2	Energiebilanzierung der Fruchtfolgen.....	70
4.3	Ökonomie	74
4.3.1	Deckungsbeitrag und Gewinnbeitrag.....	74
4.3.1.1	Deckungsbeitrag.....	74
4.3.1.2	Gewinnbeitrag	77
4.3.2	Relative Vorzüglichkeit und Produktionsschwelle.....	79
5	Schlussfolgerungen	83
5.1	Für die landwirtschaftliche Praxis	83
5.2	Für die Verwaltung	86
5.3	Für die Forschung	87
6	Zusammenfassung	91
7	Literatur	98
8	Danksagung	115
9	Erklärung	116
Anhang	117
Tabellen	117
Abbildungen	160
Thesen zur Dissertation	167

ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

Abkürzungen Bezeichnung

ALK	Arbeits erledigungskosten (Maschinenunterhalt, Reparaturkosten, Treib- u. Schmierstoffe, Lohn)
AM	Artenmischung
AZ	Ackerzahl
BEE	Besondere Ernte- und Qualitätsermittlung
BFEE	Bruttofeldenergieertrag
BMEE	Bruttomethanenergieertrag
BMELV	Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz
BSA	Bundessortenamt
C _t	Kohlenstoff total
DB	Deckungsbeitrag
DüV	Düngeverordnung
DWD	Deutscher Wetterdienst
dynHE+G- E.Weidel.	dynamischer HE-Methode, Gärrest nach Gutser u. Ebertseder, Einjähriges Weidelgras
EvA	Projektname: „Entwicklung und Vergleich von optimierten Anbausystemen für die landwirtschaftliche Produktion von Energiepflanzen unter den verschiedenen Standortbedingungen Deutschlands.“
EF	Felderntefaktor
FA	Fruchtart
FF	Fruchtfolge
FM	Frischmasse
FoTS	fermentierbare organische Trockensubstanz
G.Gras	Gerstgras
GP	Ganzpflanzen
GPS	Ganzpflanzensilage
GPV	Gesamtporenvolumen
H	Hafer
ha	Hektar
HF	Hauptfrucht
Hi	Mittlerer Heizwert
HR	Humusreproduktionskoeffizienten

Abkürzungen	Bezeichnung
langj. MW Nied.	Langjähriger Mittelwert Niederschlag
langj. MW Temp.	Langjähriger Mittelwert Temperatur
K	Kalium
Ko	Korn
KEA	Kumulierter Energieaufwand
KleeG	Kleegras
kW	Kilo Watt
KWB	Klimatische Wasserbilanz
JKI	Julius Kühn-Institut, Institut für Pflanzenbau und Bodenkunde
LFA	Landesforschungsanstalt für Landwirtschaft und Fischerei Mecklenburg-Vorpommern
LSV	Landessortenversuch
MJ/t FM	Megajoule pro Tonne Frischmasse
MMK	Mittelmaßstäbige Standortkartierung
N	Stickstoff
nFK _{WE}	Nutzbare Feldkapazität des effektiven Wurzelraumes
NHN	Normalhöhennull
OK	Opportunitätskosten (Entgangener DB für eine Marktfrucht, bzw. -folge)
Ölr.	Ölrettich
P	Phosphor
PS	Produktionsschwelle
S	Stroh
SG	Sommergerste
SG (U)	Sommergerste mit Untersaat
SM	Sortenmischung
So	Sorghumhirse
SR	Sommerroggen
ST	Sommertriticale
Su.Gr	Sudangras
SZF	Sommerzwischenfrucht
TM	Trockenmasse
TKM	Tausendkornmasse

Abkürzungen	Bezeichnung
TS	Trockensubstanz
Var. DK	variable Direktkosten (Saatgut, Dünger, PSM, sonst.)
VDLUFA	Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten
W.Weidel.	Welsches Weidelgras
WG	Wintergerste
WR	Winterroggen
WRa	Winterraps
WT	Wintertriticale
WW	Winterweizen
WV	Weiterverarbeitung
WZF	Winterzwischenfrucht
XA	Rohasche
XF	Rohfaser
XL	Rohfett
XP	Rohprotein
XX	Stickstofffreie Extraktstoffe
ZALF	Leibniz-Institut für Agrarlandschaftsforschung e.V.
ZH	Zuckerhirse
Zweit.F	Zweitfrucht
Δ	Differenz

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 1:	Temperatur am Standort Gülzow 2005-2008	12
Abbildung 2:	Niederschlag am Standort Gülzow 2005-2008.....	13
Abbildung 3:	Klimatische Wasserbilanz am Standort Gülzow 2005-2008 (SCHITTENHELM 2008)	15
Abbildung 4:	Ansatz zur vereinfachten N Bilanzierung.....	19
Abbildung 5:	Humusbilanzierung (WILLMS ET AL. 2008)	20
Abbildung 6:	Erträge der Fruchtarten zur Biogasnutzung am Standort Gülzow	32
Abbildung 7:	Korn- und Stroherträge angebauter Fruchtarten (86% bzw. 91% TS).....	34
Abbildung 8:	Winterweizenerträge (TS 86%)	36
Abbildung 9:	adjustierte Frisch- und Trockenmasseerträge der Fruchtfolgen am Standort Gülzow	38
Abbildung 10:	Aufsummierte Methanerträge am Standort Gülzow (2005-2008).....	41
Abbildung 11:	Notwendige Ackerfläche/Jahr zur Versorgung einer 330 kW Biogasanlage	42
Abbildung 12:	Stickstoffbilanz am Standort Gülzow	46
Abbildung 13:	Phosphorbilanz am Standort Gülzow	50
Abbildung 14:	Veränderung P-Gehalt im Boden am Standort Gülzow	52
Abbildung 15:	Kaliumbilanz am Standort Gülzow	55
Abbildung 16:	Veränderung K-Gehalt im Boden am Standort Gülzow	57
Abbildung 17:	fruchtfolgespezifische Humussalden nach VDLUFA 2004	60
Abbildung 18:	fruchtfolgespezifische Humussaldo nach der dynamischen HE- Methode (REPRO)	62
Abbildung 19:	Methodenvergleich: Humussaldo für Silomais Mittelwerte aus 30 Versuchsgliedern. (WILLMS 2009).....	63
Abbildung 20:	Höhe und Zusammensetzung der Energieaufwendungen einzelner Fruchtarten.....	65
Abbildung 21:	fruchtartenspezifischer KEA, Bruttofeldenergieertrag (BFEE) und Felderntefaktor (EF)	67
Abbildung 22:	Vergleich der Erntefaktoren bei Weiterverarbeitung (WV) und ab Feld (F)	68

Abbildung 23: fruchtartenspezifischer KEA, Bruttomethanenergieertrag und Methanerntefaktor.....	69
Abbildung 24: KEA der Energiefruchtfolgen.....	70
Abbildung 25: fruchtfolgespezifischer Bruttofeldenergieertrag und Erntefaktor.....	71
Abbildung 26: Vergleich Erntefaktor der Weiterverarbeitung (WV) und Felderntefaktor (EF) der FF.....	72
Abbildung 27: fruchtfolgespezifischer Bruttomethanenergieertrag und Erntefaktor.....	73
Abbildung 28: Mittlere Deckungsbeiträge der untersuchten Fruchtarten.....	74
Abbildung 29: Deckungsbeitrag am Standort Gülzow.....	77
Abbildung 30: Gewinnbeitrag am Standort Gülzow.....	78
Abbildung 31: Gewinnberechnung bei einer Ackerfläche von 250 ha und einer Biogasanlage mit 330 KW Leistung.....	79

TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 1:	Darstellung der Energiefruchtfolgen in Gülzow	10
Tabelle 2:	Standortcharakterisierung des Standortes Gülzow	11
Tabelle 3:	Nährstoffversorgung der Versuchsfläche zu Versuchsbeginn 2005	12
Tabelle 4:	Boniturmaßnahmen	16
Tabelle 5:	Untersuchungsmethoden Pflanzeninhaltsstoffe	17
Tabelle 6:	Untersuchungsmethoden Bodeneinhaltsstoffe	17
Tabelle 7:	Bewertungsmaßstab der N-Salden	19
Tabelle 8:	Bewertung der Humussalden nach VDLUFA (2004)	21
Tabelle 9:	Klassifizierung der Berechnungsfaktoren für den DB	25
Tabelle 10:	Ausgangsbasis der Berechnungsparameter	26
Tabelle 11:	Vergleich der erzielten Versuchsergebnisse mit BEE und LSV	30
Tabelle 12:	Statistik der Weizenerträge	35
Tabelle 13:	Statistik der adjustierten Fruchtfolgeerträge	39
Tabelle 14:	N-Input- und Outputgrößen der einzelnen Fruchtfolgen	44
Tabelle 15:	P-Input- und Outputgrößen der einzelnen Fruchtfolgen	48
Tabelle 16:	K-Input- und Outputgrößen der einzelnen Fruchtfolgen	53
Tabelle 17:	Übersicht der zu berücksichtigenden Eingangsgrößen verschiedener Methoden der Humusbilanzierung	58
Tabelle 18:	Gleichgewichtspreise einzelner Energiefruchtarten am Standort Gülzow	80
Tabelle 19:	Gleichgewichtspreisberechnung am Standort Gülzow	82

ANHANG

Tabelle A 1:	Langparzellenanlage mit Standardausgleich.....	117
Tabelle A 2:	Agrotechnische Maßnahmen am Standort Gülzow	117
Tabelle A 3:	Besonderheiten agrotechnischer Maßnahmen ausgewählter Kulturarten	143
Tabelle A 4:	Aufgangsbonituren Winterungen 2007	143
Tabelle A 5:	Boniturzeitpunkte der unterschiedlichen Fruchtarten	144
Tabelle A 6:	KEA Parameter zur Energiebilanzierung (LACKEMANN 2008)	145
Tabelle A 7:	Berechnungsgrundlagen zum Maschinen- und Dieselverbrauch (WILLMS ET AL. 2007)	146
Tabelle A 8:	Korrekturfaktoren zur Angleichung erzielter LSV- und EvA -Erträge an Praxiserträge.....	147
Tabelle A 9:	Probenanzahl zur Mittelwertbestimmung der Erträge der Fruchtarten zur Biogasnutzung	148
Tabelle A 10:	Temperatursumme am Standort Gülzow von Juli bis Oktober, (Basistemp. 10 °C)	148
Tabelle A 11:	Trockensubstanzgehalte einzelner Kulturarten (2005-2008).....	148
Tabelle A 12:	Anbauverhältnis der Fruchtarten am Standort Gülzow.....	149
Tabelle A 13:	Berechnung der Humussalden nach VDLUFA 2004	149
Tabelle A 14:	Berechnung der Energieaufwendungen pro Kulturart am Beispiel Sommergerste	151
Tabelle A 15:	Berechnung des Energieertrages [MJ/t FM] und des Hi [MJ/t FM]	152
Tabelle A 16:	Berechnung zum Deckungsbeitrag einzelner Fruchtarten.....	156
Tabelle A 17:	Berechnungen zum Deckungsbeitrag der Fruchtfolgen	157
Tabelle A 18:	Berechnung zum Gewinnbeitrag der Fruchtfolgen	159
Tabelle A 19:	Deckungsbeitragsrechnung der vorgegebenen Marktfruchtfolge.....	159

Abbildung A 1:	Projektionen globaler Erwärmung (ROHDE 2006)	160
Abbildung A 2:	Entwicklung der Rohölpreise (http://www.tecson.de)	160
Abbildung A 3:	Korrelation zwischen Inhaltsstoffen und theoretischer Methangasausbeute	161
Abbildung A 4:	Korrelation zwischen Trockenmasseertrag und theoretischer Methangasausbeute.....	161
Abbildung A 5:	Zusammenhang zwischen Bodentemperatur und Keimdauer bei Sorghumhirse am Standort Gülzow	162
Abbildung A 6:	Weizenerträge in Zusammenhang mit der Vorfrucht.....	162
Abbildung A 7:	Proteingehalte WW 2008 in Gülzow	163
Abbildung A 8:	Niederschlag im Zeitraum der dritten Düngegabe 2008.....	163
Abbildung A 9:	Abhängigkeit der Methangaserträge beider Untersuchungsvarianten	164
Abbildung A 10:	Signifikanz zwischen Veränderungen des P-Gehaltes im Boden und der P-Salden (2005-2008)	164
Abbildung A 11:	Signifikanz zwischen Veränderungen des K-Gehaltes im Boden und der K-Salden (2005-2008)	165
Abbildung A 12:	Entwicklung der Mineralölsteuer (ZINGEL 2007)	165
Abbildung A 13:	Entwicklung der Preise für Ölsaaten von 2007 bis 2009.....	166

1 Einleitung

Der Klimaschutz wird insbesondere durch die Klimaerwärmung der letzten Jahre von 0,7°C (RICHARDSON ET AL. 2009) und Vorhersagen einer Weiterentwicklung dieses Trends (Abbildung A 1) immer stärker in den politischen Fokus gerückt (SIMS ET AL. 2007). Auch VETTER ET AL. (2009) konstatieren, dass der Klimaschutz verbunden mit der Senkung von Treibhausgasemissionen zu einem zentralen Anliegen internationaler und nationaler Politik avanciert. Einen erheblichen Anteil zur Verringerung der Treibhausgase sollen dabei die regenerativen Energien beisteuern (HENKE 2008). Zusätzlich können dadurch ressourcenschonende Energielieferungen gewährleistet werden. Diese Notwendigkeit besteht, da ein zunehmender Verbrauch fossiler Rohstoffe und eine Abnahme der Vorräte weltweit in absehbarer Zukunft zu Engpässen in der Versorgung führen werden (ANONYM 2007). Folgewirkungen sind bereits jetzt auf dem Energiemarkt zu erkennen. Der Preisanstieg der letzten Jahrzehnte (Abbildung A 2) verdeutlicht den Handlungsbedarf auf dem Gebiet der alternativen Energieversorgung. Um teilweise marktregulierend in dieses Geschehen einzugreifen und den aktiven Klimaschutz zu unterstützen, wurde von der Bundesregierung in Deutschland im Jahre 2000 ein Gesetz zur Regulierung der Vergütung von Strom aus regenerativen Quellen (Erneuerbare–Energien–Gesetz (EEG)) ratifiziert. Dieses zog seit der Novellierung 2004 einen rapiden Anstieg hauptsächlich auf dem Sektor Biogasanlagenbau nach sich. Wurden 1992 noch 139 Anlagen deutschlandweit gezählt, prognostizierte der Fachverband BIOGAS e.V. im Jahre 2009 ca. 4780 Biogasanlagen (ANONYM (A) 2009). Dieser Aufschwung, verbunden mit dem Kostendruck in der Rohstoffbereitstellung, fordert neue Erkenntnisse in der nachhaltigen landwirtschaftlichen Produktionsweise (CRAMER ET AL. 2006).

Die Konkurrenz um die Ackerflächen zur Produktion von Nahrungsmitteln oder zum Anbau von erneuerbaren Energieträgern gewinnt immer mehr an Bedeutung (HENKE 2008). Die Diskussion „Tank oder Teller“ bringt kontroverse Ansichten hinsichtlich der Notwendigkeit und Effektivität des Energiepflanzenanbaus hervor (FRESCO 2007, BURDICK & WASKOW 2009). Als Lösung des Problems insbesondere auf dem Biogassektor wird derzeit hauptsächlich ein einseitiger Anbau ertragsstarker Kulturpflanzen deklariert (JESSEL 2010). Überlastun-

gen der Fruchtfolgen mit Mais bis hin zur Monokultur Mais ist in unmittelbarer Nähe von Biogasanlagen weit verbreitet (DANIEL & VOGT 2008). Folgewirkungen dieser Anbaupraxis wie beispielsweise Bodenerosionen, Verringerung des Humushaushaltes, Lachgasemissionen, Erhöhung der Schädlingskonzentration und Verbreitung von Krankheitserregern werden dadurch begünstigt (PETERS & KÖPPEL 2008). Das politische Ziel einer nachhaltigen Biomasseproduktion wird somit nur unzureichend realisiert. Die in der Directive 2009/28/EC (ANONYM (B) 2009) erwünschte energieeffiziente und Treibhausgas reduzierende Biomasseproduktion ist jedoch lediglich durch einen lokalen Anbau mit kurzen Transportwegen möglich (PETERSEN 2008). Bis dato unzureichende Untersuchungen hinsichtlich ertragreicher standortabhängiger Energiefruchtfolgen und deren Naturverträglichkeiten (PETERS & KÖPPEL 2008) verdeutlichen den Forschungsbedarf (SCHRÖDER ET AL. 2008).

Die Methangasausbeute wird maßgeblich von den Inhaltsstoffen der Biomasse und dem Ausschöpfungspotential der Fermentationstechnik bestimmt (FANTOZZI ET AL. 2008). Letzteres wiederum wird durch eine substratgerechte Anlagentechnik (HOPFNER-SIXT & AMON 2007) und der fachgerechten Bedienung des Anlagebetreibers bedingt (SCHOLWIN & LIEBETRAU 2009). Hier treten noch Defizite auf (SCHUMANN 2006). Einflussnehmende Pflanzeninhaltsstoffe sind der Fett-, Eiweiß-, Rohfasergehalt und der Gehalt an N-freien Extraktstoffen (AMON ET AL 2006). Auch LEHTOMÄKI (2006) verweist auf eine Korrelation zwischen den Pflanzeninhaltsstoffen und der Methanausbeute. Es bestehe ein Zusammenhang zwischen unterschiedlichen Erntezeitpunkten und der Veränderung genannter Inhaltsstoffkonzentrationen, woraus der Einfluss auf die Methanausbeute resultiert LEHTOMÄKI (2006). Erweiternd zu dieser These schreibt WEIßBACH (2009), dass neben den bereits genannten Inhaltsstoffen zusätzlich der wesentlich entscheidendere Anteil an biologisch nutzbarer organischer Substanz in die Betrachtungen einbezogen werden solle. Dies ließe sich mithilfe des Parameters „fermentierbare organische Trockensubstanz“ (FoTS) realisieren (WEIßBACH 2008). KAISER (2007) wiederrum bezieht in seinem Berechnungsmodell neben Eiweiß-, Fett-, Rohfasergehalt und den Gehalten an N-freien Extraktstoffen zusätzlich die Nährstoffe Cellulose, Hemicellulose, organischer Rest und ADL ein, um eine exaktere Bestimmung der Methangasausbeute zu reali-

sieren. Die Evaluierung der Berechnungsmodelle nach BASERGA (1998), AMON ET AL. (2007(A)), KAISER (2007) und WEIßBACH (2008) sowie der Laborversuche (Batchverfahren) und Tabellenwerte der KTBL (KTBL 2005) zeigten, dass die Methoden nach KAISER (2007), AMON ET AL. (2007(A)) und WEIßBACH (2008) als ungeeignet für diese Arbeit eingestuft werden müssen. Einerseits fehlt projektbedingt die erweiterte Weender Futtermittelanalyse, und andererseits sind in den genannten Methoden Schätzungsgleichungen nur für ausgewählte Fruchtarten wie Mais, Wintertriticale (GPS), Gerste (GPS), Grünroggen (GPS) und Gras vorhanden. Im Projekt angebaute Hirsesorten, Ackerfuttermischungen, Hafer und Artenmischungen könnten somit keine Berücksichtigung finden.

Durch die Nährstoffbilanzierung kann eine Verarmung des Bodens oder eine Nährstoffauswaschung ins Grundwasser verhindert (ROY ET AL. 2003) und somit die Sicherstellung einer umweltgerechten Landwirtschaft gewährleistet werden. Die Ertragsfähigkeit des Bodens wird langfristig nur über einen ausgeglichenen Nährstoffhaushalt garantiert (MORARI ET AL. 2008, HEYLAND 1996). Kulturartenspezifische Düngerapplikationen leisten dabei einen bedeutenden Beitrag zur Sicherung des erwünschten ausgeglichenen Bodennährstoffhaushaltes (SURENDRAN ET AL. 2005). Da sich gerade bei den Energiepflanzenarten die Düngergaben nach sehr hohen Ertragserwartungen richten, muss hier besonders auf eventuell entstehende Nährstoffausträge ins Grundwasser geachtet werden (DEIKE ET AL. 2008). Kontrollierende Funktionen können hierfür Beobachtungen der Veränderungen von Bodennährstoffgehalten (BARBER 1995) und die fruchtfolgespezifischen Nährstoffbilanzierungen übernehmen (XIAO TANG JU ET AL. 2009, KÖPPEN & KEITLINGHAUS 1993). Beispielsweise verweist LEIDEL 2000 auf die Möglichkeit einer Quantifizierung der potentiellen N-Belastung der Grund- und Oberflächengewässer durch eine Stickstoffbilanzierung. Eine Bilanzierungsmethode ist die Fruchtfolgebilanzierung. Diese ermöglicht detailliertere Rückschlüsse auf die Effizienz der eingesetzten Dünger sowie auf die Nährstoffverluste (KÖPPEN 2004).

Humus ist die organische Substanz des Bodens, einschließlich der in und auf dem Mineralboden befindlichen abgestorbenen pflanzlichen und tierischen Stoffe (SCHEFFER & SCHACHTSCHABEL 2002). Insgesamt wird die Fruchtbarkeit eines Produktionsstandortes entscheidend durch den Humus geprägt (WILLMS 2009,

MANLEY ET AL. 2007). Der Humus wird deshalb als wichtiger Agrar-Umweltindikator angesehen (BROCK ET AL. 2008, LEITHOLD ET AL. 1997). Durch die Beobachtung der Modifikation des Humus-C Haushaltes besteht die Möglichkeit zur Bewertung der ökologischen Wirkung fruchtfolgespezifischer Bewirtschaftungsunterschiede (CHRISTEN & O`HALLORAN-WIETHOLTZ 2002). Als problematisch erweist sich jedoch die exakte Bestimmung der Veränderungsrate des Humus-C Haushaltes in der Ackerkrume. Diese liegt bei $\leq 1\%$ (WILLMS ET AL. 2009). Zur Kennzeichnung dieser geringen Veränderungsrate des Humusgehaltes im Boden sind einfache analytische Verfahren eher ungeeignet, da Messfehler und kleinräumige Bodenheterogenitäten größer sind als die jährliche Änderung der Humusmenge (JANKAUSKAS ET AL. 2006 (A), JANKAUSKAS ET AL. 2006 (B), KOGUT & FRID 1993). Zusätzlich sind die traditionellen Analyseverfahren sehr preisintensiv und verlangen einen hohen Zeitaufwand (SLEPETIENE ET AL. 2008, SMITH 2004). Des Weiteren sind regelmäßige direkte Messungen des Humusvorrates aufgrund der großen und starken Schwankungen der Umsetzungsdynamik als uneffektiv anzusehen (LEITHOLD ET AL. 1997). Eine genauere Bestimmung der Veränderungsrate ist durch C-N Modelle möglich (WILLMS ET AL. 2009). Da bei diesen Modellen die Parametrisierung sehr aufwändig ist (RUKHOVICH ET AL. 2007), werden Humusbilanzen als Interpretationshilfen verwendet. Der Vorteil ist, dass mit wenigen, einfach zu erhebenden Eingangsdaten eine Aussage über die Nachhaltigkeit unterschiedlicher Fruchtarten und -folgen getroffen werden kann (BOCKSTALLER ET AL. 1997, ECKERT ET AL. 2000). Nachteilig ist jedoch, dass die Humusbilanz keine Auskunft über die absolute Humusmenge im Boden gibt, sondern lediglich einen Trend der Veränderung anzeigt (HÜLSBERGEN 2003). Ein standort- und nutzungstypischer Humusgehalt des Bodens stellt sich dann ein, wenn Humusbedarf und Humusmehrung zu einer ausgeglichenen Bilanz führen (BROCK ET AL. 2008).

Hohe Energieeffizienz bei der Biomasseproduktion ist ein wichtiges Merkmal für eine nachhaltige Landwirtschaft. So müssen beispielsweise Nachhaltigkeitsnachweise Angaben zum Energiegehalt der flüssigen Biomasse beinhalten, um eine Vergütung nach dem Erneuerbare-Energien-Gesetz 2009 zu erhalten. Grundgedanke ist dabei unter anderem die Vermeidung langer Transportwege (Palmöl) und der Schutz der Naturräume, wie beispielsweise die Verhin-

derung von Brandrodung der Regenwälder und die Verdrängung von Naturschutzgebieten (BMU 2009). Energiebilanzen werden ähnlich den Nährstoffbilanzierungen durch Input eingesetzter Energie und Output erzeugter Energie ermittelt (PÖSCHL ET AL. 2010). Die entstehenden Salden verdeutlichen energetische Ertragsfähigkeiten und energierelevante Verfahrensunterschiede (ARMAN 2003). Um die Komplexität dieses Verfahrens zu verringern, muss der Bilanzierungsraum auf einen sachgerechten Untersuchungsumfang fixiert werden (KOENIG 2008). Der Produktionsmitteleinsatz wird durch die benötigten kumulierten Energieaufwendungen (KEA) dargestellt. Angegeben wird dieser in [GJ/ha] als Summe aller Energieaufwendungen zur Herstellung eines Produktes unter Berücksichtigung der Vorketten bis zur Rohstoffgewinnung (SCHOLZ ET AL. 2001). Brutto- und Nettoenergieertrag fungieren zur Klärung, welche Energiemenge pro Hektar in Form von Biomasse gebunden wird (BERGLUND & BÖRJESWSON 2006). Die Beziehung zwischen gebundener und eingesetzter Energie wird als Verhältnis beider Größen durch die Berechnung des Erntefaktors dargestellt. Dieser definiert sich als dimensionsloser Quotient (WILLMS ET AL. 2007) des Bruttoenergieertrags und des kumulierten Energieverbrauchs (LOOTSMA 2006).

Die Einführung des EEG trägt zur Entwicklung von Industriezweigen und zur Sicherung bestehender und Schaffung neuer Arbeitsplätze in den verschiedenen Bereichen der erneuerbaren Energien bei (BMU 2002). Regionale Energiegewinnung aus nachwachsenden Rohstoffen steigert zudem die ländliche Wertschöpfung (MAJER 2009). Die Ausführungen veranschaulichen beispielhaft die sozioökonomische Relevanz der Biomasseproduktion für den ländlichen Raum (BROUWER ET AL. 2007). Eine Rentabilitätsprüfung der Fruchtfolgen kann durch die unterschiedlichen Ansätze Deckungsbeitrag/Gewinnbeitrag und relative Vorzüglichkeit eine Vergleichbarkeit zum reinen Marktfruchtanbau schaffen. Deckungs- und Gewinnbeiträge demonstrieren durch die Einheit €/ha*a die Annahme einer Maximierung der Wirtschaftlichkeit pro Zeiteinheit durch den Landwirt (KULHMANN & TOEWS 2009). Die Diskussion um den knappen Produktionsfaktor „Boden“ und dessen wirtschaftlichste Nutzung finden in dieser Arbeit demzufolge die erforderliche Beachtung.

LEHMANN & ZIESEMER 2007 konstatierten, dass die Wirtschaftlichkeit von Energiepflanzen als Kosubstrat in einer Biogasanlage nicht über den klassischen Deckungsbeitrag mit Mähdruschfrüchten verglichen sondern über die relative Vorzüglichkeit bewertet werden sollten. Somit finden die durch produktionstechnologische Unterschiede (besonders bei Ernte, Transport und Lagerung) zu erwartenden Abweichungen bei den Arbeitserledigungskosten (LEHMANN & ZIESEMER 2007, ANONYM 2006) Beachtung. Weiterhin muss bei dem Einsatz der Silage im eigenen Betrieb ohne Vereinbarungspreis kalkuliert werden. Es ist kein direkter Markterlös vorhanden. In dem Fall bietet sich die Produktionsschwelle als Kalkulationsgrundlage an. Dargestellt wird dabei die kurzfristige Preisuntergrenze eines Produktes, welche zur Deckung der variablen Kosten notwendig ist (GRAHAM ET AL. 1995). Um die Wettbewerbsfähigkeit gegenüber einer reinen Marktfruchtfolge bestimmen zu können, müssen die durch den Anbau von Energiefruchtfolgen entgangenen Nutzungen auf dem begrenzten Produktionsgut „Ackerfläche“ (Opportunitätskosten) zusätzlich in die Kostenrechnung der Produktionsschwelle integriert werden (ERICSSON ET AL. 2009, TURHOLLOW 1994). Die daraus resultierende relative Vorzüglichkeit oder Gleichgewichtspreis definiert den Preis der Fruchtart bzw. -folge, welcher erzielt werden muss, um gleiche Erlöse wie die verdrängte Marktfruchtfolge zu gewährleisten (ANONYM 2006). Derzeitig instabile Preise im Energiepflanzenanbau haben somit keine unmittelbare Auswirkung auf Interpretation und Vergleichbarkeit (BREITSCHUH ET AL. 2006).

2 Ziel

Gesamtziel dieser Arbeit ist die Charakterisierung zweckgerichteter Energiefruchtfolgen für die Region Mecklenburg-Vorpommern.

Der Vergleich kumulierter Ernteerträge unterschiedlicher Energiefruchtfolgen soll als Lösungsansatz dargestellter Probleme dienen. Dazu ist durch die Gestaltung abwechslungsreicher Fruchtfolgen unter der Prämisse optimaler Anbaubedingungen der integrierten Kulturarten eine Eingliederung neuer und Maisalternativer Kulturarten in die Fruchtfolgen zweckdienlich. Die Bewertung des Ertragspotentials dieser neuen und alternativen Kulturarten fungiert als grundlegende Basis für die Entscheidung über deren Anbauwürdigkeit. Als weitere Bewertungskriterien stehen eine nachhaltige Anbauweise, effiziente Ausnutzung der vorhandenen Ackerfläche und ein größtmöglicher Gewinn für den Landwirt unter Beachtung der Zielkonflikte zwischen Energiepflanzenanbau und Naturschutz sowie der Nahrungsmittelerzeugung im Fokus.

Die Ermittlung fruchtfolgespezifischer Methangasausbeuten ist zur Charakterisierung der Fruchtfolgen essentiell. Um derzeit noch bestehende Defizite auf dem Sektor der fachgerechten Bedienung von Biogasanlagen zu umgehen, wird eine theoretische Ermittlung des Gasbildungspotentials durchgeführt. Dadurch kann die Beurteilung fruchtartenspezifischer Methangasausbeuten unabhängig von der Fermentationstechnik gewährleistet werden. Als Berechnungsgrundlage soll die durch SCHATTAUER & WEILAND (2004) variierte Formel nach BASERGA (1998) dienen, bei der neben den gängigen Energiefruchtarten auch alternative Fruchtarten berücksichtigt werden können (Hafersortenmischungen, Artenmischungen, Gerstgras u.a.).

Fruchtfolgespezifische Nährstoffbilanzierungen sollen als wichtiges Merkmal zur Charakterisierung einer nachhaltigen und umweltverträglichen Anbauweise hinzugezogen werden. Ergänzend zu dieser Betrachtung dienen Bodenuntersuchungen zur Darstellung der Einflüsse des Energiepflanzenanbaus auf die Bodenfruchtbarkeit. Die Ermittlung fruchtfolgespezifischer Veränderungen der Bodennährstoffgehalte ist dabei richtungweisend. Als weiteren Bewertungsfaktor der Energiefruchtfolgen insbesondere im Hinblick auf eine ressourcenschonende und nachhaltige Produktion soll die Humusbilanzierung fungieren. Dies er-

möglicht eine Abschätzung der Fruchtfolgen hinsichtlich ihrer ökologischen Verträglichkeit.

Energiebilanzen werden als Bewertungskriterium zur Charakterisierung der Energieeffizienz angebaute Energiefruchtfolgen hinzugezogen. Die Berechnung des dimensionslosen Erntefaktors soll zusätzlich eine Möglichkeit zur vereinfachten Darstellung des Einflusses fruchtfolgespezifischer Anbauverfahren auf die Umweltverträglichkeit schaffen.

Rentabilitätsprüfungen sollen mittels der unterschiedlichen Ansätze Deckungsbeitrag/Gewinnbeitrag und relative Vorzüglichkeit/Gleichgewichtspreis eine Vergleichbarkeit zum reinen Marktfruchtanbau schaffen. Erwartet wird dadurch die Möglichkeit einer elementaren Vergleichbarkeit der geprüften Fruchtarten untereinander, mit standorttypischen Marktfrüchten sowie der Energiefruchtfolgen mit einer regionaltypischen Marktfruchtfolge.

3 Material und Methoden

Das vom BMELV 2005 initiierte und von der FNR betreute Verbundprojekt: „Entwicklung und Vergleich von optimierten Anbausystemen für die landwirtschaftliche Produktion von Energiepflanzen unter verschiedenen Standortbedingungen Deutschlands“ liefert die Basis für diese Arbeit.

3.1 Fruchtfolgegestaltung und Standortcharakterisierung

3.1.1 Versuchsanlage und Fruchtfolgegestaltung

Auf einem umgebrochenen Winterweizenschlag wurde die Versuchsfläche am 30.03.2005 angelegt. Bei der Versuchsanlage handelt es sich um eine einfaktorielle Langparzellenanlage mit gleitendem Standardausgleich und vierfacher Wiederholung (ZENK & MICHEL 2006) (Tabelle A 1). Diese Form der Versuchsanlage wurde einerseits gewählt, da die praxisrelevanten Durchführungen agro-technischer Maßnahmen z.B. Bodenbearbeitung und Ernte vordergründig sind. Andererseits ist bei der vorliegenden Bodenheterogenität der Versuchsfläche eine Blockbildung nur bedingt wirksam, da der diskrete Charakter der Blockung im Gegensatz zur eher stetigen Veränderung von Bodeneigenschaften steht (MICHEL & ZENK 2010). Statistische Nachteile der Langparzellenanlage (THOMAS 2006), wie die fehlende Randomisation und eine Beeinflussung der Prüfmerkmalswerte des Standards von Zufalleffekten (BÄTZ ET AL. 1987) können durch die Auswertung mit geostatistischem Ansatz vermindert werden (ZENK & MICHEL 2006).

Eine Ernteparzelle umfasst 10,5 m². Die 2002 letztmalig durchgeführte Vorratsdüngung beinhaltete 4,0 t Mg-Kalk/ha, 80 kg P₂O₅/ha (Triple-Superphosphat 46) und 200 kg K₂O/ha (Korn-Kali 40 %). Auf weitere Vorratsdüngungen im vierjährigen Turnus wurde versuchsbedingt verzichtet. Dies ermöglichte eine fruchtfolgespezifische Charakterisierung auftretender Veränderungen der Bodennährstoffe. Trotz allem sollte ein praxisrelevanter Ertrag erzielt werden, und die Bodengehaltsklasse nach VDLUFA nicht unter das Optimum (Gehaltsklasse C) sinken. Deshalb dienten jährlich mehrfach durchgeführte Bodenuntersuchungen (Vegetationsbeginn, nach der Ernte und zu Vegetationsende) und der Nährstoffbedarf der einzelnen Kulturarten als Berechnungsgrundlage des Düngebe-

darfs in den Fruchtfolgen. Daraus resultierende Düngegaben in den Fruchtfolgen sind im Kapitel 4.2.1 dargestellt.

Geprüft werden 8 verschiedene Energiefruchtfolgen (Tabelle 1). Davon sind 5 Fruchtfolgen bundesweit an 7 unterschiedlichen Standorten einheitlich vorgegeben (EvA Projekt). Drei Fruchtfolgen charakterisieren regional bevorzugte Varianten.

Tabelle 1: Darstellung der Energiefruchtfolgen in Gülzow

Jahr	2005	2006	2007	2008
FF				
Standardfruchtfolgen				
1	SG (GP)/ Ölr. SZF	Mais (HF)	WT (GP)/ ZH	WW
2	Su.Gr (GP)	WR (WZF)/ Mais (Zweit.F)	WT	WW
3	Mais (HF)	WR (WZF)/ Su.Gr (Zweit.F)	WT (GP)/ E.Weidel.	WW
4	SG (GP)/ Untersaat KleeG	KleeG	KleeG	WW
5	H (SM)	WT (GP)	WRa	WW
Regionalfruchtfolgen				
6	Mais (HF)	G.Grass (GP)	WRa	WW
7	Mais (HF)	WR(WZF)/W.Weidel.	W.Weidel	WW
8	SR/ST (AM)	WRa	WW	WW

Die agrotechnischen Maßnahmen werden unter dem Gesichtspunkt der Kostenminimierung und der nachhaltigen Anbauweise nach guter fachlicher Praxis durchgeführt (Tabelle A 2). Abweichende Besonderheiten beim Anbau einzelner Fruchtarten sind der Tabelle A 3 zu entnehmen. Fett gedruckte Fruchtarten werden als Kosubstrat für die Biogasanlage genutzt.

3.1.2 Standortcharakterisierung

Der Standort Gülzow liegt 10 m über NHN im norddeutschen Grund- und Endmoränengebiet der Weichselkaltzeit. Ein leicht welliges Relief ist für das Gebiet bezeichnend (LANDEFORSCHUNGSANSTALT FÜR LANDWIRTSCHAFT UND FISCHEREI MECKLENBURG-VORPOMMERN 1997). Als Ausgangsmaterial der Bodendecke wird Geschiebemergel mit ca. 0,5 bis 10 m mächtiger periglaziärer Sanddecke im Versuchsfeld vorgefunden. Die ursprüngliche Sanddecke verlagerte sich häufig infolge von Ackernutzung. Daraus resultiert eine reliefgeprägte Substratverteilung, die sich in Form von Lehmkuppen und eingesenkten Kolluvien äußert (MENING & SCHEIL 1995). Eine Standortansprache wurde zu Versuchsbeginn

2006 vom ZALF Müncheberg durchgeführt und ist auszugsweise in Tabelle 2 dargestellt.

Tabelle 2: Standortcharakterisierung des Standortes Gülzow (GLEMNITZ 2008)

Bodentyp	Horizontbezeichnung	Untere Horizontgrenze [cm]	Bodenart	GPV [%]	nFK _{WE} [%- Vol.]	C _t [mg/100 g Boden]	C/N
Parabraunerde-Haftnässepseudogley	Ap	32	SI3	33,6	60,8	0,83	9
	Sg-Bt	55	Ls4	34,5	29,9	0,428	7,9
	Cc	93	SI3	28,3	25,5	0,641	4,8
Kolluvisol-Pseudogley	Ap	30	SI2	31,9	60	0,714	9,1
	Sd-Bt	66	SI4	32,8	54	0,329	7,4
	Sg	160	SI4	25,2	21	0,185	6,5
	Cc	200	SI3	30,4		0,644	5,2
Pseudogley	Ap	33	SI3	35,3	62,7	0,737	8,6
	Sew	50	SI4	34,7	25,5	0,336	7,3
	Sdw	77	SI4	34,4	40,5	0,172	5,8
	Sd	123	St2	35,3		0,057	4
	C	180	SI3	38,3		0,049	4

Die Untersuchungen verdeutlichen, dass das Versuchsfeld durch unterschiedliche Bodentypen charakterisiert ist. Die Bodenart kann überwiegend als lehmi-ger Sand eingestuft werden, wobei teilweise auch Sandlehme und Normalleh-me enthalten sind. Weiterhin musste eine partielle Vernässung festgestellt wer-den. Die nutzbare Feldkapazität im effektiven Wurzelraum liegt zwischen 116,2 und 138,9 mm, und ist laut Bodenkundlicher Kartieranleitung (FINNERN ET AL. 2005) als mittelmäßig einzustufen. Die Ackerzahl auf dem Versuchsfeld ist mit 49 bis 58 als heterogen zu bezeichnen.

Bei der Nährstoffversorgung der Versuchsanlage kann laut Düngeverordnung der VDLUFA (SCHWEDER & BOELCKE 2004) in den untersuchten Nährstoffen (Tabelle 3) die Versorgungsstufe D zugrunde gelegt werden.

Tabelle 3: Nährstoffversorgung der Versuchsfläche zu Versuchsbeginn 2005

Fruchtfolge	P [mg/100g Boden]	Gehaltsklasse	K [mg/100g Boden]	Gehaltsklasse
1	10,0	D	14,0	D
2	10,0	D	14,0	D
3	10,0	D	14,0	D
4	10,0	D	14,0	D
5	10,0	D	14,0	D
6	10,0	D	14,0	D
7	10,0	D	14,0	D
8	10,0	D	14,0	D

3.1.3 Witterungsverlauf und Klimatische Wasserbilanz

Der Standort Gülzow ist durch ein maritim beeinflusstes Tieflandklima mit einer Jahresdurchschnittstemperatur von 8,5 °C und einer jährlichen Niederschlagssumme von 559 mm charakterisiert.

Abbildung 1 und Abbildung 2 verdeutlichen die extremen Witterungsunterschiede der einzelnen Versuchsjahre über den gesamten Versuchszeitraum 2005-2008.

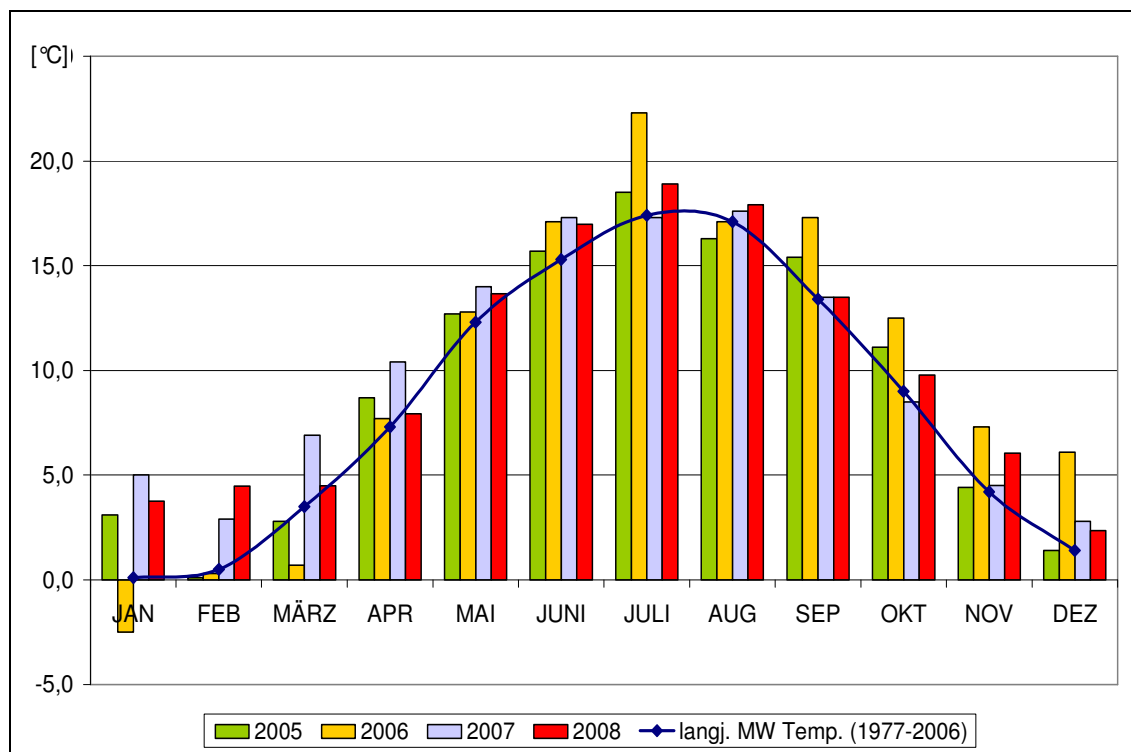


Abbildung 1: Temperatur am Standort Gülzow 2005-2008

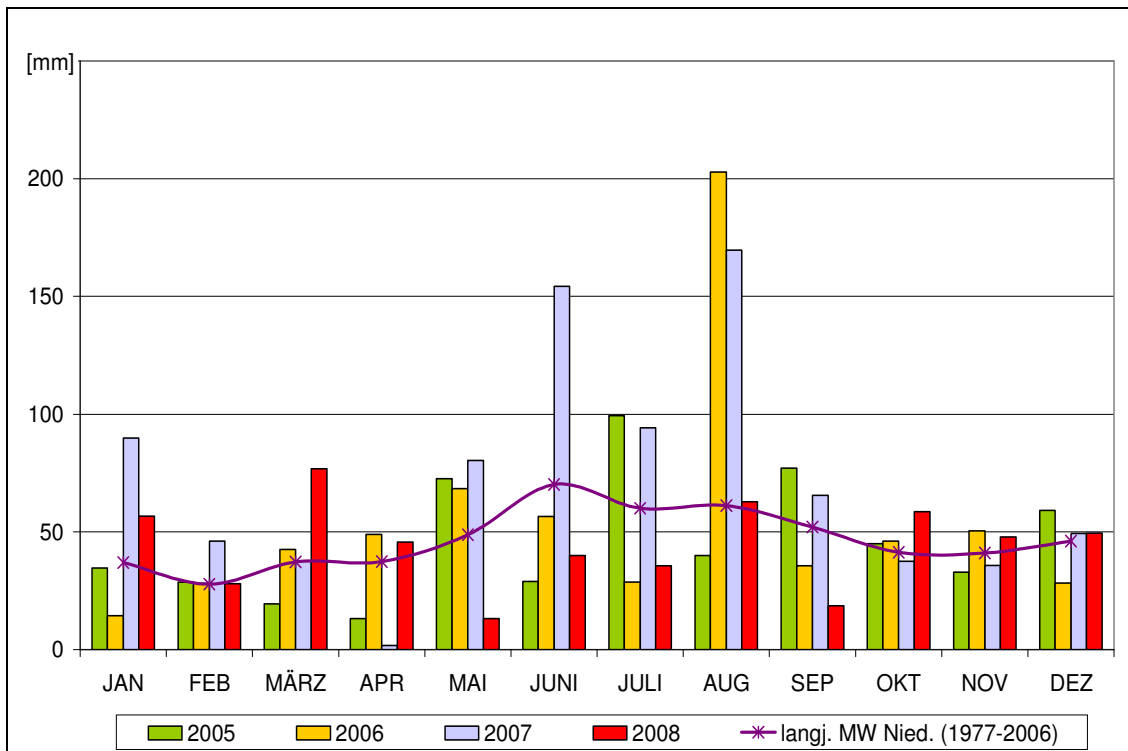


Abbildung 2: Niederschlag am Standort Gülzow 2005-2008

Trockenheit zu Vegetationsbeginn im Jahre 2005, Spätfröste Mitte April sowie starke Temperaturschwankungen im Mai bewirkten mangelhaftes Auflaufen und Wachstumsverzögerungen bei Sudangras und Mais. Geringe Niederschlagsmengen zur Rapsaussaat im August führten zu einem lückenhaften Bestand. Danach folgende, reichliche Niederschläge und überdurchschnittliche Temperaturen ermöglichten einen kontinuierlichen Biomassezuwachs bis in den November hinein. Ab Monatsmitte stellte sich bei sinkenden Temperaturen die Vegetationsruhe ein.

Die winterliche Witterung hielt bis in die 2. Dekade im März 2006 an. Natürliche Entwicklungsprozesse erfuhren eine etwa vierwöchige Verspätung. Besonders beim Raps mussten erhebliche Blattverluste festgestellt werden. Durch die kühle zweite Maihälfte wurden vor allem Wärme liebende Kulturen wie Mais und Sudangras in ihrem Wachstum stark beeinträchtigt. Eine lange Dürreperiode im Juli führte zu Trockenstress bei Mais. Starke Regenfälle in der zweiten Augusthälfte erschwerten die Winterrapsaussaat.

Im Jahr 2007 war die Witterung durch extreme Temperaturschwankungen und Starkniederschläge gekennzeichnet. Ein milder Winter und hohe Niederschläge in den ersten 3 Monaten des Jahres 2007 verursachten, im Gegensatz zu den vorangegangenen Anbaujahren 2005 und 2006, einen ca. 2 Wochen früheren

Vegetationsbeginn. Die anhaltende Trockenheit von Ende März bis Anfang Mai bewirkte ein mangelhaftes Auflaufen von Mais und Gerstgras. Dieser Mangel wurde allerdings im weiteren Entwicklungsverlauf kompensiert. In den Monaten Mai bis August fielen insgesamt 500 mm Niederschlag. Das sind ca. 90% des durchschnittlichen Gesamtjahresniederschlags. Die durch starke Regenfälle verursachten schlechten Aussaatbedingungen der Zuckerhirse sowie der darauf folgende feuchte, kühle Sommer beeinträchtigte die Wachstumsentwicklung der Zuckerhirse negativ. Die Abreife von Mais wurde ebenfalls durch die ungünstige Spätsommerwitterung verzögert. Einen positiven Effekt hatten die hohen Niederschläge im Juni, Juli und August auf den Frischmasseertrag vom Mais. Vernässter Boden und immer wiederkehrende Niederschläge erschwerten die Herbstsaaten besonders zum zweiten Aussaattermin und führten zu einem teilweise schlechten Aufgang der Winterkulturen. Die Vegetationsruhe trat Mitte November ein.

Die milden Wintermonate Januar bis März, aber auch eine Verzögerung der Vegetationsruhe durch Spätfröste und Schneefälle Ende März hatten keinen nennenswerten Einfluss auf die Entwicklung der Kulturarten. Generell lagen die Temperaturen 2008 im Bereich des langjährigen Mittels. Große Probleme bereitete die Wasserversorgung ab Mai. Die lang anhaltende Trockenheit bis in den Oktober hinein führte zu schlechten Ackergraserträgen. Auf den Wintertriticale- und Weizenertrag hatte die Trockenheit keinen gravierenden Einfluss. Ab November gab es erstmals erwähnenswerten Niederschlag und es setzte die Vegetationsruhe ein.

Die Klimatische Wasserbilanz für den Standort Gülzow stellte das JKI zur Verfügung. Als Datengrundlage diente hierfür die Messstation des DWD in Laage. Ermittelt wurde die kumulierte Wasserbilanz mittels Differenz des Niederschlages und der Verdunstung. Abbildung 3 verdeutlicht den Wassermangel in den Vorsommer- und Sommermonaten gerade in 2008 aber auch in 2005 und 2006, verursacht durch die für Mecklenburg-Vorpommern typische Vorsommertrockenheit. Einzig das niederschlagsreiche Anbaujahr 2007 zeigt eine relativ ausgeglichene Wasserbilanz.

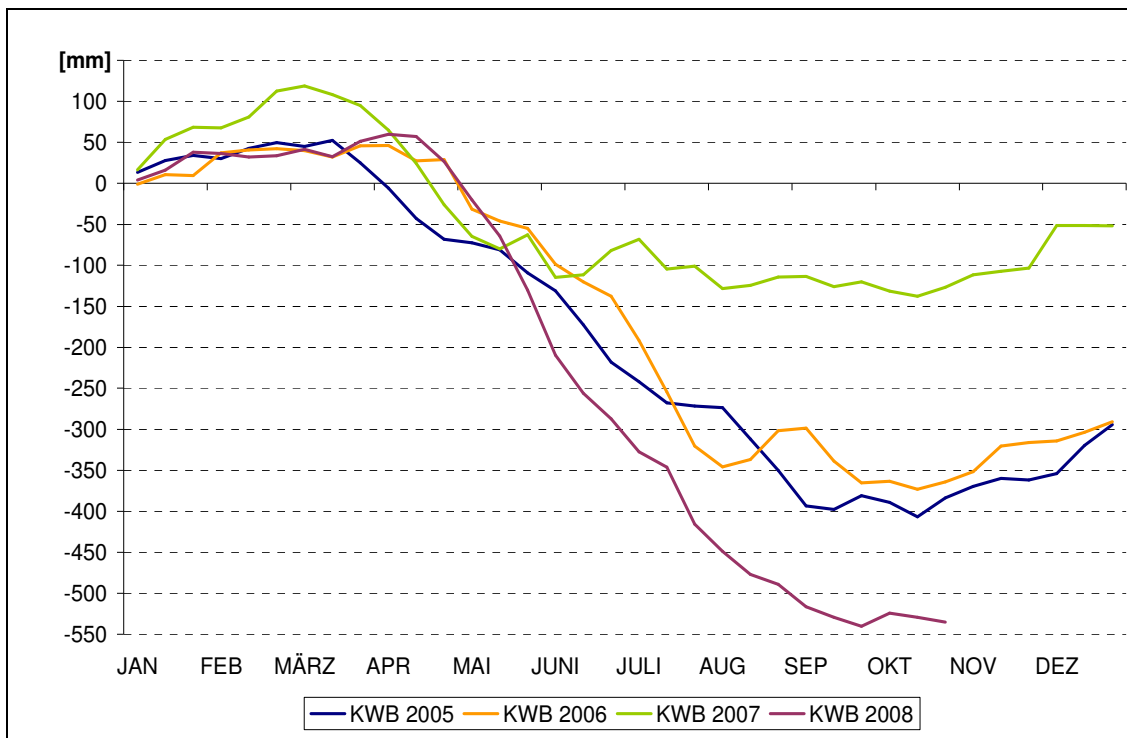


Abbildung 3: Klimatische Wasserbilanz am Standort Gülzow 2005-2008 (SCHITTENHELM 2008)

3.2 Methoden zur Merkmalerfassung pflanzenbaulicher Parameter

Dieses Kapitel dient der Darstellung einiger Untersuchungsmethoden zur umfassenderen Charakterisierung des Prüffaktors Ertrag, welcher als Hauptgrundlage aller weiteren Untersuchungsergebnisse fungiert. Durch die Erfassung nachfolgend aufgeführter Merkmale sind ausführlichere Interpretationsmöglichkeiten des Prüfmerkmals Fruchtfolge in Abhängigkeit einzelner Parameter gewährleistet.

Erfassung der Bestandesentwicklung

Bei der Überwachung der Bestandesentwicklung wurde sich weitestgehend an die Vorgehensweise der für die Sortenprüfung vorgeschriebenen Methoden nach BSA Richtlinien (BUNDESSORTENAMT 2000) gehalten. Die angewendeten Methoden sind in Tabelle 4 dargestellt.

Tabelle 4: Boniturmaßnahmen

Kulturart	Prüffaktor	Methode	Einheit	Quelle
Alle Kulturen	Aufgang			BSA 2000
Alle Kulturen	Bodenbedeckung	1 m ² /Parzelle % Anteil schätzen	Pflanzen/m ²	ZALF
Alle Kulturen	Unkrautbonitur	1 m ² /Parzelle % Anteil schätzen, Benennen der 5 häufigsten Arten und deren %Anteil	Pflanzen/m ²	ZALF
Getreide, Raps, Mais, Sorghumhirsen	Bestandesdichte	Pflanzen zählen auf 1 m ² bzw. auf 1 laufendem Meter	Pflanze/m ² Pflanze/lfd. m	BSA 2000
Getreide	Bestandesdichte	ährentragende Halme auf 1 laufendem Meter zählen	Ährentragende Halme/m ²	
Alle Kulturen	Bestandeshöhe	Mittel aus 10 Pflanzen/ Parzelle	cm	BSA 2000
Alle Kulturen	Mängelbonituren			BSA 2000
Alle Kulturen	Reifegrad	75% des Bestandes	BBCH Stadium	BSA 2000

Die Untersuchungen sind bei unterschiedlichen Kulturen zu verschiedenen Zeitpunkten und Entwicklungsstadien vorgenommen worden. Die Termine zur Überwachung der Bestandesstruktur zeigt Tabelle A 5 im Anhang.

Ertragserfassung

Die Ertragserfassung wurde mittels Parzellenmähdrescher (Raps und Körnergetreide) oder Häcksler (Mais, Sorghumhirse und Getreideganzpflanzen) realisiert. Der bei Raps- bzw. Körnergetreideernte anfallende Strohertrag wurde gleich den Graserträgen vor Ort per Feldwaage ermittelt.

Inhaltstoffanalyse des Erntegutes

Nachfolgende Tabelle 5 zeigt die erhobenen Parameter mit deren verwendeten chemischen Analysemethoden.

Tabelle 5: Untersuchungsmethoden Pflanzeninhaltsstoffe

Inhaltsstoff	Methode	Quelle
TM	VDLUFA MB. Bd.3, Kap. 3.1	VDLUFA (1976)
Ct	DIN ISO 10694, 8-1996	DIN ISO Norm (1996)
N	VDLUFA MB. Bd.3, Kap. 4.1.1	VDLUFA (1983)
P	VDLUFA MB. Bd.3, Kap. 2.2.2.6	VDLUFA (1983)
K	VDLUFA MB. Bd.3, Kap. 2.2.2.6	VDLUFA (1983)
Mg	VDLUFA MB. Bd.3, Kap. 2.2.2.6	VDLUFA (1983)
Ca	VDLUFA MB. Bd.3, Kap. 2.2.2.6	VDLUFA (1983)
Na	VDLUFA MB. Bd.3, Kap. 2.2.2.6	VDLUFA (1983)
S	DIN ISO15178, 02-2001	DIN ISO Norm (2002)
Rohasche	VDLUFA MB. Bd.3, Kap. 8.1	VDLUFA (1983)
Rohprotein	VDLUFA MB. Bd.3, Kap. 4.1.1	VDLUFA (1983)
Rohfaser	VDLUFA MB. Bd.3, Kap. 6.1.2	VDLUFA (1983)
Rohfett	VDLUFA MB. Bd.3, Kap. 5.1.1	VDLUFA (1983)
NfE	NfE = 100 - (XA + XL + XF + XP)	

Bodenchemische Parameter

Die Einflüsse der verschiedenen Energiefruchtfolgen auf die Bodenfruchtbarkeit sollen durch analytisch erfassbare Bodenmerkmale, die Bodenfruchtbarkeitskennziffern und deren Veränderungen abgeschätzt werden. Zur chemischen Analyse des Bodens wurden zu Vegetationsbeginn, nach der Ernte und zu Vegetationsende Proben jedes Prüfgliedes in 3 Tiefen gezogen. In Tabelle 6 sind die zur chemischen Analyse verwendeten Methoden dargestellt.

Tabelle 6: Untersuchungsmethoden Bodeninhaltsstoffe

Inhaltstoff	Methode	Quelle
N _{min} (NH ₄ und NO ₃)	VDLUFA MB. Bd. 1, Kap. 6.1.4.1	VDLUFA (2002)
P	VDLUFA MB. Bd. 1, Kap. 6.2.1.2	VDLUFA (2002)
K	VDLUFA MB. Bd. 1, Kap. 6.2.1.2	VDLUFA (2002)
Mg	VDLUFA MB. Bd. 1, Kap. 6.2.4.2	VDLUFA (2002)
pH	VDLUFA MB. Bd. 1, Kap. 5.1.1	VDLUFA (2002)
C _t	DIN ISO 10694, 8-1996	DIN ISO Norm (1996)
Bodenwasser		

Weitere Untersuchungsergebnisse zur Bodenphysik und zur Charakterisierung des Standortes wurden bereits in Kapitel 3.1.1 gezeigt.

3.3 Methoden zur Ermittlung der Methangasausbeute

Die zu verwendende Methode muss sich für projektbezogen vorgegebene Inhaltsstoffanalysen (Tabelle 5) und Fruchtarten eignen. Dabei soll es gleichzeitig den Anspruch der höchstmöglichen Korrelation zu projektbegleitend im ATB-Bornim mittels Batchverfahren erlangten Laborwerten erfüllen. In dem vorliegenden Projekt wurde unter der Beachtung dieser Voraussetzungen deshalb das von BASERGA 1998, durch SCHATTAUER & WEILAND 2004 modifiziert und im Handbuch der FNR (A) 2005 nochmals überarbeitete Berechnungsmodell als Grundlage genutzt. Dabei dienen für die verdauliche Fraktion von Fett, Eiweiß und Kohlenhydraten die Biogaserträge von 1125, 650 bzw. 750 l/kg oTS und für den Methangehalt von 70,5; 72,5 bzw. 52,5 Vol. %. Bei diesem Zahlenmaterial handelt es sich um Mittelwerte der von SCHATTAUER & WEILAND 2004 angeführten Spannweite. Verdaulichkeitskoeffizienten der untersuchten Kulturarten basieren auf dem entsprechenden Datenmaterial der DLG- FUTTERWERTTABELLE (1997) für Wiederkäuer. Hingewiesen werden muss abschließend noch auf die methodischen Unschärfen der genutzten Berechnungsformel. Korrelationsberechnungen ergaben einen intensiven Zusammenhang lediglich zwischen dem Trockenmasse- und dem Methangasertrag (Abbildung A 3 und Abbildung A 4). Dies geht jedoch nicht mit den in der Fachliteratur ausgewiesenen Einflüssen der Inhaltsstoffe auf die Methangasausbeute konform (Kap. 1).

3.4 Ökologische Begleitforschung

3.4.1 Methoden zur Nährstoffbilanzierung der Fruchtfolgen

Die Fruchtfolgebilanzierung ermöglicht detaillierte Rückschlüsse auf die Effizienz der eingesetzten Dünger sowie auf die Nährstoffverluste und soll nachfolgend als Bilanzierungsgrundlage dienen.

Stickstoff-Bilanzierung

In der Literatur sind viele verschiedene Stickstoff-Bilanzierungsmodelle beschrieben worden (BACH 1987). Die vereinfachte N-Bilanzierung (Abbildung 4) unter Einbeziehung der wesentlichen Input-Output-Größen ist die zweckmäßigste Auswertungsmöglichkeit, um mithilfe der hier vorhandenen Daten eine grobe Abschätzung des Belastungspotentials der unterschiedlichen Fruchtfolgen gewährleisten zu können (LEIDEL 2000).

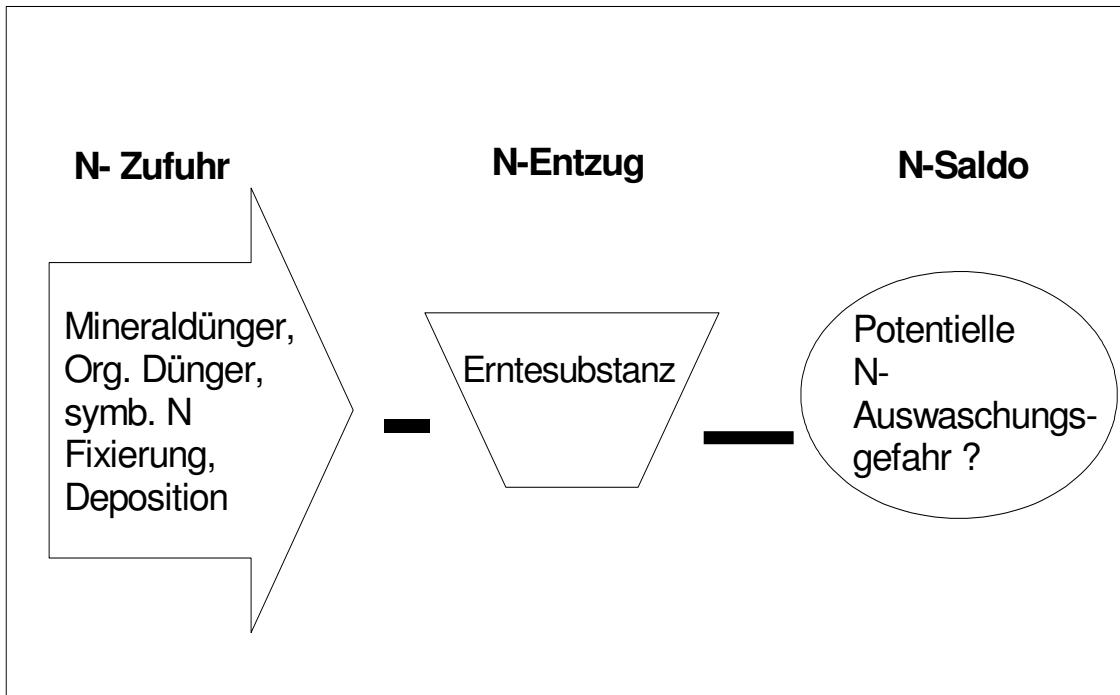


Abbildung 4: Ansatz zur vereinfachten N Bilanzierung

Die N-Deposition für den Raum Rostock-Gülzow findet mit 25kg N/ha*a (ZACHOW 1998) in der Bilanz Berücksichtigung. Nicht quantifizierte Verlustquellen, wie Lachgasemissionen werden vernachlässigt. Die aus den Stickstoffein- und -austrägen errechneten positiven bzw. negativen Differenzen der Bilanzierung werden als N-Saldo der Fruchtfolgen ausgewiesen. Ein Bilanzüberschuss stellt die N-Verluste der einzelnen Fruchtfolgen dar, und kann somit eine Aussage über die Umweltverträglichkeit der Fruchtfolgen treffen (Stickstoffauswaschung, gasförmige Stickstoffemissionen). Die Beurteilung der N-Salden basiert auf der bei LEIDEL 2000 erarbeiteten Bewertungsgrundlage (Tabelle 7).

Tabelle 7: Bewertungsmaßstab der N-Salden

Höhe des N-Saldos	Bewertungsmaßstab
< 40 kg N/ha	Tolerierbarer Überschuss
40-80 kg N/ha	Mittlerer Überschuss
> 80 kg N/ha	Hoher Überschuss

Phosphor-Bilanzierung

Anders als bei der Stickstoffbilanzierung basiert die Berechnungsgrundlage bei der Phosphorbilanzierung lediglich auf den Inputgrößen mineralische und organische Düngung. Die Inhaltstoffe der Erntesubstrate charakterisieren den Output. Positive respektive negative Differenzen werden als P-Salden ausgewiesen.

Kalium-Bilanzierung

Grundlage zur K-Bilanzierung ist die vereinfachte Bilanzierung mit mineralischer und organischer Düngung als Input. Inhaltsstoffe im Erntegut charakterisieren den Output in der Bilanzierung und werden als K-Entzug bezeichnet. Die Differenzen beider Größen sind folglich fruchtfolgespezifische K-Salden.

3.4.2 Methoden zur Humus–Bilanzierung

Bei einer Humusbilanzierung werden Humusbedarf und -zufuhr näherungsweise quantitativ beschrieben (Abbildung 5).

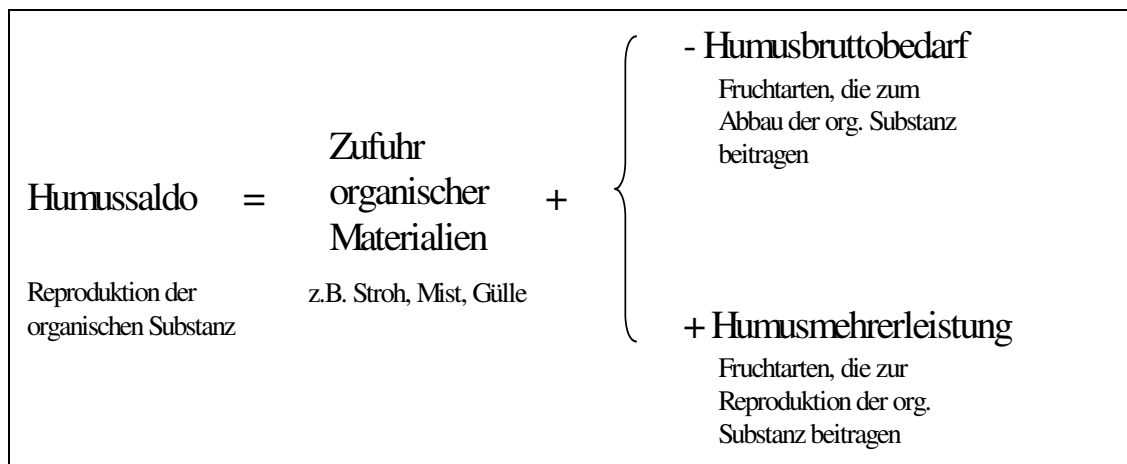


Abbildung 5: Humusbilanzierung (WILLMS ET AL. 2008)

Die vom ZALF Müncheberg erstellten Humusbilanz nach VDLUFA und der dynamischen HE-Methode (WILLMS ET AL. 2009) beinhalten zusätzlich das Szenario der Gärrestrückführung. Gekennzeichnet wird dieses Szenario durch die Annahme, dass 100% des, aus den auf der Fläche produzierten Kosubstraten stammenden Gärrestes auf diese zurückgeführt wird. Weiterhin fließen nachfolgend angeführte im Projekt ermittelte Kennziffern in die Berechnung ein (WILLMS ET AL. 2009 S.16-18):

- Siliverluste, 15% der TM-Erntemenge
- theoretische Biogasausbeute, mithilfe der bereits in Kapitel 3.3 charakterisierten Methode nach BASERGA 1998, ausgehend von der vereinfachten Annahme, dass Biogas nur aus CH₄ und CO₂ besteht (Grundlage zur Berechnung sind dabei die Verdaulichkeiten der DLG FUTTERWERTTABELLE für Wiederkäuer 7. Auflage 1997)
- C-Gehalt des Gärrestes, Residualgröße von Erntegut abzüglich Siliverlusten und Biogasnutzung

- d) Umsatzrate des Gärrest-Kohlenstoffs zu Humus-Kohlenstoff, Humifizierungskoeffizient von 0,31, entspricht dem Mittelwert des von GUTSER & EBERTSEDER (2006) angesetzten Humusreproduktionsfaktor 0,4 und dem Faktor 0,22, basierend auf der Gleichstellung des Gärrestes mit unvergorener Gülle tierischer Herkunft aufgrund des engen C: N Verhältnisses
- e) Ausbringungsverluste für Stickstoff, ausgehend von einer guten fachlichen Praxis bei 15%

Die aus allen Faktoren resultierenden Humussalden werden ähnlich den Nährstoffgehaltsklassen für Bodenuntersuchungen in Gruppen eingeteilt (Tabelle 8) und dienen als Bewertungsgrundlage der untersuchten Fruchtfolgen.

Tabelle 8: Bewertung der Humussalden nach VDLUFA (2004)

Humussaldo in Humus-C kg/ha*a	Gruppe	Bewertung
< -200	A sehr niedrig	Ungünstige Beeinflussung von Bodenfunktionen und Ertragsleistungen
-200 bis -76	B niedrig	Mittelfristig tolerierbar, besonders auf mit Humus angereicherten Böden
-75 bis 100	C optimal	Optimal hinsichtlich Ertragssicherheit bei geringem Verlustrisiko, Langfristige Einstellung standortangepasster Humusgehalte
101 bis 300	D hoch	Mittelfristig tolerierbar, besonders auf mit Humus verarmten Böden
> 300	E sehr hoch	Erhöhtes Risiko für Stickstoffverluste, niedrige N-Effizienz

3.4.3 Methoden zur Energiebilanzierung der Fruchtfolgen

Die Bilanzierungsgrenze entspricht dem Anbau der Energiepflanzen bis zum Feldrand, inklusive 4 km Transport, um eine hypothetische Entfernung von Hof zu Feld zu gewährleisten. Als Berechnungsgrundlage dienen die vom projektbegleitenden Institut, dem Leibnitz-Zentrum für Agrarlandschaftsforschung Müncheberg, vorgegebenen Mitteleinsätze (WILLMS ET AL. 2008):

- Saatgut
- Dieserverbrauch
- Düngemiteleinsetzung
- Pflanzenschutzmitteleinsatz
- Maschineneinsatz.

Tabelle A 6 und Tabelle A 7 stellen die für die Energiebilanzierung notwendige Datengrundlage auszugsweise dar, basierend auf den vom ZALF Müncheberg (LACKEMANN 2008) verwendeten Parametern.

Eine Modifizierung der ausgewählten Fuhrparkgröße auf den Durchschnittsbetrieb für Mecklenburg-Vorpommern mit 250 ha Ackerfläche konnte wegen der Komplexität des Datenmaterials nicht durchgeführt werden. Da die Berechnungen aller Fruchtfolgen dieser Datenbasis zu Grunde liegen, ist eine Vergleichbarkeit der Fruchtfolgen trotz allem gewährleistet.

Der kumulierte Energieaufwand (KEA) setzt sich aus den Energieaufwendungen für Saatgut, Kraftstoff, Dünger, Pflanzenschutzmitteln sowie Maschineneinsatz zusammen. Die der Berechnung des KEA zugrunde liegenden Gleichungen sind nachfolgend dargestellt:

Gleichung 1:

$$KEA = EAK + EAS + EAD + EAPSM + EAM$$

Gleichung 2:

$$EAK = \sum x_{K,i} \cdot k_K$$

Gleichung 3:

$$EAS = \sum x_{S,i} \cdot k_{S,i}$$

Gleichung 4:

$$EAD = \sum x_{D,i} \cdot k_{D,i}$$

Gleichung 5:

$$EAPSM = \sum x_{PSM,i} \cdot k_{PSM,i}$$

Gleichung 6:

$$EAM = \sum m_i \cdot t \cdot L_{ti}^{-1} \cdot k_{M,i}$$

(bei Angabe der Maschinenlebensdauer in Stunden)

Gleichung 7:

$$EAM = \sum m_i \cdot L_{ai}^{-1} \cdot k_{M,i}$$

(bei Angabe der Maschinenlebensdauer in Hektar)

$x_{K,i}$ = Dieselkraftstoffmenge der Art i in kg
 $x_{S,i}$ = Saatgutmenge der Art i in kg
 $x_{D,i}$ = Mineraldüngermenge der Art i in kg
 $x_{PSM,i}$ = Pflanzenschutzmittelmenge der Art i in kg
 $x_{M,i}$ = Maschinenabschreibung der Art i in kg
 m_i = Maschinenmasse der Art i in kg
 t = Arbeitszeitbedarf in h/ha
 L_{ti} = Maschinenlebensdauer (der Maschine i) in ha
 L_{ai} = Maschinenlebensdauer (der Maschine i) in ha
 k_K = KEA-Parameter Dieselkraftstoff
 $k_{S,i}$ = KEA-Parameter Saatgut der Art i
 $k_{D,i}$ = KEA-Parameter Düngemittel der Art i
 $k_{PSM,i}$ = KEA-Parameter Pflanzenschutzmittel der Art i
 $k_{M,i}$ = KEA-Parameter Maschinen der Art i
 EAK = Energieaufwand für Kraftstoff
 EAS = Energieaufwand für Saatgut
 EAD = Energieaufwand für Dünger
 $EAPSM$ = Energieaufwand für Pflanzenschutzmittel
 EAM = Energieaufwand für Maschinen

Der Bruttoenergieertrag (BEE) entspricht zum einem dem Heizwert der Trockensubstanz des Energiepflanzenenertrages (BFEE) und zum anderen dem Energiegehalt der Methangasausbeute (BMEE). Die Verwendung beider Größen ermöglicht eine Charakterisierung der Energieverluste und des Umsetzungsgrades bei den Umsetzungsprozessen. Als Nettoenergieertrag wird die Differenz von Bruttoenergie und kumuliertem Energieaufwand bezeichnet. Der Erntefaktor wird als Quotient des Bruttoenergieertrags und des kumulierten Energieverbrauchs definiert und ist eine dimensionslose Größe. Werte > 1 besagen, dass in dem Prozess mehr Energie erzeugt als verbraucht wurde.

Eine Ausnahme in der Energiebilanzierung bildet der Winterraps. Diesem wird keine Nutzung zur Methangasherstellung unterstellt, um eine realistische Anwendung zu simulieren. Als Weiterverarbeitungsprodukt fungiert hier Rapsöl. Diesem muss anders als beim Rapsdiesel kein Anteil an fossilem Methanol zugeschrieben werden, da dies eine Verfälschung der Ergebnisse gegenüber den anderen Fruchtarten zur Folge hätte.

3.5 Ökonomische Berechnungen

Die Ökonomischen Berechnungen basieren auf zwei nachfolgend erläuterten Verfahren.

3.5.1 Deckungsbeitrag/Gewinnbeitrag

Der Deckungsbeitrag erfasst jeweils einen Erzeugungsdurchgang mit den dazugehörigen variablen Leistungen und Kosten. Der Gewinnbeitrag beinhaltet zusätzlich die fixen Leistungen und Kosten wie Flächenprämie und Pacht, und weist für alle hier vorliegenden Fruchtfolgen definitionsgemäß identische Beträge auf. Somit ist die Handlungsalternative mit dem höchsten Deckungsbeitrag auch die gewinnreichste (KUHLMANN & TOEWS 2009). Die Berechnung der Deckungs- und Gewinnbeiträge der Fruchtfolgen wurde durch die Universität Gießen realisiert. Als Basis dienten die aus den Anbaudaten der einzelnen Fruchtarten und Fruchtfolgen erstellten Kosten und Leistungen. Da laut KUHLMANN & TOEWS 2009 die Begrifflichkeit der variablen Kosten und Leistungen von der betrachteten Entscheidungssituation abhängt, ist eine detailliertere Klassifizierung essentiell (Tabelle 9).

Tabelle 9: Klassifizierung der Berechnungsfaktoren für den DB

Merkmal	Leistung fix (f), variabel (v)	Kosten fix (f), variabel (v)	Bemerkungen
Ertrag	v		Unterschied zwischen den FF
Entkoppelte Flächen- prämie	f		Kein Unterschied zwischen den FF
Saatgut, Pflanzen- schutzmittel, Düngemittel etc.		v	Unterschied zwischen den FF
Maschinen- und Arbeitseinsatz		v	Unterschied zwischen den FF
Trocknungskosten		v	Unterschied zwischen den FF, da nur für bestimmte Fruchtarten notwendig
Flächennutzungskosten		f	Kein Unterschied zwischen den FF

Grundsätzlich definiert der hier vorliegende Deckungsbeitrag die Differenz aus den von Anbausystem zu Anbausystem unterschiedlichen variablen Kosten und Leistungen. Die zur Berechnung der Leistungen und Kosten notwendigen Parameter mit ihren vorausgesetzten Annahmen sind in der Tabelle 10 beschrieben.

Tabelle 10: Ausgangsbasis der Berechnungsparameter

Faktor		Annahme
Erträge		<ul style="list-style-type: none"> keine Berücksichtigung von Lagerverlusten, da Ernteware zum Erntezeitpunkt verkauft Anwelksilage: Erhöhung der TM-Gehaltes um 8%, Anwelksilage: Einbezug von 10% Bröckelverlusten durch Wenden und Schwaden Markfrucht Getreide: Ertrag bei 14,5% Restfeuchte als Handelsbasis Markfrucht Raps: Ertrag bei 9% Restfeuchte als Handelsbasis
Arbeitserledigungskosten (Vollkostenrechnung)	Eckdaten	<ul style="list-style-type: none"> in Anlehnung an KTBL Zinssatz 5%, Stundenlohn: 15 €/h, Dieselpreis: 1,20 €/l, Heizölpreis: 0,65 €/l Feld-Hof Entfernung: 5 km Schlaggröße 10 ha Bodenbearbeitbarkeit in Abhängigkeit der Bodenart: leicht Abschreibung, Zinsen (Kapitalkosten), Versicherungen Gärrestausrückführungskosten. 4,2 €/t,
	Saatgut	<ul style="list-style-type: none"> Mittlere Preise der einzelnen Fruchtarten,
	Düngung	<ul style="list-style-type: none"> Einsparung von 1,2 Mineräldüngergaben (300 kg/ha) bei einer Applikation von 25m³ Gärrest Mineräldünger: KAS, Superphosphat, 40er Kali als Berechnungsgrundlage, P-, K-, MG-Bedarf: Vorratsdüngung 800 kg/ha entspricht nach KTBL 15 €/ha anteilige Aufteilung auf alle Versuchsglieder einer Fruchtfolge N-Bedarf: laut Versuchsdurchführung
	Erntekosten	<ul style="list-style-type: none"> Ganzpflanzenernte: Silomaiserntekosten auch für die anderen Kosubstrate anwendbar KTBL Arbeitsverfahren: <ul style="list-style-type: none"> 300 kW Häcksler, Häckselgutwagen 50m³ 160 kW 175 €/ha bei Nullertrag + 3,5 €/t FM
	Trocknungskosten	<ul style="list-style-type: none"> 65 ct/l Heizöl, 15 ct/ kWh Strom, bei Bedarf

Faktor		Annahme
Preise	Kosubstratpreis	<ul style="list-style-type: none"> • theoretisches Methanbildungspotential der Kosubstrate • Grundlage: <ul style="list-style-type: none"> ○ Silomaispreis 28 €/t (angeliefert und verdichtet bei Biogasanlage, zum Erntezeitpunkt, freie Gärrestrücknahme) • Methanbildungspotential bei Silomais: 90,6 m³/t FM • Methanpreis 31 ct/m³
	Marktfruchtpreise	<ul style="list-style-type: none"> • mittlere Marktfruchtpreise als Grundlage • W. Raps 288 €/t • W. Triticale 142 €/t • W. Weizen 151 €/t
	Düngerpreise	<ul style="list-style-type: none"> • als Arbeitshypothese die Daten des statistischen Bundesamt 2005 • Element K 488 €/t • Element P 2022 €/t • Element N 859 €/t

Ferner ist anzumerken, dass die Gärrestausbringungskosten nicht an die Ertragsleistung der Fruchtarten gekoppelt werden, sondern sich an den nach DüV vorgeschriebenen Richtlinien orientieren (KAPE ET AL. 2008). Bei der Berechnung der Deckungsbeiträge von Kosubstraten finden die theoretisch ermittelten Methanausbeuten der Fruchtarten durch das Berechnungsmodell nach BASERGA 1998 für die alternativen Kosubstrate Verwendung. Als Ausgangswert dient der Quotient aus den bekannten Größen Preis/t Mais und dem Methanbildungsvermögen/t Mais. Dieser Wert des Quotienten (Methanpreis) wird dann mit dem Methanbildungsvermögen der einzelnen Kulturarten multipliziert.

3.5.2 Produktionsschwelle und Relative Vorzüglichkeit

Die Berechnung einer standortabhängigen Produktionsschwelle und relativen Vorzüglichkeit basiert auf nachfolgenden Gleichung 8 und Gleichung 9 (LEHMANN 2005).

Gleichung 8

$$PS \text{ [€/dt TM]} = (\text{Var. DK [€/ha*a]} + \text{ALK [€/ha*a]}) / \text{TM [dt/ha*a]}$$

Gleichung 9

$$GP \text{ [€/dt TM]} = (\text{Var. DK [€/ha*a]} + \text{ALK [€/ha*a]} + \text{OK [€/ha*a]}) / \text{TM [dt/ha*a]}$$

PS	Produktionsschwelle
GP	Gleichgewichtspreis
Var. DK	variable Direktkosten (Saatgut, Dünger, PSM, sonst.)
ALK	Arbeiterledigungskosten (Maschinenunterhalt, Treib- u. Schmierstoffe, Lohn)
OK	Opportunitätskosten (Entgangener DB für eine Marktfrucht, bzw. -folge)

Grundvoraussetzungen für die Berechnungen der variablen Kosten und Arbeiterledigungskosten kongruieren mit denen des DB (Tabelle 10). Zur Bewertung der geprüften Fruchtarten wird ein Winterweizen (A Qualität) als Berechnungsgrundlage der Opportunitätskosten hinzugezogen. Als Vergleichsbasis für die Energiefruchtfolgen wird eine standorttypische Marktfruchtfolge (WRa-WW-WW-WG) zugrunde gelegt. Kalkulationswerte sind dabei die Ertragsdaten aus dem vorliegenden Versuch auf einem D5/6 Standort gemäß der MMK- Klassifizierung.

3.6 Statistische Auswertung

Eine statistische Auswertung der Trockenmasseerträge ist in der vorliegenden Arbeit effizient, da alle weiterführenden Berechnungen zur Beurteilung ökonomischer und ökologischer Aspekte auf den Ertragsdaten basieren. Die Verrechnung der Trockenmasseerträge erfolgte mittels der Statistik-Software SAS 9.2. Zur Berechnung der Varianzanalyse und zur Ermittlung der Mittelwerte wurde die Prozedur MIXED genutzt. Dadurch besteht die Möglichkeit, einen Autokorrelationsansatz durch räumliche Kovarianzmodelle in die Varianzanalyse mit gemischten Modellen einzubeziehen. Als Variogrammfunktion diente das sphärische Modell. Durch die Autokorrelation konnte der Versuchsfehler reduziert und ein Bodenausgleich erreicht werden. Zum paarweisen Vergleich aller Stichproben wurde der t-Test hinzugezogen.

4 Ergebnisse und Diskussion

Grundlage der nachfolgend dargestellten und diskutierten Ergebnisse sind die am Standort Gülzow erhobenen Daten des Versuchszeitraumes von März 2005 bis Dezember 2008.

4.1 Erträge

Der Erntezeitpunkt wurde in allen Fruchtfolgen im Sinne der Fruchtfolgegestaltung und der in Kapitel 3.3 erläuterten Einflussfaktoren auf die Methanausbeute gewählt. Angestrebtes Ziel war dabei ein TS-Gehalt von ca. 30% bei den Hauptkulturarten, welcher jedoch nicht bei allen Fruchtarten realisiert werden konnte. Ursachen dafür werden im nachfolgenden Kapitel 4.1.1 entsprechend der betroffenen Fruchtarten erläutert.

4.1.1 Erträge einzelner Fruchtarten

Der zeitgleiche Anbau von 8 verschiedenen Fruchtfolgen und daraus resultierender zeitnaher Artenvielfalt im Fruchtfolgeregime sind für die Vergleichbarkeit fruchtartenspezifisch erzielter Erträge vorteilhaft. Zusätzlich besteht durch eine Gegenüberstellung der erreichten Erträge mit Versuchsergebnissen aus Ländersortenversuchen der LFA und den Erhebungen der BEE die Möglichkeit einer Einordnung der erzielten Ergebnisse in die Ertragserwartungen für die Region Mecklenburg-Vorpommern. Dabei sind jedoch mehrere Aspekte zu berücksichtigen. Einerseits werden im Feldversuchswesen, anders als in der Praxis, mittels Parzellen keine Verluste durch Vorgewende, Leitspuren usw. hervorgerufen. Dementsprechend ist laut ZENK & MICHEL 2008 bei gleich geführtem Pflanzenbestand ein fruchtartenabhängiger Mehrertrag von ca. 15 bis 20% zu erwarten. Dieser muss beim Vergleich mit Praxiserträgen Beachtung finden (Korrekturfaktor Tabelle A 8). Andererseits sind für Kulturarten wie Sorghumhirse, Sommerroggen-Sommertriticalemischung oder Grünschnittroggen nur lückenhafte Untersuchungsergebnisse aus anderen Quellen vorhanden, was eine Aussage über eventuelle praxisrelevante Ertragserwartungen erschwert. Weiterhin kann eine Einordnung der Getreideganzpflanzenerträge wegen noch geringer Anbaupraxis häufig nur durch die Verrechnung der Kornerträge der LSV und BEE mit dem in der Düngeverordnung angegebenen Korn: Strohverhältnis realisiert werden (Tabelle A 8). Berücksichtigung finden muss auch die Tatsa-

che, dass die langjährig ermittelten Erträge der BEE und LSV sortenübergreifend verschiedene Standorte Mecklenburg-Vorpommerns mit variierenden Ackerzahlen repräsentieren. Dennoch verdeutlicht die in Tabelle 11 aufgezeigte Differenz mit max. 16,50 dt/ha eine gute Übereinstimmung der erzielten Erträge von EvA mit der BEE.

Tabelle 11: Vergleich der erzielten Versuchsergebnisse mit BEE und LSV

Fruchtart	EvA TM- Erträge (2005- 2008) [dt/ha]	Modifizierte EvA TM- Erträge (2005-2008) [dt/ha]	Modifizierte LSV TM- Erträge (2003-2008) [dt/ha]	BEE Mittelwerte (2002- 2007) [dt/ha]	Δ (EvA- BEE) [dt/ha]	Δ (EvA- LSV) [dt/ha]
Mais HF	216,4	173,1	156,64	108,24*	64,9	16,5
WT	132,7	112,8		107,35	5,45	
H SM	94,6	80,5		91,98	11,48	
SG	91,7	77,9		84,24	6,34	
W.Weidel.						
2. Jahr	104,6	88,9		73,3	15,6	
KleeG						
2. Jahr	98,5	83,7		72,1	11,6	
WW K	101,1	85,9		83,3	2,6	
WT K	95,6	81,3	63	56,5**	24,8	6,5
WRa K	47,4	40,3	56	44	3,7	
* Ungenauigkeit der Schätzwerte von Silomaisorten bei BEE, darum Vergleich mit Mittelwerten der LSV Energiemaisorten						
** Sehr geringe Datenbasis bei auf D5 Standorten BEE						

Ausnahmen bilden lediglich Mais und Wintertriticale (K). Letztere ist durch eine zu geringe Datenbasis in der BEE als Bezugsgröße ungeeignet. Hier beruht die Berechnung auf die in den LSV erzielten Ergebnisse. Beim Mais sind die Methode der Ertragserfassung in der BEE und die Wahl von Silomaisorten in der Praxis die Ursache für den hohen Ertragsunterschied. Deshalb musste auch hier auf den Vergleich mit im LSV geprüften Energiemaisorten zurückgegriffen werden. Für beide Fruchtarten ist bei $\Delta < 16,5$ dt TM/ha eine Affinität zum LSV gewährleistet. Zusammenfassend kann also festgestellt werden, dass die im vorliegenden Versuch erzielten Erträge als repräsentativ für die Region Mecklenburg-Vorpommern zu bewerten sind.

Nachfolgend diskutierte Ergebnisse unterliegen der Klassifikationen Biogas- und Körnernutzung. Es handelt sich um Mittelwerte der Anbaujahre 2005 bis 2008, ermittelt durch anbauspezifisch unterschiedliche Probenanzahl n (Tabelle A 9) der jeweiligen Fruchtarten.

In Abbildung 6 dargestellte Frisch- und Trockenmasseergebnisse zeigen die eindeutige Überlegenheit des Maises in Hauptfruchtstellung, gefolgt von Mais in Zweitfruchtstellung. Damit wird der Sachverhalt untermauert, dass diese Kulturpflanze die derzeit ertragreichste Fruchtart im Energiepflanzenanbau ist. Ein Grund für diesen Ertragsvorteil ist die jahrelange Züchtungsarbeit beim Mais. Auch liegt dem Anbausystem „Mais“ unabhängig der Nutzungsrichtung als Energie- oder Futterpflanze ein identisches Produktionsverfahren zu Grunde, und basiert im Gegensatz zu dem Anbausystem „Ganzpflanzengetreide“ oder der Kultivierung neuer Kulturarten (z.B. Sorghumhirsen) auf jahrelangen Anbauversuchen und -erfahrungen. Laut BAUER 2007 wurden bereits seit 1933 die Maiszüchtung und die Kultivierung in Deutschland gefördert. Der Ganzpflanzengetreide- und Sorghumhirsenanbau hingegen findet erst seit der Initiierung des EEG, und der daraus resultierenden steigenden Akzeptanz und technischen Entwicklung auf dem Sektor regenerativer Energien stärkere Beachtung. Grundsätzlich ist jedoch trotz der hervorragenden Ertragserwartung beim Mais zu beachten, dass es in den letzten Jahren gehäuft auch zu Ertragsausfällen und –depressionen kam. Gründe hierfür lagen zum einen in den durch Trockenperioden (Kap. 2.1.2) verursachten Stresssituationen, zum anderen in den immer häufiger und stärker auftretenden Schaderregern, wie z.B. dem Maiszünsler (HEIDEL 2007) und Krankheiten (Beulenbrand). Die kontinuierliche Versorgung mit Biomasse durch den ertragsstabilen Mais ist somit nicht grundsätzlich gewährleistet. Demgemäß müssen weitere Biomasselieferanten gesucht werden, die den Rohstoffbedarf zur Erzeugung der regenerativen Primärenergie zusätzlich abdecken.

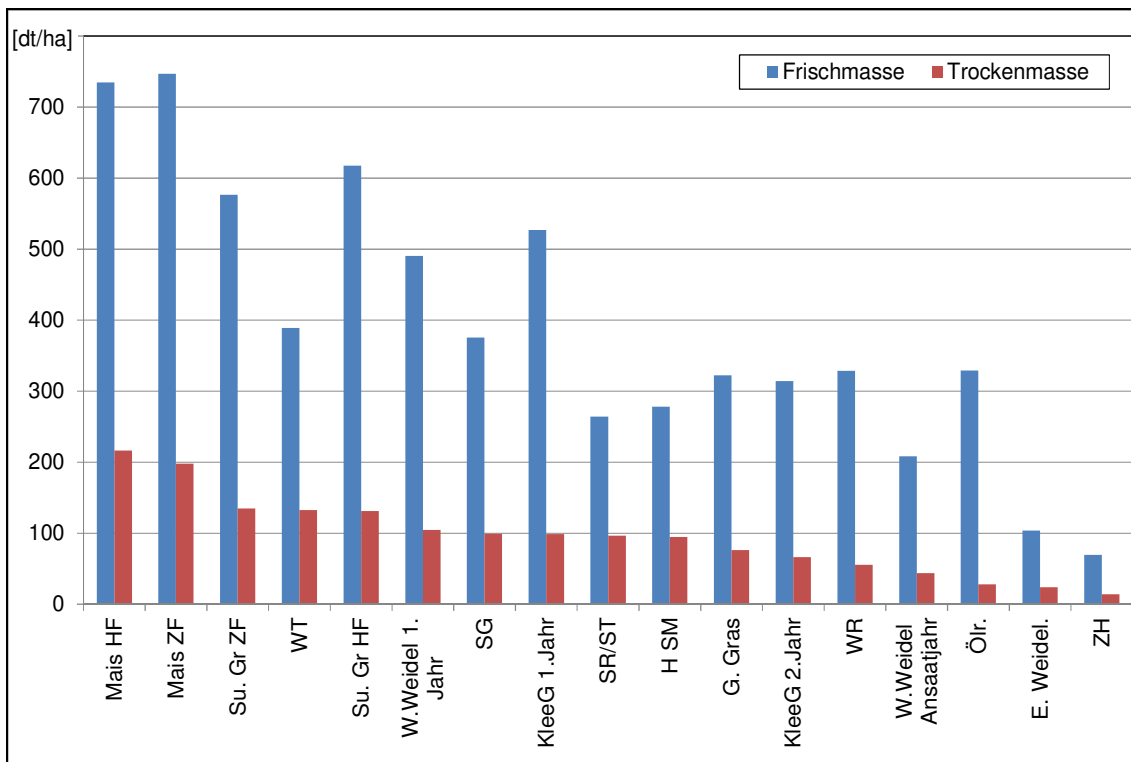


Abbildung 6: Erträge der Fruchtarten zur Biogasnutzung am Standort Gültzow

Abbildung 6 zeigt, dass Sudangras in Zweitfruchtstellung, Wintertriticale (GPS) Sudangras (HF), Welsches Weidelgras und Klee gras im 1. Nutzungsjahr sowie Sommergerste, Sommerroggen-Sommertriticalemischung und Hafer mit ca. 100 dt TM/ha als ertragreiche Alternative in Betracht gezogen werden können. Gleichzeitig ist durch ihren Einsatz eine artenvielfältige Fruchtfolgegestaltung möglich. Alle anderen untersuchten Fruchtarten konnten zum jetzigen Zeitpunkt mit ihrem mäßigen Trockenmasseertrag nicht überzeugen. Weiterhin wurde festgestellt, dass eine Minimierungsstrategie insbesondere auf dem Sektor des Pflanzenschutzmitteleinsatz im Energiegetreideanbau nicht den gewünschten Effekt der Kostensenkung bei gleichbleibendem Ertrag bewirkt. Verunkrautung der Folgefrucht Wintertriticale nach Hafer ohne Herbizideinsatz in Fruchtfolge 5 sowie Lager der Artenmischung SR/ST in Fruchtfolge 8 führten als Folgeerscheinungen dieser Anbaustrategie zu Ertragseinbußen. Adaptierter Pflanzenschutzmitteleinsatz in der zweiten Anbauphase konnte den erwähnten Effekten entgegenwirken. Alle erzielten Ergebnisse sind als richtungsweisend einzustufen, da weiterführende und detailliertere Projekte auf diesem Gebiet gleiche Tendenzen (Zweikulturnutzungssystem TP 6 des EvA Projektes) zeigten.

Auch durch Züchtung können einige der geprüften Fruchtarten ihr Ertragspotential steigern. Insbesondere bei den Sorghumhirsen ist das Leistungsvermögen noch weitestgehend ungenutzt (RONNEY ET AL. 2007). Dies wird bei der Betrachtung der Relation zwischen Frischmasse- und Trockenmasseerträgen deutlich. Einem hohen Frischmasseertrag von durchschnittlich 617 dt FM/ha steht ein vergleichsweise geringer Trockenmasseertrag von ca. 130 dt TM/ha gegenüber. Eine ungleichmäßige Abreife bewirkt stark heterogene Bestände und führt zu niedrigen Trockensubstanzgehalten von < 23%. Hier ist insbesondere die Züchtung gefragt, da im Bereich der Anbauoptimierung beeinflussende Maßnahmen, wie die Verlängerung des Vegetationszeitraumes derzeit witterungsbedingt begrenzt sind. Eine frühere Aussaat z.B. hat sich bei der hier angebauten Sudangrassorte Susu als unvorteilhaft erwiesen. Bestätigung findet dieser These durch diverse Literaturquellen. Bereits ADAM (2006) und WUTZ (2008) erwähnen beispielsweise, dass erst eine Bodentemperatur ab 12°C die Keimung der Sorghumhirse bewirkt. Weitere Untersuchungsergebnisse verweisen zusätzlich auf eine schnellere Keimung bei höheren Bodentemperaturen (v. FELDE 2008). Dieser Effekt zeigte sich auch am Standort Gülzow (Abbildung A 5), wo die geringste Keimdauer ab einer Bodentemperatur von > 17°C vorlag. Die Ausnahme im Jahre 2008 wurde durch die starke Trockenheit im Juli hervorgerufen. Auch ein verspäteter Erntetermin bis Ende Oktober ist wegen der Aussaat der Folgefrucht nicht ratsam, da am Standort Gülzow trotz Spätsaataufschlag von 100 kfK signifikante Ertragseinbußen bei Winterweizen nach der Zuckerhirseernte am 10.10.2007 festgestellt wurden (Tabelle 12). Ebenfalls abzuraten ist von der im Versuch durchgeführten Spätaussaat der Sorghumhirse Anfang Juli (Fruchtfolge 1) für die Region Mecklenburg-Vorpommern. Hier reicht der noch verbleibende Vegetationszeitraum (Juli bis Oktober) und die daraus resultierende Temperatursumme für einen nutzbaren Biomassezuwachs nicht aus (Tabelle A 10). Für die Prüfung einer Ertragssteigerung der Sorghumhirsen und anderer im Versuch etablierte Fruchtarten durch Veränderungen von Düngestrategien, Pflanzenschutzmitteleinsätzen sowie agrotechnischen Maßnahmen (Variation der Bestandesdichte, Reihenweiten, Ablagetiefen usw.) ist auf Grund der Konzeption des Projekt nur bedingt möglich. Diese Fragestellungen werden deshalb derzeit in Folgeprojekten untersucht.

Erträge der zur Körnernutzung angebauten Fruchtarten sind in Abbildung 7 dargestellt. Die Ergebnisse bestätigen ein für Mecklenburg-Vorpommern charakteristisches Ertragsverhältnis der Kulturarten zueinander. Das der Wintertriticale trotz seiner dem Winterweizen ebenbürtigen Kornerträge eine untergeordnete Rolle im Marktfruchtanbau Mecklenburg-Vorpommerns spielt, hängt mit der Nachfrage und den daraus resultierenden Agrarpreisen zusammen. Die im Versuch erzielten Erträge sind mit den Landesdurchschnittserträgen (Tabelle A 8) vergleichbar und als zufriedenstellend einzustufen. Lediglich der Winterraps konnte nicht mit denen im LSV erreichten Erträgen (56 dt/ha) konkurrieren. Gründe hierfür sind in der räumlichen Trennung des Eva-Projektes von größeren mit Raps bestellten Versuchsflächen zu suchen, da insbesondere in der Blütezeit ein erhöhtes Schädlingsaufkommen (Rapsglanzkäfer) zu verzeichnen war, angelockt durch die einzeln stehenden gelb blühenden Rapsbestände des EvA-Projektes. Auch die durch eine Sortenänderung im Jahre 2007 erzielte Ertragssteigerung reichte nicht aus, um diese lokal bedingten Nachteile zu kompensieren.

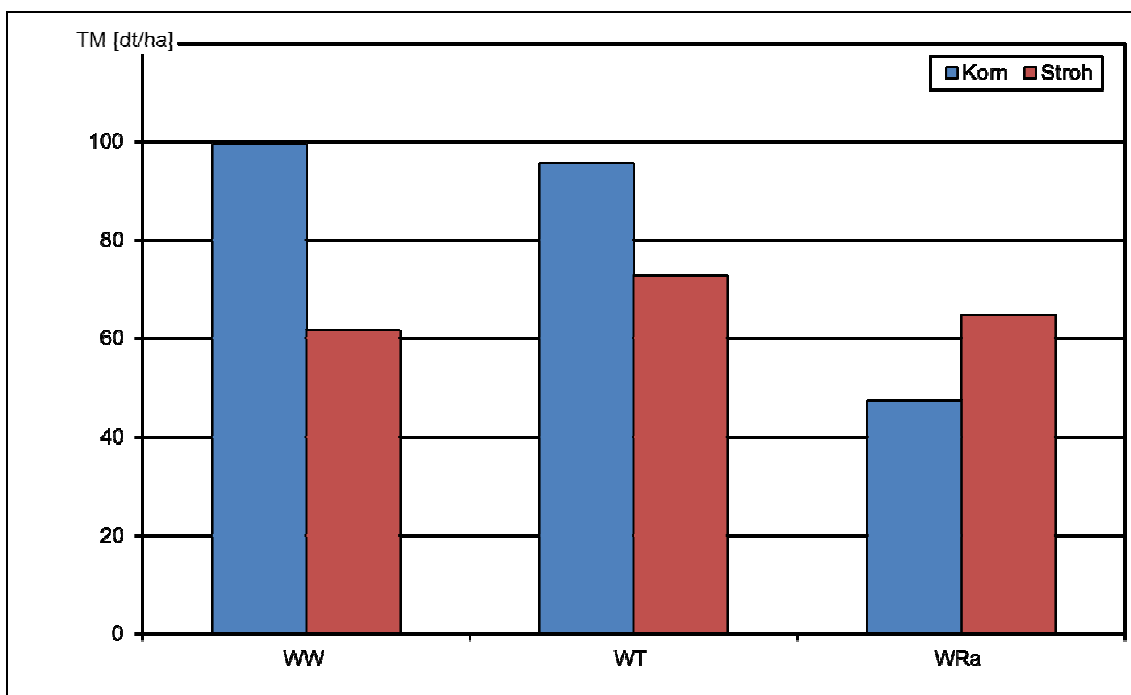


Abbildung 7: Korn- und Stroherträge angebauter Fruchtarten (86% bzw. 91% TS)

Für die in allen Fruchtfolgen einheitlich angebaute Abschlussfrucht Winterweizen wurde die spätsaatverträgliche Sorte Toras 2007 zu zwei Aussaatterminen gedreht. Somit konnten eventuell auftretende Fruchtfolgeeffekte verdeutlicht und

eine praxisrelevante fruchtfolgecharakteristische Anbauweise simuliert werden. Der erste Termin war am 4.10.2007 für die Fruchtfolgen 2 bis 8. Die Spätsaat wurde in Fruchtfolge 1 am 15.10.2007 nach der Zuckerhirsenernte mit einer Erhöhung der Aussaatstärke um 100 kfK/m² etabliert. Das sollte zusammen mit der Spätsaatverträglichkeit der Sorte die Nachteile einer verzögerten Aussaat kompensieren (SPINK ET AL. 2000, DONALDSON ET AL.2001). Eine signifikante Beeinträchtigung der Erträge konnte dennoch nicht vermieden werden. Tabelle 12 zeigt, dass die Fruchtfolge 1 zu den Fruchtfolgen 3-7 einen gesicherten Minderertrag aufweist.

Tabelle 12: Statistik der Weizenerträge

Fruchtfolge	Weizen Korn Ertrag [dt/ha]	Statistisch gesichert mit $\alpha < 5\%$							
		FF1	FF2	FF3	FF4	FF 5	FF 6	FF 7	FF 8
FF 1	98,9		*	*	*	*	*	*	
FF 2	79,6			*	*	*	*	*	*
FF 3	107,6								
FF 4	113,9								*
FF 5	108,6								
FF 6	105,9								
FF 7	106,4								
FF 8	102,4								
Mittlerer Ertrag	102,9								
GD(5%,t, Standard zu Prüfglied	6,5								
GD(5%,t, Prüfglied zu Prüfglied	8,3								

Der durchschnittliche Kornertrag lag am Standort Gülzow bei 102,9 dt/ha, und bestätigte somit den im Landessortenversuch von 103 dt/ha (ZENK & MICHEL 2008). Ein signifikant geringerer Ertrag ist in Fruchtfolge 2 zu verzeichnen, verursacht durch die Wahl der Vorfrucht (Wintertriticale). Bereits KILLERMANN ET AL. (2007) und SIELING (2007) weisen auf eine Ertragsbeeinträchtigung beim Winterweizen durch Wintergetreidevorfrüchte hin, hervorgerufen durch die begünstigten Übertragungsbedingungen von Krankheiten bei enger Getreideabfolge. Eine Bonitur des Winterweizens während der Vegetationsperiode und eine zusätzliche phytomedizinische Laboruntersuchung vor der Ernte auf *Pseudocercospora herpotrichoides*, *Rhizoctonia cerealis* und *Fusarium* spp. bestätigte in Fruchtfolge 2 einen erhöhten Krankheitsbefall in den Halmbasispathogenen. In alle anderen Fruchtfolgen wurde ein bedeutungsloser Krankheitsbefall festgestellt (GEROWITT 2009). Eine weitere Ursache des signifikanten Ertragsunter-

schiedes in Fruchtfolge 2 kann auch in einer unausgewogenen Nährstoffversorgung liegen. Gestützt wird diese Theorie durch das Ertragspotentials der Fruchtfolge 8 mit der Vorfrucht Winterweizen vor Winterweizen, bei welcher der Vorfruchteffekt deutlich abgeschwächter auftrat. Hier konnte ein signifikanter Unterschied lediglich zur ertragsstärksten Fruchtfolge 4 nachgewiesen werden. Der Grund für die Ertragsunterschiede der FF 8 und FF 2 trotz Wintergetreidevorfrucht in beiden Fällen ist in der Heterogenität der Versuchsfläche und in der Strohrückführung der Vorfrüchte Wintererbsen und Winterweizen in Fruchtfolge 8 zu suchen. Diese Strohdüngung verbesserte das Nährstoffangebot des Bodens in Fruchtfolge 8 gegenüber der Fruchtfolge 2 (nur Wintertriticalestroh) massiv.

In der Gesamtbetrachtung der Winterweizenerträge im Versuch zeichnet sich eine Bestätigung der bereits bei KÖNNECKE 1967 erwähnten Thesen der spezifischen Vorfruchtwirkungen auf den Weizenertrag ab. Ackergräser und Wintererbsen sind als ertragssteigernde Winterweizenvorfrüchte einzustufen (FF4, FF3, FF5, FF 6 und FF7) (Abbildung A 6). Der Strohertrag zeigt gleiche Ergebnisse. Dabei lag das Verhältnis von Stroh zu Korn mit 1:0,6 unter dem in der Düngeverordnung genannten Verhältnis (Abbildung 8).

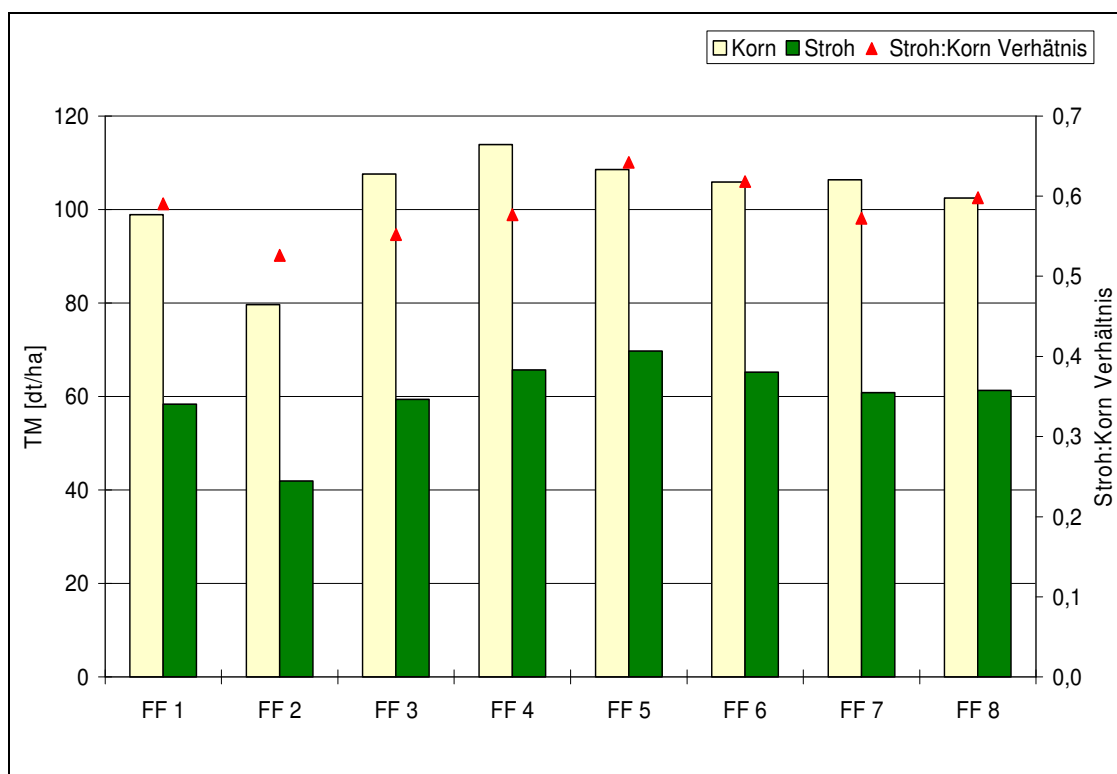


Abbildung 8: Winterweizenerträge (TS 86%)

Die in 2008 erzielten hohen Kornerträge gehen fruchtfolgeunabhängig mit einem, wie auch im LSV 2008 (MICHEL & PIENZ 2008) aufgetretenen, beträchtlichen Verdünnungseffekt im Rohproteingehalt einher. Ein für A-Weizen charakteristischer Rohproteingehalt von 13% konnte von der angebauten Weizensorte Toras nicht erreicht werden (Abbildung A 7). Diese Qualitätsminderung ist eventuell durch das trockenheitsbedingt hervorgerufene schlechte N-Aneignungsvermögen verursacht worden, da die verwendete Sorte Toras laut BUNDESSORTENAMT 2008 und LSV (MICHEL & PIENZ 2008) in dieser Eigenschaft grundsätzlich als positiv zu bewerten ist. SCHILLING 2000 bestätigt die These mit seinen Versuchen zur Stickstoffdüngung und Eiweißbildung im Sommerweizenkorn. Es zeigt sich hier, dass bei steigenden Stickstoffgaben die N-Gehalte im Korn zunächst absinken und bei hohem N-Düngungsniveau erneut ansteigen. Die TKM verhält sich im Prinzip umgekehrt (SCHILLING 2000). Da besonders in der dritten N-Gabe, welche für die Ausbildung der Qualitätsmerkmale entscheidend ist, die Trockenheit vorherrschte (Abbildung A 8), konnte der dargebotene Stickstoff von der Pflanze nicht in ausreichender Form aufgenommen werden. Auch ALBERT ET AL. 2009 verweist auf den Zusammenhang zwischen Wasserverfügbarkeit besonders bei der späten N-Gabe und der Ausprägung der Qualitätseigenschaften. Mit einer Flüssigdüngergabe zum letzten Düngetermin 2008 hätte der aufgetretene Verdünnungseffekt eventuell vermieden werden können. Dazu schreibt ALBERT ET AL. 2009, dass bei einer ausgetrockneten Bodenoberfläche und gleichzeitiger Absicherung der Wasserversorgung der Pflanzenbestände aus tieferen Bodenschichten der Einsatz von Flüssigdünger sinnvoll sein könnte. Von Bedeutung ist hierbei nicht die ausgebrachte Flüssigmenge, sondern der Anteil des über das Blatt aufgenommenen Stickstoffes. KUMMER 2004 bestätigt ebenfalls, dass die Flüssigkeitsmenge von ca. 400 l/ha nicht ausreicht, um ein nennenswertes Eindringen der Nährstoffe in den Boden zu ermöglichen. Bei AHL könnte ein Teil des Stickstoffes direkt über die Blätter aufgenommen werden, diese Menge ist jedoch sehr gering (KUMMER 2004). GALLER 2007 merkt an, dass bei Ausbringung bei Trockenheit gleichzeitig mit einem erhöhten Ammoniakverlust gerechnet werden muss. Eine endgültige Klärung der Frage, ob die Qualitätsgabe in Form von Flüssigdüngung den erwünschten Effekt erzielt hätte bleibt demnach offen. Hierzu wären weitere Untersuchungen unter Betrachtung dazugehöriger Umweltaspekte erforderlich.

4.1.2 Erträge der Fruchtfolgen

Eingangs in Kapitel 4.1.1 ausführlich diskutierte Fruchtartenerträge und deren Einordnung in den Landesdurchschnitt erlauben ebenso eine Einstufung der kumulierten Fruchtfolgeerträge als regional repräsentativ für Mecklenburg-Vorpommern. Die aus der Summe der Fruchtartenerträge errechneten Fruchtfolgeerträge sind in Abbildung 9 dargestellt. Eine Verschiebung der Reihenfolge zwischen den Frisch- und Trockenmasseerträgen wird durch die variierenden Trockensubstanzgehalte der einzelnen Fruchtarten zum fruchtfolgespezifischen Erntezeitpunkt hervorgerufen (Tabelle A 11). Eine eventuelle Verbesserung der Trockensubstanzgehalte durch agrotechnische Maßnahmen wurde für einzelnen Kulturarten in Kapitel 4.1.2 bereits eingehend erörtert, bei Fruchtarten wie Winterroggen (WZF) und Ackergräsern ist generell ein Anwelken empfehlenswert. Um die Fruchtfolgeerträge zum jetzigen Zeitpunkt gegenüberstellen zu können, sollen die Trockenmasseerträge als Diskussionsgrundlage dienen. Die gekennzeichnete Fruchtfolge 1 in Abbildung 9 wurde als Standard (Tabelle A 1) angebaut.

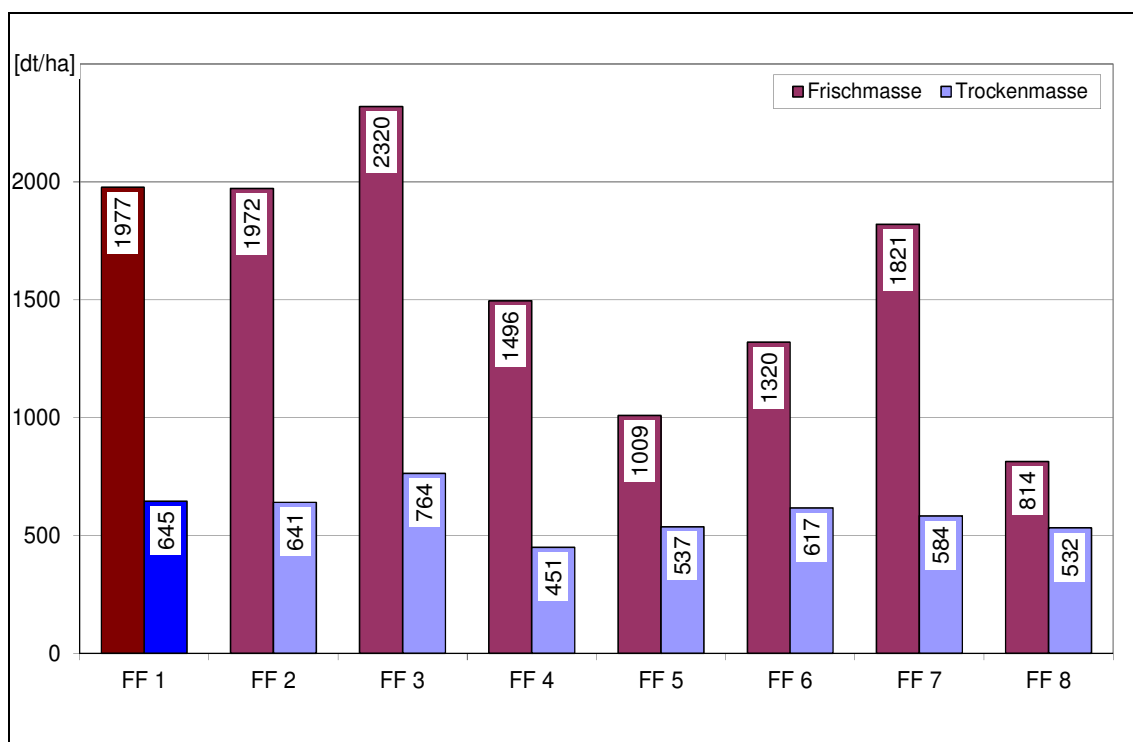


Abbildung 9: adjustierte Frisch- und Trockenmasseerträge der Fruchtfolgen am Standort Gülzow

Es zeichnet sich ab, dass die Fruchtfolgen 3, 1 und 2 die ertragreichsten sind, gefolgt von den Regionalfruchtfolgen 6 und 7. In all diesen Fruchtfolgen sind

neben Mais auch die ertragreichen Alternativen Sorghumhirse, Wintertriticale oder Ackergräser integriert, die einen wesentlichen Anteil zu den hohen Ertragsergebnissen beitragen. Bei den Ackergräsern in Fruchtfolge 7 ist anzumerken, dass der Ertrag durch eine, für den Standort Gülzow untypische, feuchte Witterung im Jahre 2007 positiv beeinflusst wurde und daher als wenig repräsentativ eingestuft werden muss. Erste Ergebnisse der zweiten Anbauphase zeigen jedoch, dass keine Veränderung der in Abbildung 9 dargestellten Rangfolge bei durchschnittlicher Niederschlagsverteilung zu erwarten ist.

Die Weizenernte im Jahre 2008 komplettierte die Rotation, Grundvoraussetzung für die durchgeführte statistische Auswertung der Fruchtfolgeerträge (Tabelle 13).

Tabelle 13: Statistik der adjustierten Fruchtfolgeerträge

Fruchtfolge	Adjustierter TM Ertrag [dt/ha]	Statistisch gesichert mit $\alpha < 5\%$							
		FF1	FF2	FF3	FF4	FF 5	FF 6	FF 7	FF 8
FF 1	645			*	*	*		*	*
FF 2	641			*	*	*		*	*
FF 3	764				*	*	*	*	*
FF 4	451					*	*	*	*
FF 5	537						*	*	
FF 6	617								*
FF 7	584								*
FF 8	532								
Mittlerer Ertrag	596								
GD(5%,t, Standard zu Prüfglied	27,3								
GD(5%,t, Prüfglied zu Prüfglied	35,2								

Bei der statistischen Auswertung weist die Standardfruchtfolge 1 einen signifikanten Mehrertrag zu den Fruchtfolgen 4, 5, 7 und 8 und einen signifikanten Minderertrag zur Fruchtfolge 3 auf.

Unterschiede der Fruchtfolgeerträge zueinander werden in Tabelle 13 ebenfalls dargestellt. Sie verdeutlichen, dass die Fruchtfolge 4 einen bedeutsamen Minderertrag, und die Fruchtfolge 3 einen statistisch gesicherten Mehrertrag zu allen anderen Fruchtfolgen aufweist. Somit ist letztere Fruchtfolge als ertraglich leistungsstärkste Energiefruchtfolge zu charakterisieren.

4.1.3 Theoretische Biogas- und Methangasausbeute

Die theoretische Ertragsfassung der verwendeten Methode weist gegenüber den im Batchverfahren ermittelten Laborwerten des ATB Bornim generell eine geringe Methangasausbeute der Fruchtarten und eine niedrige Korrelation zu diesen auf (Abbildung A 9). Ein Grund hierfür ist die bereit von KAISER 2007 angesprochene Verweilzeit des Substrates im Pansen bzw. im Fermenter. Da der dabei entstehende methodische Fehler in allen zu untersuchenden Fruchtfolgen gleichermaßen auftritt, ist somit kein direkter Einfluss auf die Ergebnisauswertung der vorliegender Fruchtfolgen zu erwarten. Die theoretische Biogas- und Methangasausbeute ist die Grundlage zur Berechnung der in Abbildung 10 dargestellten Methanerträge. Dabei muss das Verhältnis von Fruchtarten zur Biogasnutzung und zur Kornnutzung in den jeweiligen Fruchtfolgen beachtet werden (Tabelle A 12). Die reinen Energiefruchtfolgen 1 und 3 haben mit einem Verhältnis von 5:1 (Biogas zu Korn) auch die höchsten Methanerträge zu verzeichnen. Allerdings ist in Fruchtfolge 1 aufgrund der geringen Zuckerhirseerträge, welche den Methangasertrag signifikant beeinflussen (Abbildung A 4), ein Minderertrag zu registrieren. Eine Anbauoptimierung der Fruchtfolge 1 könnte eine Steigerung der Methangasausbeute bewirken (AMON ET AL. 2007 (B)). Gleiches gilt für die Fruchtfolge 2, in der das Sudangras durch eine verfrühte Ernte das Ertragspotential nicht ausnutzen konnte. Die Verlagerung des Erntezeitpunktes in den Oktober zeigte in einer zweiten Anbauphase bereits erste Erfolge, jedoch ohne Beeinflussung der fruchtfolgespezifischen Rangfolge.

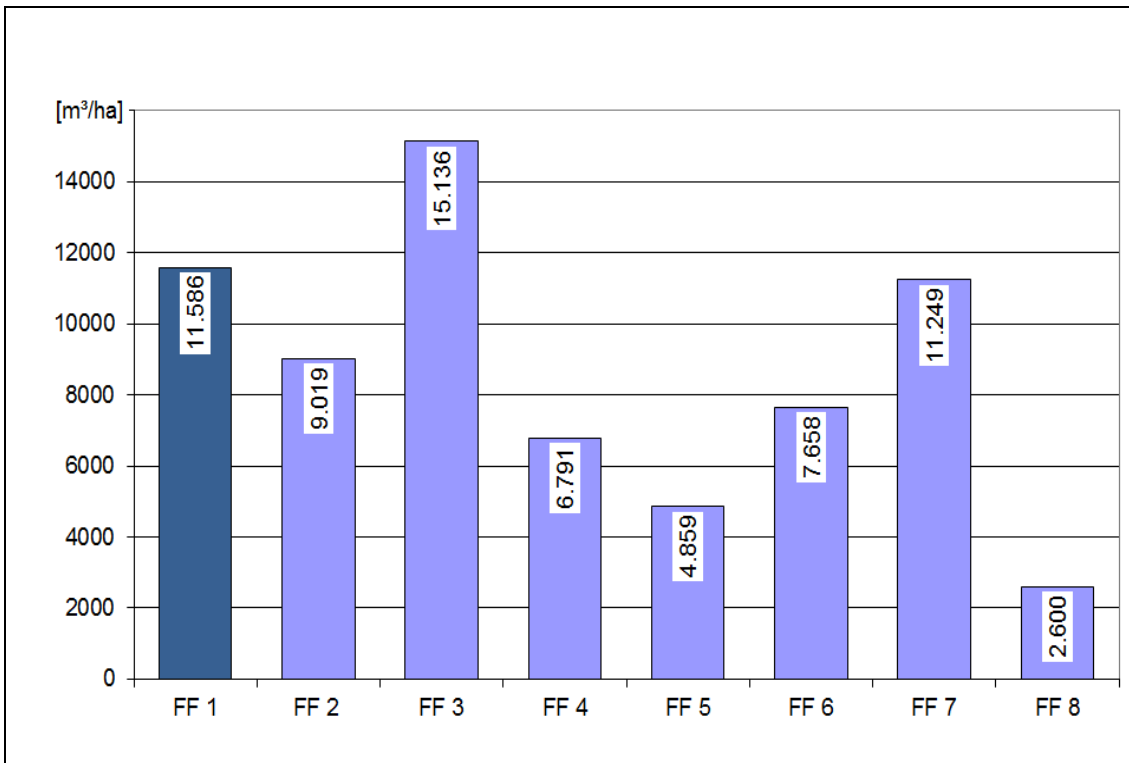


Abbildung 10: Aufsummierte Methanerträge am Standort Gülzow (2005-2008)

Alle dargestellten Ergebnisse müssen unter der Prämisse gesehen werden, dass die theoretische Methangasermittlung grundsätzlich geringere Ausbeuten aufweist als der Batchtest (Abbildung A 9). Somit ist in der Praxis bei fachgerechter Anlagebetreuung ein höherer Methangasertrag zu erwarten als in Abbildung 10 dargestellt ist, ohne Beeinflussung der Fruchtfolgenrelationen untereinander.

Als weiteres Charakterisierungsmerkmal zur praxisorientierten Bewertung der Methanerträge soll die fruchtfolgespezifische Ackerflächenbindung hinzugezogen werden. Abbildung 11 zeigt die benötigte Ackerfläche der jeweiligen Fruchtfolgen zur Gewährleistung einer 100%igen Versorgung einer 330 kW Biogasanlage.

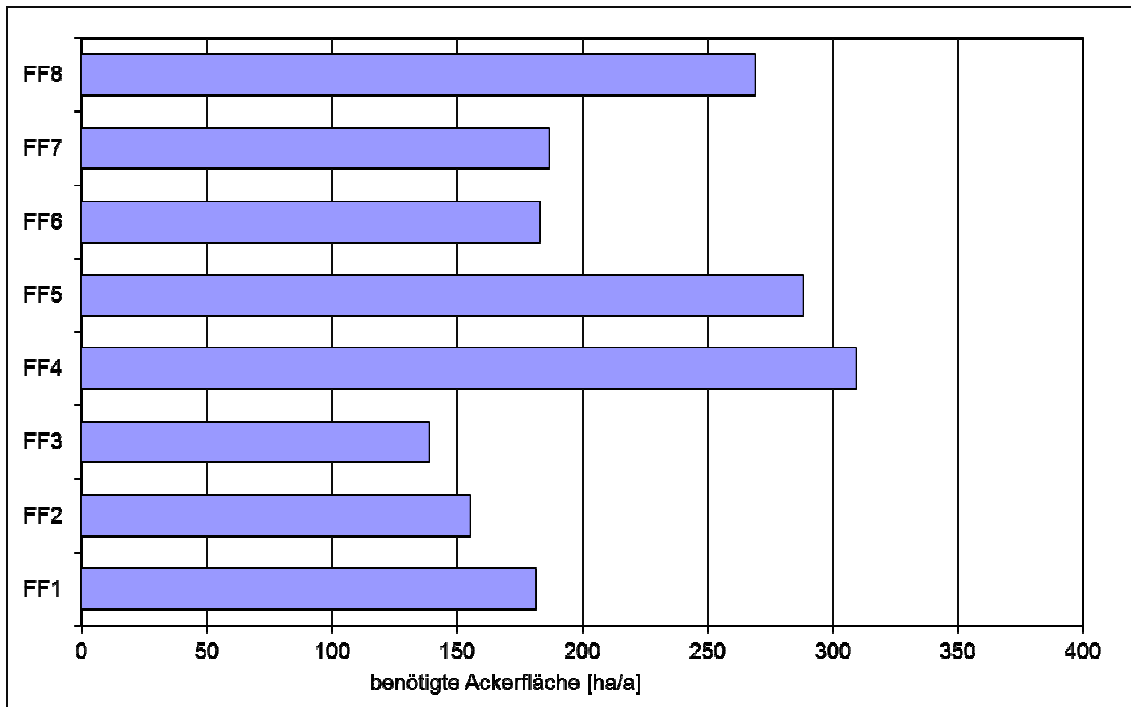


Abbildung 11: Notwendige Ackerfläche/Jahr zur Versorgung einer 330 kW Biogasanlage

Grundlage ist eine Gasproduktion der Biogasanlage von 1.319724 m³/a (FNR 2005 (B)). Um diesen Ertrag zu erreichen, sind in den bereits erwähnten Energiefruchtfolgen 3 und 2 < 160 ha Ackerfläche/a notwendig. Ausgehend von einer durchschnittlichen Betriebsgröße in M-V mit ca. 250 ha wären das ca. 50% bis 60% der Fläche, die durch Energiepflanzenanbau gebunden wären. Bei allen anderen Fruchtfolgen müsste mehr als 70% an Ackerfläche zur Versorgung der Biogasanlage belegt werden und würden damit nicht mehr für die reine Nahrungsmittelerzeugung zur Verfügung stehen. Die Fruchtfolgen 4, 5 und 8 könnten eine ausreichende Rohstoffversorgung nicht gewährleisten. Hier wäre der Landwirt trotz gesamter Ackerflächenbindung auf einen Zukauf der benötigten Rohstoffe angewiesen. Allerdings muss das Anbauverhältnis von Marktfrucht zu Energiefrucht dieser beiden Fruchtfolgen beachtet werden. Durch den hohen Marktfruchtanteil beider Fruchtfolgen wäre eine Nahrungsmittelproduktion vorrangig. Daraus erzielte Gewinne könnten für den Zukauf genutzt werden. Eine Rentabilitätsrechnung dieser Variante wird im Kapitel 4.3 erläutert.

4.2 Ökologische Begleitforschung

4.2.1 Nährstoffbilanzierungen der Fruchtfolgen

Der Diskussion nachfolgender Ergebnisse liegen folgende Schwerpunkte zu Grunde:

- Analyse der Nährstoffausnutzung (Fruchtfolge)
- Minimierung der Nährstoffverluste und diffuser Nährstoffausträge.

Dadurch wird die Möglichkeit geschaffen, eine Beurteilung der Fruchtfolgen hinsichtlich ihrer Umweltverträglichkeit zu realisieren.

4.2.1.1 Stickstoff

Die fruchtfolgespezifischen In- sowie Outputgrößen sind in der Tabelle 14 dargestellt. Eine Ermittlung der Outputgrößen erfolgte über die Verrechnung der TM-Erträge der Fruchtarten mit den Inhaltsstoffanalysen des Ernteproduktes. In der Fruchtfolge 4 konnte der zunächst gut etablierte Kleebestand über die weiteren Anbaujahre nicht gehalten werden. Bereits im zweiten Erntejahr musste ein Bestandesminimierung von > 80% beim Klee festgestellt werden. Gründe sind hauptsächlich in dem hohen Stickstoffangebot zu Versuchsbeginn von 180 kg N_{min}/ha und dem für dieses Nährstoffangebot ungeeigneten Verhältnis der Mischungspartner Klee zu Ackergras (1:1,5) zu suchen (LÜDDECKE ET AL. 1990). Folglich kommen nach dem Berechnungsmodell von STEIN-BACHINGER ET AL. 2004 die in Tabelle 14 ausgewiesenen, zu Null tendierenden N₂-Fixierungen beim Klee zustande. Eine Stickstoffgabe zur Förderung des verbliebenen Grasbestandes war unumgänglich, da bereits erste Mangelerscheinungen auftraten.

Tabelle 14: N-Input- und Outputgrößen der einzelnen Fruchtfolgen

Fruchtart	TM-Ertrag	N-Gehalt	N-Entzug	N-Gabe	
	[dt/ha]	[%]	[kg/ha]	mineralisch [kg/ha]	organisch [kg/ha]
FF 1					
SG	90,5	1,66	150,5	100,0	
Ölr	25,7	3,31	85,2		85,2
M	200,6	1,31	263,6	138,0	
WT (GP)	144,7	1,44	208,3	160,0	
ZH	16,1	1,84	29,6	120,0	
WW (K)	85,0	2,105	179,0	190,0	
WW (S)	58,3	0,415	24,2		24,2
Mittelwert FF 1			235,1	177	27,4
Summe FF 1			940,4	708	109,4
FF 2					
SuGr.	103,6	1,9	199,0	120,0	
WR	48,7	2,769	134,8	120,0	
M (ZF)	180,2	1,367	246,4	138,0	
WT (K)	77,1	2,2	171,6	160,0	
WT (S)	79,3	0,6	47,6		47,6
WW (K)	68,5	2,1	141,4	190,0	
WW (S)	41,9	0,4	16,9		16,9
Mittelwert FF 2			239,4	182	16,1
Summe FF 2			957,7	728	64,5
FF 3					
M	213,2	1,1	235,3	138,0	
WR	51,9	2,4	123,5	90,0	
Su.Gr	143,4	1,5	211,9	120,0	
WT	145,9	1,4	204,3	160,0	
E. Weidel.	34,1	1,8	60,6	60,0	
WW (K)	92,5	2,1	196,2	190,0	
WW (S)	59,4	0,4	23,6		23,6
Mittelwert FF 3			263,85	189,5	5,9
Summe FF 3			1055,4	758	23,6
FF 4					
SG (U)	99,8	1,5	152,9	100,0	
KleeG	43,8	1,9	84,1	80,0	
KleeG	20,4	2,4	49,4	50,0	
KleeG	17,4	2,5	43,9	50,0	
KleeG	47,3	1,6	73,4	80,0	
KleeG	32,1	1,8	57,8		
WW (K)	97,9	2,2	214,7	190,0	
WW (S)	65,7	0,5	30,6		30,6
Mittelwert FF 4			176,7	137,5	7,65
Summe FF 4			706,8	550	30,6

Fruchtart	TM-Ertrag [dt/ha]	N-Gehalt [%]	N-Entzug [kg/ha]	N-Gabe	
				mineralisch [kg/ha]	organisch [kg/ha]
FF5					
H (SM)	96,0	1,33	127,9	100,0	
WT	111,3	1,50	166,5	160,0	
WRa (K)	45,9	3,68	168,7	200,0	
WRa (S)	77,4	0,85	65,8		65,8
WW (K)	93,4	2,1	195,9	190,0	
WW (S)	69,7	0,4	26,9		26,9
Mittelwert FF 5			187,9	162,5	23,2
Summe FF 5			751,7	650,0	92,7
FF 6					
M	205,9	1,04	214,9	138,0	
G.Gras	73,1	1,60	116,9	100,0	
WRa (K)	48,7	3,70	180,2	200,0	
WRa (S)	86,9	0,80	69,6		69,6
WW (K)	90,7	2,1	192,0	190,0	
WW (S)	65,2	0,4	23,9		23,9
Mittelwert FF 6			199,4	157	23,4
Summe FF 6			797,5	628,0	93,5
FF 7					
M	207,3	1,04	215,9	138,0	
WR	47,4	2,30	109,0	90,0	
W.Weidel.	26,9	2,60	69,8	100,0	
W.Weidel.	69,2	1,20	83,0	80,0	
W.Weidel.	33,3	2,00	66,6	80,0	
W.Weidel.	19,5	2,50	48,8	60,0	
WW (K)	91,3	2,1	193,4	190,0	
WW (S)	60,8	0,4	22,3		22,3
Mittelwert FF 7			202,2	184,5	5,6
Summe FF 7			808,7	738,0	22,3
FF 8					
SR/ST	101,6	1,25	126,8	100,0	
WRa (K)	33,0	3,80	125,2	200,0	
WRa (S)	56,3	0,70	39,4		39,4
WW (K)	70,1	2,60	182,3	200,0	
WW (S)	59,7	1,10	65,6		65,6
WW (K)	88,2	1,8	162,2	190,0	
WW (S)	61,3	0,4	24,1		24,1
Mittelwert FF 8			181,4	172,5	32,3
Summe FF 8			725,6	690,0	129,1

In Abbildung 12 dargestellte N-Salden verdeutlichen, dass die Stickstoffbilanzierung bei den Fruchtfolgen 1 bis 7 nach der von Leidel 2000 aufgestellten Bewertungsrichtlinie grundsätzlich als positiv im Sinne einer nachhaltigen Landwirtschaft zu beurteilen sind. Es kann von einer optimalen Nährstoffnutzung

ausgegangen werden. Der tolerierbare Überschuss in Fruchtfolge 5 sowie die negativen Salden der anderen 6 Fruchtfolgen deuten auf eine geringe Gefahr hinsichtlich der Nährstoffverluste und diffuser Nährstoffausträge.

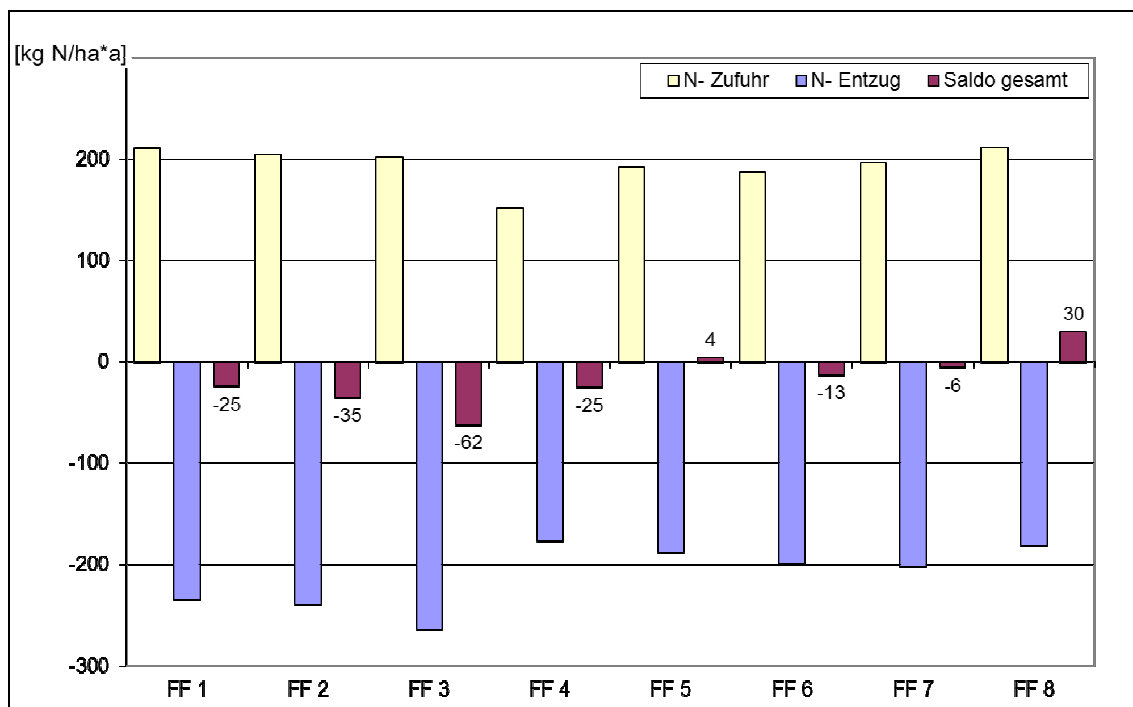


Abbildung 12: Stickstoffbilanz am Standort Gülzow

Die negativen Stickstoffsalden hatten, insbesondere in der Fruchtfolge 3, keine ertragsmindernde Wirkung. Bekräftigt wird dies durch den bereits erwähnten signifikanten Mehrertrag der Fruchtfolge 3 zu den Fruchtfolgen 4-8 (Tabelle 13). Grundsätzlich zeigen die negativen Salden, dass eine optimierte N-Düngung durch Anpassung der Düngeapplikationen an die höheren Ertragserwartungen insbesondere zu den Fruchtarten Wintertriticale, Mais und Sudangras in Betracht gezogen werden sollte. Bei den genannten Fruchtarten übersteigt die Stickstoffabfuhr das -angebot gravierend (Tabelle 14). Gleichzeitig könnte die Düngeadaptation zu einer zusätzlichen Ertragssteigerung führen. Beachtet werden muss dabei allerdings die mögliche Gefahr einer Umweltbelastung durch Nährstoffausträge. Bereits SCHILLING 2000 erwähnt, dass die Zufuhr von Düngernährstoffen nach Erreichen des Höchstertes keine Effekte mehr bringe, letztlich sogar Ertragsdepressionen hervorrufen könne. Resultat wäre die N-Rückstandsbiildung durch ein ertragsbedingt ausgenutztes Stickstoffangebot, welche zur Stickstoffauswaschung führen kann (STARK ET AL. 2006). Dieser Effekt zeigt sich in Fruchtfolge 8, welche einen positiven Saldo aufweist. Die Ursache liegt in der bereits erwähnten, an hohe, nicht realisierte Ertragserwartun-

gen angepassten N-Düngung insbesondere der Marktfrüchte. Hauptsächlich der Winterraps, aber auch der Winterweizen und darauf folgender Stoppelweizen, können die dargebotenen N-Mengen aufgrund geringerer Erträge und witterungsbedingter Aneignungsschwierigkeiten nicht vollständig ausschöpfen. Der Überschuss der Fruchtfolge von 30 kg N/ha*a liegt dabei jedoch noch im tolerierbaren Bereich. Weitere agrotechnische Maßnahme, wie beispielsweise die Anpassung der Düngegaben an die Ertragserwartungen könnte zusätzlich zur Verbesserung der Stickstoffbilanz in Fruchtfolge 8 beitragen. Überdies kann durch eine Frühaussaat der Folgefrucht Winterweizen nach Winterraps eine erhöhte Stickstoffaufnahme erzielt werden (SCHULZ & SCHUMANN 2003, SHEPHERD & SYLVESTER-BRADLEY 1996). Auch SCHILLING 2000 verweist darauf, dass eine langzeitige Bodenbedeckung die Auswaschung des löslichen Stickstoffs im Boden durch die Pflanzenaufnahme verhindere. Weiterhin trügen eine Strohrotte, Vermeidung von N-Gaben im Herbst und Zwischenfruchtanbau zur Konservierung des überschüssigen Stickstoffs bei und könnten somit die Nährstoffausträge verringern (SCHILLING 2000).

4.2.1.2 Phosphor

Als Berechnungsgrundlagen der Phosphorbilanzierung dienen die in Tabelle 15 dargestellten Ergebnisse. Der Output ergibt sich dabei aus der Nährstoffabfuhr über das Erntegut. Auf den Input in Form von mineralischen Phosphorapplikation wurde angesichts vorliegender Gehaltsklassen (Tabelle 3) verzichtet. Eine Ausnahme bildet der Mais. Hier ist eine Ausbringung wasserlöslichen Phosphors als Unterfußdüngung zur Aussaat notwendig, um die Versorgung der Pflanze mit der zu Wachstumsbeginn erforderlichen Phosphormenge zu gewährleisten (GRÜNING 2007).

Tabelle 15: P-Input- und Outputgrößen der einzelnen Fruchtfolgen

Fruchtart	TM-Ertrag [dt/ha]	P-Gehalt [%]	P-Entzug [kg/ha]	P-Gabe	
				mineralisch [kg/ha]	organisch [kg/ha]
FF 1					
SG	90,5	0,37	33,6		
Ölr	25,7	0,58	14,9		14,9
M	200,6	0,21	42,6	46,0	
WT (GP)	144,7	0,29	42,4		
ZH	16,1	0,41	6,6		
WW (K)	85,0	0,304	25,8		
WW (S)	58,3	0,039	2,3		2,3
Mittelwert FF 1			42,1	11,5	4,3
Summe FF 1			168,3	46,0	17,2
FF 2					
SuGr.	103,6	0,3	30,8		
WR	48,7	0,5	24,6		
M (ZF)	180,2	0,236	42,6	46,0	
WT (K)	77,1	0,4	32,4		
WT (S)	79,3	0,1	5,5		5,5
WW (K)	68,5	0,3	20,4		
WW (S)	41,9	0,02	0,7		0,7
Mittelwert FF 2			39,25	11,5	1,6
Summe FF 2			157,0	46,0	6,2
FF 3					
M	213,2	0,2	39,7	46,0	
WR	51,9	0,5	26,5		
Su.Gr	143,4	0,3	37,0		
WT	145,9	0,3	44,9		
E. Weidel.	34,1	0,3	11,4		
WW (K)	92,5	0,3	26,3		
WW (S)	59,4	0,02	0,9		0,9
Mittelwert FF 3			46,6	11,5	0,2
Summe FF 3			186,5	46,0	0,9
FF 4					
SG (U)	99,8	0,4	36,9		
KleeG	43,8	0,3	14,2		
KleeG	20,4	0,4	7,5		
KleeG	17,4	0,4	7,3		
KleeG	47,3	0,3	11,8		
KleeG	32,1	0,3	10,3		
WW (K)	97,9	0,3	28,8		
WW (S)	65,7	0,02	1,5		1,5
Mittelwert FF 4			29,6		0,4
Summe FF 4			118,4		1,5

Fruchtart	TM-Ertrag [dt/ha]	P-Gehalt [%]	P-Entzug [kg/ha]	P-Gabe	
				mineralisch [kg/ha]	organisch [kg/ha]
FF5					
H (SM)	96,0	0,29	28,3		
WT	111,3	0,25	27,3		
WRa (K)	45,9	0,77	35,3		
WRa (S)	77,4	0,12	9,3		9,3
WW (K)	93,4	0,3	28,6		
WW (S)	69,7	0,03	1,9		1,9
Mittelwert FF 5			32,7		2,8
Summe FF 5			130,8		11,2
FF 6					
M	205,9	0,24	48,5	46,0	
G.Gras	73,1	0,32	23,4		
WRa (K)	48,7	0,86	41,9		
WRa (S)	86,9	0,11	9,6		9,6
WW (K)	90,7	0,3	26,3		
WW (S)	65,2	0,04	2,6		2,6
Mittelwert FF 7			38,1	11,5	3,05
Summe FF 6			152,3	46,0	12,2
FF 7					
M	207,3	0,20	41,4	46,0	
WR	47,4	0,50	23,7		
W.Weidel.	26,9	0,51	13,7		
W.Weidel.	69,2	0,24	16,6		
W.Weidel.	33,3	0,39	13,0		
W.Weidel.	19,5	0,40	7,8		
WW (K)	91,3	0,3	30,1		
WW (S)	60,8	0,05	3,0		3,0
Mittelwert FF 7			37,4	11,5	0,8
Summe FF 7			149,4	46,0	3,0
FF 8					
SR/ST	101,6	0,24	24,5		
WRa (K)	33,0	0,79	26,0		
WRa (S)	56,3	0,10	5,6		5,6
WW (K)	70,1	0,43	30,1		
WW (S)	59,7	0,13	7,8		7,8
WW (K)	88,2	0,3	27,3		
WW (S)	61,3	0,05	3,1		3,1
Mittelwert FF 8			31,1		4,1
Summe FF 8			124,5		16,5

In Folge der unterlassenen mineralischen P-Düngung sind die Salden in allen Fruchtfolgen erwartungsgemäß negativ (Abbildung 13). Ein Phosphormangel konnte dabei in keiner Kulturart festgestellt werden. Dies deutet einerseits auf eine optimale Nährstoffausnutzung im Boden befindlicher pflanzenverfügbarer

Vorräte hin. Andererseits ist auch von einer Versorgung der Pflanzen aus dem Pool der im Boden befindlichen stabilen P-Fraktion auszugehen. Dieses kulturartenspezifisch unterschiedliche Aneignungsvermögen kann allerdings mit den hier verwendeten gängigen Bodenuntersuchungen nicht eindeutig quantifiziert werden (LEPPIN 2007). Bereits EICHLER 2004 stellte fest, dass häufig mehr Phosphor verfügbar sei, als auf Grundlage der herkömmlichen Bodenuntersuchung ermittelt werde.

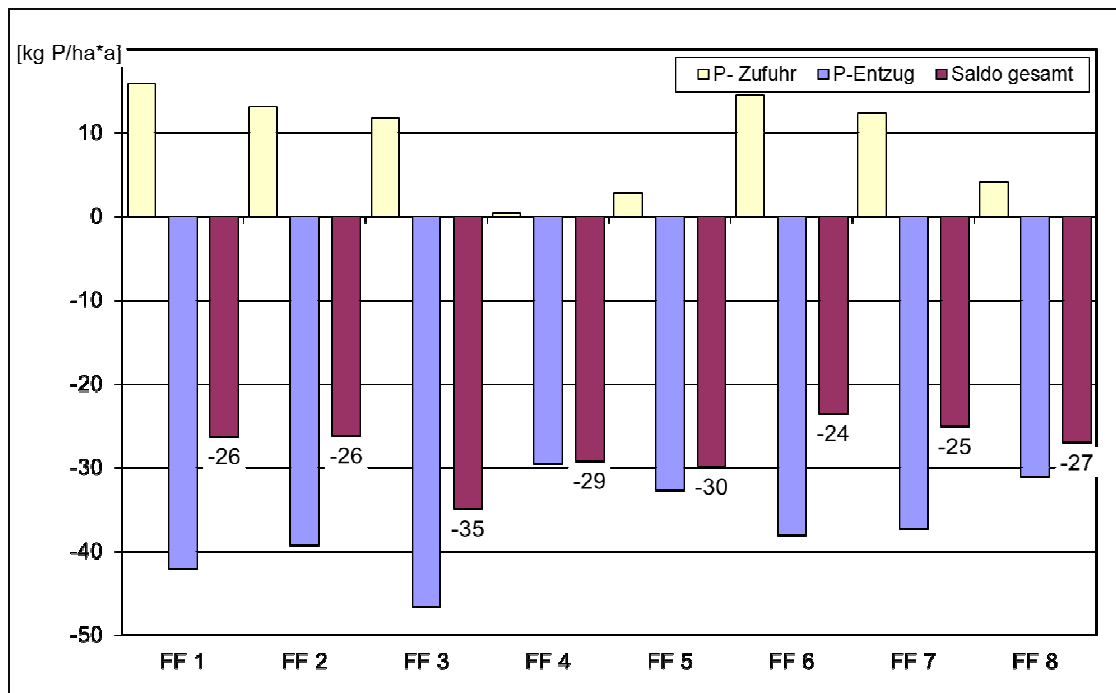


Abbildung 13: Phosphorbilanz am Standort Gülzow

Das differierende Saldenniveau der einzelnen Fruchtfolgen beruht auf den fruchtfolgespezifischen Anbauintensitäten, den verschiedenen Fruchtfolgeerträgen und den artenspezifisch unterschiedlichen Ernteinhaltsstoffen. Die Energiefruchtfolgen 3, 5 und 4 weisen die höchsten negativen Salden auf, gefolgt von der marktfruchtorientierten Fruchtfolge 8, den Energiefruchtfolgen 1 und 2 und den ebenfalls marktfruchtorientierten Fruchtfolgen 6 und 7 (Abbildung 13). Im Gegensatz zur Fruchtfolge 4 und 5 werden die Bilanzen bei den übrigen Fruchtfolgen entweder durch mineralische Düngung zum Mais oder durch partielle P-Rückführung durch den Verbleib des Strohes auf dem Feld positiver beeinflusst. Die Ergebnisse zeigen, dass eine P-Auswaschung verursacht durch stark erhöhte Phosphatzufuhr in allen Fruchtfolgen nicht relevant ist. Die derzeitige Phosphordüngestrategie der Fruchtfolgen kann als umweltverträglich eingestuft

werden. Die Gefahr einer Belastung der Gewässer (Eutrophierung) ist in den untersuchten Fruchtfolgen nicht erkennbar.

Nachfolgend sollen die Einflüsse der Phosphorbilanzen auf eine Veränderung der Nährstoffsituation im Boden geprüft werden. Zu Projektbeginn 2005 durchgeführte Bodenprobenahmen erfolgten auf dem Versuchsfeld nach dem gemäß VDLUFA 2004 gängigen und praxisrelevanten Verfahren mittels mehrerer Einstiche entlang einer „Zick-zack“ Linie. Die Analysewerte der Mischprobe der Versuchsfläche dienten als einheitliche Ausgangsbasis zur Ermittlung durchzuführender Düngemaßnahmen. Ab dem Versuchsjahr 2006 wurden dann die Bodenuntersuchungen jährlich zu Vegetationsbeginn fruchtfolgespezifisch durchgeführt. Diese zeigen, dass die negativen P-Bilanzen der einzelnen Fruchtfolgen in keinem direkten Zusammenhang zu den Veränderungen der Bodengehaltsklassen stehen (Abbildung A 10). Bereits BLAKE ET AL. 2003 konstatierten, dass ein direkter Zusammenhang zwischen den P-Bilanzsalden und der Veränderungen der Phosphorfraktionen im Boden nicht gegeben sei.

Im vorliegenden Versuch konnte trotz massiver Phosphorentzüge und unterlassener P-Applikation ebenfalls kein Abbau des Bodenvorrates an leicht pflanzenverfügbaren Phosphor festgestellt werden. Die im Versuchsjahr 2007 zu verzeichnende Verringerung des P-Depots wurde in 2008 nicht fortgeführt. Im Gegenteil, es kam zu einem erneuten Anstieg der Bodengehalte (Abbildung 14).

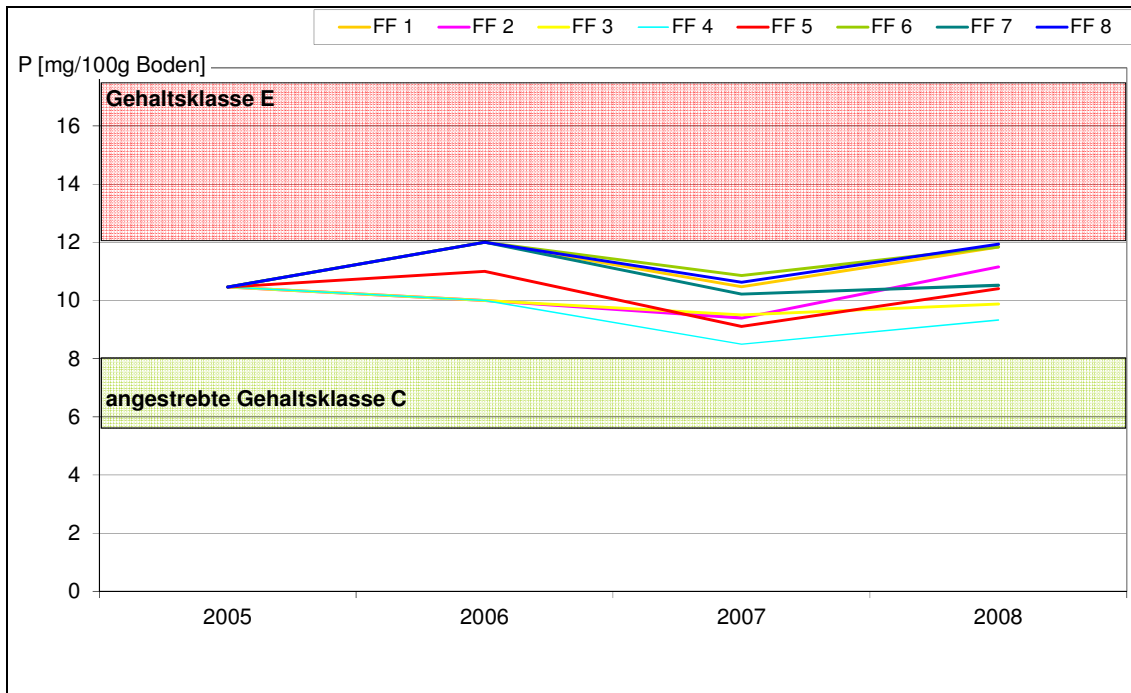


Abbildung 14: Veränderung P-Gehalt im Boden am Standort Gülzow

Diese Tatsache bestätigt die von BECKMANN & KOLBE 2003 erlangten Ergebnisse, welche in 6-jährig durchgeführten Düngeversuchen keinen Einfluss der Intensitätsstufen auf die Lactat-löslichen P-Gehalte im Boden verzeichnen konnten. Als Hauptursache dafür ist die Analysemethode zu nennen. Die chemischen Extraktionsmethoden zur Phosphorbestimmung geben nur momentane Gehalte im Boden wieder, unberücksichtigt bleiben jedoch die ständig im Boden ablaufenden Mobilisierungs- und Festlegungsprozesse (SCHILLING ET AL. 1998). Bereits WENDT 1991 und JUNGK ET AL. 1993 beobachteten, dass häufig mehr Phosphor verfügbar sei, als auf der Grundlage der herkömmlichen Bodenuntersuchung ermittelt werde. Der in früheren Zeiten im Boden angereicherte Phosphor kann trotz veränderter Löslichkeit zur Pflanzenernährung beitragen, da bei starkem Absinken der sich im labilen Pool befindlichen P-Menge schwerer lösliche P-Verbindungen durch Umwandlungsprozesse nachgeliefert werden (WENDT 1991, JUNGK ET AL. 1993). Diese Nachlieferung gekoppelt mit den fruchtartenspezifischen Aneignungsvermögen stabiler P-Fractionen des Bodens scheint im vorliegenden Versuch erfolgt zu sein. Aussagen zur fruchtfolgespezifischen Beeinflussung auf Umwandlungsprozesse des Phosphors im Boden können auf Grund fehlender Quantifizierungsmöglichkeiten derzeit nicht getätigt werden.

4.2.1.3 Kalium

Als Datengrundlage zur Berechnung der Kaliumbilanzen dienten die in Tabelle 16 dargestellten Werte. Auf Grund hoher Kaliumausgangswerte im Boden wurde eine mineralische Kaliumdüngung unterlassen. Einzige Ausnahme bildeten die mehrschnittigen Ackergräser, welchen im Sinne der guten fachlichen Praxis zeitnah zu den jeweiligen Ernteschnitten mineralischer Kalidünger in Höhe des zu erwartenden Entzuges appliziert wurde.

Tabelle 16: K-Input- und Outputgrößen der einzelnen Fruchtfolgen

Fruchtart	TM-Ertrag [dt/ha]	K-Gehalt [%]	K-Entzug [kg/ha]	K-Gabe	
				mineralisch [kg/ha]	organisch [kg/ha]
FF 1					
SG	90,5	1,97	178,2		
Ölr	25,7	5,42	139,4		139,4
M	200,6	0,94	189,1		
WT (GP)	144,7	1,25	180,9		
ZH	16,1	2,51	40,4		
WW (K)	85,0	0,385	32,7		
WW (S)	58,3	1,408	82,2		82,2
Mittelwert FF 1			210,7		55,4
Summe FF 1			842,8		221,6
FF 2					
SuGr.	103,6	2,3	240,8		
WR	48,7	3,2	155,6		
M (ZF)	180,2	1,0	175,2		
WT (K)	77,1	0,6	43,6		
WT (S)	79,3	1,3	105,4		105,4
WW (K)	68,5	0,4	26,3		
WW (S)	41,9	1,1	45,1		45,1
Mittelwert FF 2			198		37,6
Summe FF 2			791,9		150,5
FF 3					
M	213,2	0,9	198,5		
WR	51,9	3,0	153,8		
Su.Gr	143,4	1,4	201,3		
WT	145,9	1,2	170,0		
E. Weidel.	34,1	2,3	79,8		
WW (K)	92,5	0,4	34,6		
WW (S)	59,4	1,1	68,1		68,1
Mittelwert FF 3			226,5		17,0
Summe FF 3			906,0		68,1

Fruchtart	TM-Ertrag [dt/ha]	K-Gehalt [%]	K-Entzug [kg/ha]	K-Gabe	
				mineralisch [kg/ha]	organisch [kg/ha]
FF 4					
SG (U)	99,8	2,1	214,0		
KleeG	43,8	2,9	129,0	150,0	
KleeG	20,4	2,8	57,3	60,0	
KleeG	17,4	4,8	82,8		
KleeG	47,3	2,2	106,0	90,0	
KleeG	32,1	2,4	76,0		
WW (K)	97,9	0,4	37,1		
WW (S)	65,7	1,3	85,8		85,8
Mittelwert FF 4			197	75	21,5
Summe FF 4			787,9	300,0	85,8
FF5					
H (SM)	96,0	2,23	214,0		
WT	111,3	1,31	145,8		
WRa (K)	45,9	0,74	34,0		
WRa (S)	77,4	1,33	102,7		102,7
WW (K)	93,4	0,4	37,7		
WW (S)	69,7	1,1	77,5		77,5
Mittelwert FF 5			152,9		45,1
Summe FF 5			611,7		180,2
FF 6					
M	205,9	0,91	187,1		
G.Gras	73,1	1,73	126,4		
WRa (K)	48,7	0,80	39,0		
WRa (S)	86,9	1,20	104,3		104,3
WW (K)	90,7	0,4	34,5		
WW (S)	65,2	1,2	75,0		75,0
Mittelwert FF 6			141,6		44,8
Summe FF 6			566,2		179,3
FF 7					
M	207,3	0,98	203,0		
WR	47,4	3,29	155,9		
W.Weidel.	26,9	4,93	132,4	150,0	
W.Weidel.	69,2	2,39	165,3	90,0	
W.Weidel.	33,3	2,29	76,2		
W.Weidel.	19,5	3,43	66,9		
WW (K)	91,3	0,4	36,5		
WW (S)	60,8	1,9	113,1		113,1
Mittelwert FF 7			237,4	60	28,3
Summe FF 7			949,4	240,0	113,1

Fruchtart	TM-Ertrag	K-Gehalt	K-Entzug	K-Gabe	
	[dt/ha]	[%]	[kg/ha]	mineralisch [kg/ha]	organisch [kg/ha]
FF 8					
SR/ST	101,6	1,32	134,1		
WRa (K)	33,0	0,96	31,6		
WRa (S)	56,3	1,8	98,6		98,6
WW (K)	70,1	0,60	42,1		
WW (S)	59,7	1,51	90,1		90,1
WW (K)	88,2	0,4	34,4		
WW (S)	61,3	1,4	87,7		87,7
Mittelwert FF 8			129,6		69,1
Summe FF 8			518,5		276,4

In allen Fruchtfolgen sind negative Salden zu verzeichnen. Wie bereits bei der Phosphorbilanzierung hat auch hier die Fruchtfolge 3 den höchsten negativen Saldo vorzuweisen, gefolgt von den Fruchtfolgen 1 und 2 (Abbildung 15).

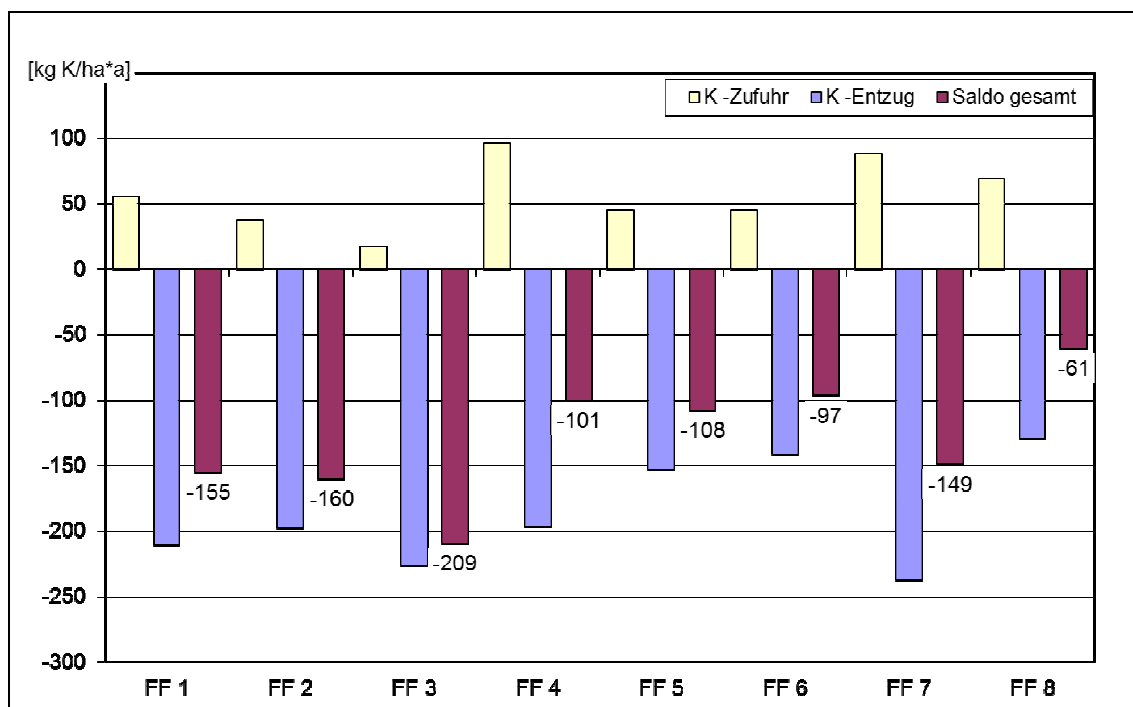


Abbildung 15: Kaliumbilanz am Standort Gülzow

Ausschlaggebend sind der bereits vermutete hohe Kaliumbedarf der neuen Kulturart Sorghumhirse (bis zu 2,5 % in der TS) sowie die beträchtlichen Entzüge des Winterroggens. Dieser hat bei Grünschnittroggenutzung (Ganzpflanzenernte bei BBCH 49-51) in allen Anbaujahren und Fruchtfolgen einen erhöhten Kaliumgehalt von durchschnittlich 3,0% in der TS gezeigt (LUFA Richtwert 2,3% in TS). Die Entzüge der Fruchtfolge 7 verdeutlichen die enorme Kaliumausnut-

zung des Winterroggens beispielhaft. Trotz der zweithöchsten K-Zufuhr im Versuch ist in der genannten Fruchtfolge eine stark negative Kaliumbilanz zu verzeichnen. Hierbei ist dem Winterroggen im Zusammenwirken mit dem Weidelgras ein wesentlicher Anteil an der Bildung des höchsten Kaliumbedarfs aller Fruchtfolgen zuzuschreiben (Tabelle 16). Am geringsten ist der Bedarf in den Fruchtfolgen 8, 5, 4 und 6. Gerade in Fruchtfolge 8 bewirkt die Strohrückführung aller angebauten Körnerfruchtarten in Kombination mit relativ geringen Entzügen den niedrigsten Saldo. Grundsätzlich zeigt der Vergleich, dass in Fruchtfolgen mit Winterroggen, Ackergräsern, Mais und Sorghumhirse ein hoher Kaliumbedarf zu erwarten ist. Weiterhin verdeutlichen die Untersuchungsergebnisse, dass besonders bei den Kulturen Winterroggen, Sorghumhirse und den Ackergräsermischungen mit einem Luxuskonsum bei Überangebot gerechnet werden kann. Diesem Aspekt muss beim Zeitpunkt der Düngeapplikation unbedingt Rechnung getragen werden. Weiterführend stellt sich die Frage nach den Folgen des Kaliumüberangebotes auf den Zuckergehalt in der Pflanze. Zusammenhänge beider sind hinlänglich bekannt (SCHILLING 2000). Fruchtartenspezifische Modifikationen des Zuckergehaltes durch eine differenzierte Kaliumversorgung wurden jedoch noch nicht untersucht. Fragen zu daraus resultierenden Veränderungen der Verdaulichkeit, und deren Einfluss auf die Methangasausbeute bleiben derzeit noch offen.

Anders als beim Phosphor bewirken die negativen Kaliumsalde eine Abnahme der Menge des pflanzenverfügbaren Bodenvorrates (Abbildung 16). Der Nachweis eines signifikanten Zusammenhangs ($R^2 = 0,8102$) zwischen Saldohöhe und der Verringerung des Bodenvorrates (Abbildung A 11) bestätigt die von ANDERSSON ET AL. 2006 beschriebenen Ergebnisse.

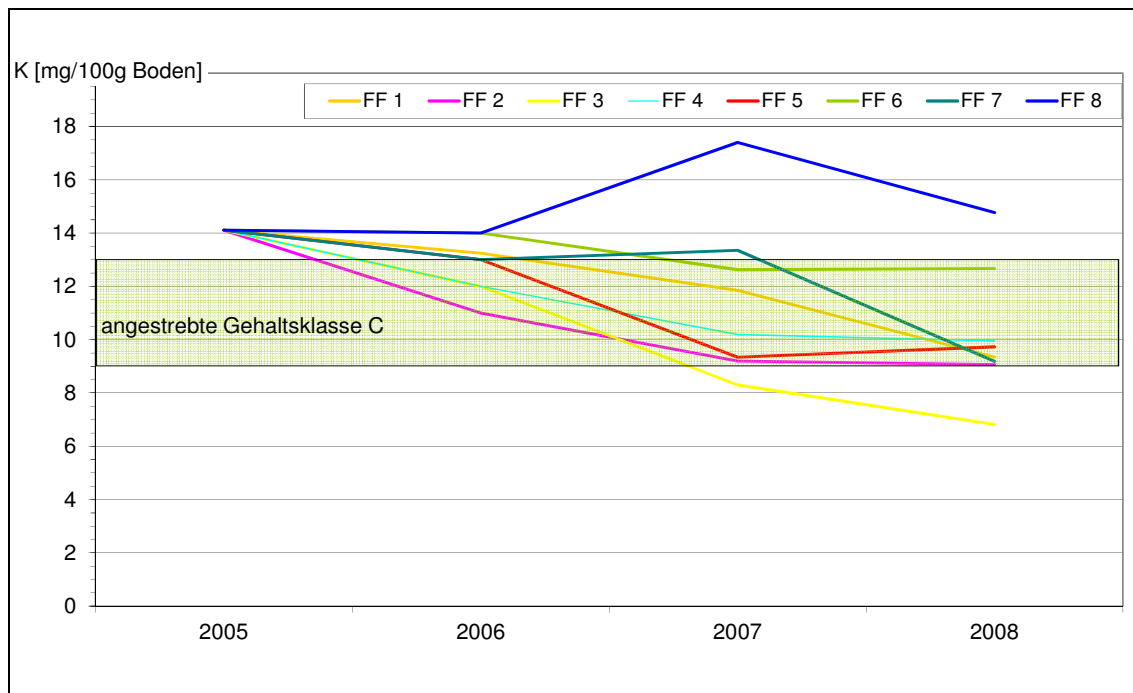


Abbildung 16: Veränderung K-Gehalt im Boden am Standort Gülzow

Generell wurde durch die negativen Salden die angestrebte Bodengehaltsklasse C in fast allen Fruchtfolgen erreicht (Abbildung 16). Ausnahmen bilden die Fruchtfolge 3 mit einer geringeren und die Fruchtfolge 8 mit einer höheren Versorgungsstufe. Als Ursache sind der hohe Entzug der Fruchtfolge 3 und die Strohrotte der Fruchtfolge 8 (Winterraps in 2006) anzuführen.

4.2.2 Humusbilanzierung der Fruchtfolgen

Grundlage der Humusbilanzierung ist die Einordnung der Fruchtarten in zwei Kategorien. Alle Fruchtarten, die zu einem Abbau der organischen Substanz führen, z. B. Silomais, Kartoffeln, Rüben, Raps, Getreide, werden zum Humusbruttobedarf (negativer Wert) zusammengefasst. Zu den Humusmehrern (positiver Wert) zählen alle Kulturarten, die zur Reproduktion der organischen Substanz beitragen, z.B. mehrjähriges Ackergras, Klee gras, Luzernegras und Zwischenfrüchte. Die Unterteilung der Fruchtarten als Humusmehrер oder Humuszehrer resultiert aus direkten und indirekten Wirkungen der unterstellten Produktionsverfahren auf den Humushaushalt. Dabei werden Menge und Qualität der Ernte-Wurzelrückstände, deren stofflicher Zusammensetzung und Umsetzbarkeit, der Dauer der Bodenbedeckung, der Teilbrachzeiten als direkte und Bodenbearbeitung und Menge der mineralischen N-Düngung als Indirekte Wirkungsfaktoren definiert (HÜLSBERGEN 2003). Das Zentrum für Agrarlandschaftsforschung e.V. Müncheberg führte die ökologische Begleitforschung des Projek-

tes durch. Dazu wurden zunächst unterschiedliche Humusbilanzierungsmodelle hinsichtlich ihrer Präzision miteinander verglichen. Tabelle 17 stellt die drei evaluierten Methoden dar, um insbesondere die Divergenz der Eingangsgrößen zu verdeutlichen. Folge dieser Unterschiede sind differenzierte Aussagen der Bilanzierungsmodelle (WILLMS ET AL. 2009).

Tabelle 17: Übersicht der zu berücksichtigenden Eingangsgrößen verschiedener Methoden der Humusbilanzierung
(Quelle: WILLMS ET AL.2009)

Kategorie	HE-Methode dynamisch (Repro)	VDLUFA	Cross-Compliance
Boden	Ackerzahl	Eingeschränkt: Humusbedarf und Humusmehrung der Fruchtarten abhängig vom Bodenzustand „guter Kulturzustand“ des Bodens mit optimaler mineralischer N-Versorgung → „obere Werte“ „längere Zeit mit Humus unterversorgte Böden“ → „untere Werte“ Strohdüngung mit zwei Werten für normale Böden und abbauintensive Böden	nein
Bodenbearbeitung	nein	nein	nein
Klima	indirekt über Ackerzahl	nein	nein
Beregnung	nein	nein	nein
Düngung	mineralische N-Düngung, organische Düngung: Art des Düngers, TM-Gehalt, Rottegrad je t Koeffizienten ähnlich VDLUFA	organische Düngung: Art des Düngers, TM-Gehalt, Rottegrad je t	organische Düngung: Art des Düngers, TM-Gehalt, Rottegrad je t
Gärreste	Humusreproduktion in Abhängigkeit von TM des Gärrestes, Koeffizient ähnlich VDLUFA, zusätzlich Möglichkeit der freien Parametrisierung	Humusreproduktion in Abhängigkeit von TM des Gärrestes,	Humusreproduktion in Abhängigkeit von TM des Gärrestes,

Kategorie	HE-Methode dynamisch (Repro)	VDLUFA	Cross-Compliance
Verknüpfung mit der N-Bilanz	ja	nein	nein
Humuswirkung der Fruchtarten	nach Fruchtarten und deren Nutzung (GP, Ko), zusätzlich abhängig von Ackerzahl, TM-Ertrag, N-Düngung	nach Fruchtartengruppen, mit „oberen“ und „unteren“ Werten, abhängig von Bodenzustand	nach Fruchtartengruppen nur „untere“ Werte aus VDLUFA
Ertragshöhe Hauptprodukt	TM Ertrag Hauptprodukt	nein	nein
Strohmenge	fruchtartenspezifisch je t Koeffizient niedriger als bei VDLUFA	für Getreide, Körnermais und Raps je t, übrige Fruchtarten pauschal	für Getreide, Körnermais und Raps je t, von VDLUFA abweichender Koeffizient, übrige Fruchtarten pauschal
Gründüngung	je t Gründüngung fruchtartenspezifisch Koeffizient ähnlich VDLUFA	je t Gründüngung	je t Gründüngung

Nachteilig ist in allen Modellen das Fehlen der Humuskoeffizienten für den Anbau bisher nicht kultivierter Pflanzenarten (z.B. Sorghumhirsen) und für Fruchtarten mit geänderten Ernteterminen (z.B. Ganzpflanzengetreide, Grünschnittroggen, Zweitfruchtstellung von Mais und Sorghumhirse). WILLMS ET AL. 2009 leiten für diese Kulturarten und Erntetermine nachfolgende Koeffizienten ab:

- Sorghumhirsen werden wie Getreide bewertet
- Ganzpflanzengetreide (Ernte zu BBCH 73-75) werden wie Getreide zur Körnernutzung eingestuft, da die TM- Bildung der Pflanze zu diesem Zeitpunkt bereits abgeschlossen ist
- Grünschnittroggen mit späterem Erntetermin (BBCH 49-51) wird wie Futterroggen eingeordnet
- Zweitfruchtstellung der angebauten Kulturarten Mais und Sorghumhirse sind der Hauptfruchtstellung gleichzusetzen.

Weiterhin zeigt sich, dass die Bewertung der Energiepflanzen in der Humusbilanz noch mit methodischen Unschärfen verbunden ist. Solange keine detaillierteren Werte aus weiterführenden Experimenten vorliegen, liefern die oben angeführten Koeffizienten eine erste Grundlage zur Bewertung der vom ZALF Müncheberg erstellten Humusbilanz nach VDLUFA 2004 und der dynamischen HE-Methode (WILLMS ET AL. 2009). In der Abbildung 17 dargestellte Salden basieren auf den Berechnungen der Tabelle A 13.

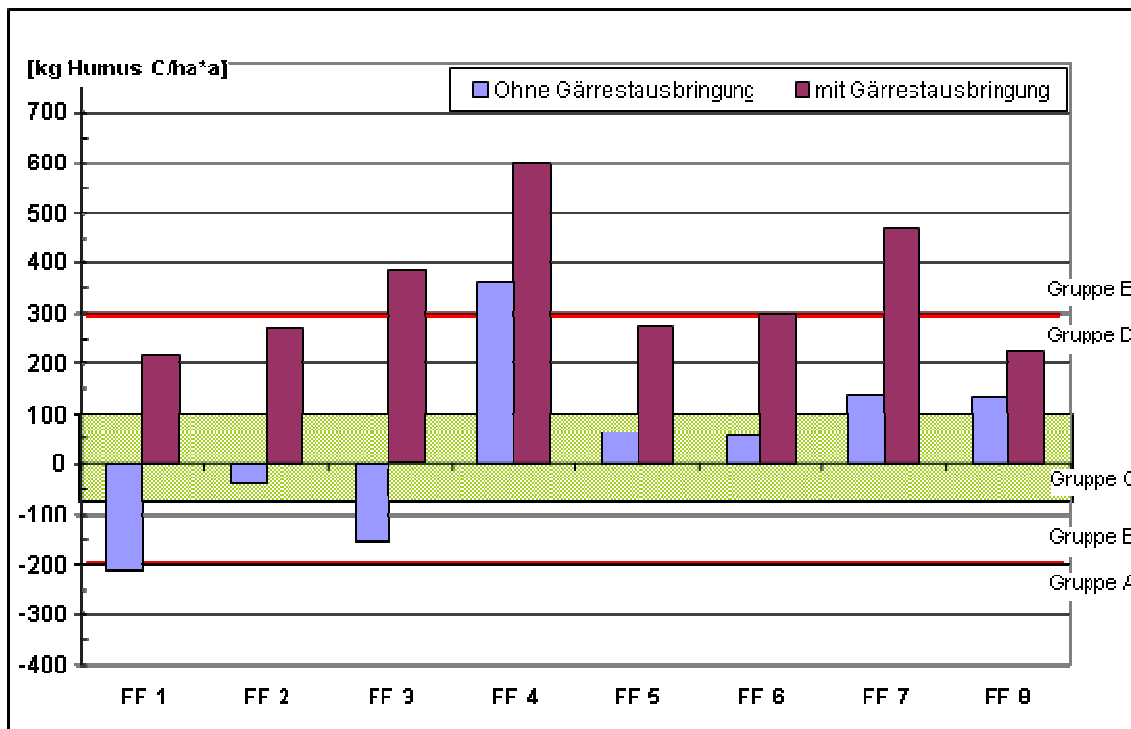


Abbildung 17: fruchtfolgespezifische Humussalden nach VDLUFA 2004

Bei der Betrachtung der Salden ohne Gärrestausbringung nach VDLUFA 2004 weisen lediglich die Fruchtfolgen 1 und 3 stark negative Salden auf. Beide führen laut Bewertungstabelle zu einer ungünstigen Beeinflussung der Bodenfunktionen. Die in Fruchtfolge 2 enthaltenen Fruchtarten Mais, Getreide (Körnernutzung) und Sorghumhirse, welche als stark humuszehrend gelten haben hingegen keinen negativen Einfluss auf den Saldo der Fruchtfolge. Wie in den Fruchtfolgen 5 und 6 wird auch in der Fruchtfolge 2 ein Saldo in der angestrebten Gruppe C erreichen. Der Grund dafür ist in den beteiligt Marktfrüchten und deren Ernterestrückführung zu suchen. Gleiches gilt für die Fruchtfolgen 7, 8 und 4. Hier führen die angebauten Fruchtarten im Zusammenspiel mit dem Verbleib des Ernterestes auf dem Feld allerdings zu überhöhten Salden. Eine extreme Überversorgung mit Humus-C liegt in der Fruchtfolge 4 mit Klee gras

und Winterweizen als Abschlussfrucht vor. Beim Anbau dieser Fruchtfolge wären ein erhöhtes Risiko der Stickstoffverluste und eine niedrige N-Effizienz zu erwarten. Der Effekt einer Humus-C Überversorgung ist teilweise allerdings auch methodischen Ungenauigkeiten zuzuschreiben. Bei der Unterstellung einer 100 % -igen Rückführung erzielter Strohmenngen auf die geerntete Fläche kann es durch die ertragsbezogene Bilanzierung [kg Humus-C/t Substrat] des Nebenerntegutes angebauter Fruchtarten im Gegensatz zur flächenbezogenen Veränderung der Humusvorräte durch die Fruchtarten [kg Humus-C/ha] zur Verzerrung der Ergebnisse kommen.

Der gleiche Kasus ist in der Bilanzierung der Humussalden mit Gärrestrückführung zu berücksichtigen. Auch hier ist eine flächenbezogene Humusveränderung der ertragsbezogenen Gärrestrückführung gegenübergestellt. Vor diesem Hintergrund zeigt die Betrachtung der Humusbilanzen mit dem Szenario Gärrestrückführung nicht nur positive Salden in allen Fruchtfolgen. Ferner sind alle Fruchtfolgen einer Überversorgung an Humus-C ausgesetzt, allen voran die Fruchtfolgen 4, 7 und 3. Insbesondere die Fruchtfolge 4 ist mit enormen Überschüssen gekennzeichnet. Laut der VDLUFA-Methode wären bei Gärrestrückführung alle Energiefruchtfolgen mittel- bis langfristig an einer Humusanreicherung bis hin zur Überversorgung und daraus resultierenden Folgen beteiligt. Das derzeit stark diskutierte Thema des Humusabbaus durch den Energiepflanzenanbau, insbesondere bei Monokultur Mais (BLANCO-CANQUI & LAL 2009) könnte damit theoretisch widerlegt werden. Grundsätzlich ist festzustellen, dass ausgehend von den hohen Ernteerträgen der Fruchtfolgen, daraus resultierender Gärrestemengen und dem Grundsatz der 100 % Gärrestrückführung auf die Fläche eine Eignung der VDLUFA-Methode als Bilanzierungsverfahren in diesem Falle unzureichend scheint.

Ein anderes Bild zeigt sich bei der Betrachtung der Salden mittels dynamischer HE-Methode (REPRO). Hier liegen alle untersuchten Fruchtfolgen ohne Gärrestrückführung in der Gruppe A, mit Ausnahme der Fruchtfolgen 4 und 7 (Abbildung 18).

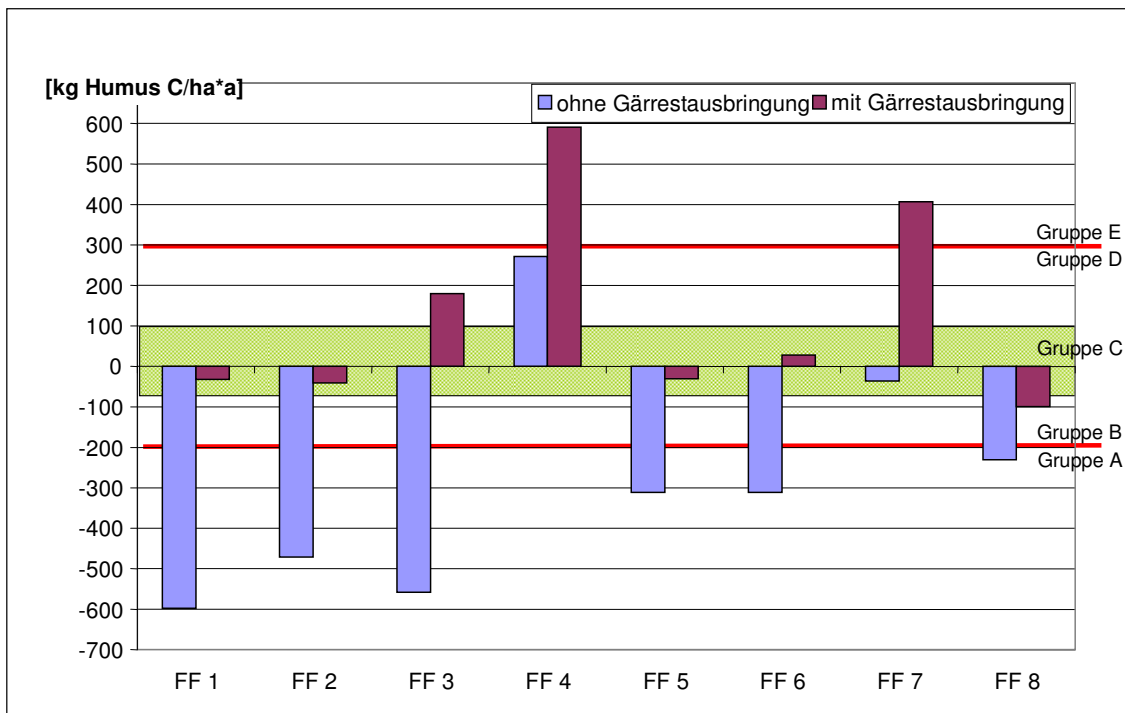


Abbildung 18: fruchtfolgenspezifische Humussaldo nach der dynamischen HE- Methode (REPRO)

Dabei spielen die in den Fruchtfolgen integrierten Energiefruchtarten und deren Erträge eine wesentliche Rolle. Laut WILLMS, ET AL. 2009 haben Silomais, Sudangras, Futterhirse und Getreideganzpflanze in der genannten Reihenfolge einen absteigenden Humusbruttobedarf. Winterzwischenfrüchte und Ackerfut-terpflanzen (Ackergräser) sind mit ihrer humusmehrenden Eigenschaft, zu- sammen mit der Strohdüngung der Marktfrüchte, für die Humusersatzleistung verantwortlich. Das trägt dazu bei, dass die Fruchtfolge 1 mit lediglich dem Öl- rettich und dem Weizenstroh als humusmehrende Fruchtarten als schlechteste Fruchtfolge charakterisiert wird, gefolgt von der Fruchtfolge 3, bei der durch das einjährige Ackergras das Saldo geringfügig verbessert werden kann. Insbeson- dere in Fruchtfolge 2, aber auch bei den Fruchtfolgen 5, 6, 7 und 8 wird der Stellenwert der Strohrückführung für die Humusmehrung deutlich. Mit dem Szenario der Gärrestrückführung erreichen alle Fruchtfolgen einen Saldo in der angestrebten Gruppe C, teilweise sogar ein mittelfristig tolerierbares Überange- bot (Gruppe D in FF 3) und einen nicht tolerierbaren Überschuss (Gruppe E in FF 4 und 7). Die Überversorgung könnte zu mindestens in den Fruchtfolgen 3 und 7 mit der Reduzierung der Gärrestausbringungsmenge verhindert werden. Als problematisch ist der Saldo in der Fruchtfolge 8 zu sehen. Hier wird trotz eines Anbauverhältnisses von 1:3 energetischer Nutzung zu Marktfruchtnut-

zung mit Strohrückführung auf die Fläche nur die Gruppe B erreicht. Somit stützt die dynamische HE-Methode die von DE NEVE ET AL. (2003) aufgestellte Hypothese, dass die langfristige Humusersatzwirkung der Gärreste pro Einheit gedüngter C höher ist als die Humusersatzwirkung der Ernterückstände.

Der Vergleich beider Methoden verdeutlicht, dass die VDLUFA-Methode größere Unschärfen aufweist als die REPRO- Methode. Bereits ENGELS 2006 stellt mit seiner These der Abhängigkeit der Biomasseertragsteigerung nicht erntefähiger Stoppelrückstände zu der oberirdischen Ertragssteigerung die VDLUFA-Richtwerte als veraltete Datengrundlagen in Frage. Auch JOHNSON ET AL. 2006 verweisen auf eine Zunahme der C-Einträge von oberirdischen Ernterückständen und Wurzeln einschließlich der Rhizodepositionen im Laufe der letzten 60 Jahre. WILLMS 2009 registriert beim Vergleich beider Methoden am Beispiel Mais ebenfalls ein deutliches Abweichen der Humusbedarfswerte. Während die Methode nach VDLUFA nur eine standortspezifische Unterscheidung zwischen „unterem“ und „oberem“ Humusbedarf ermöglicht, haben bei der dynamischen HE-Methode Ertrag und Ackerzahl einen direkten Einfluss (Abbildung 19).

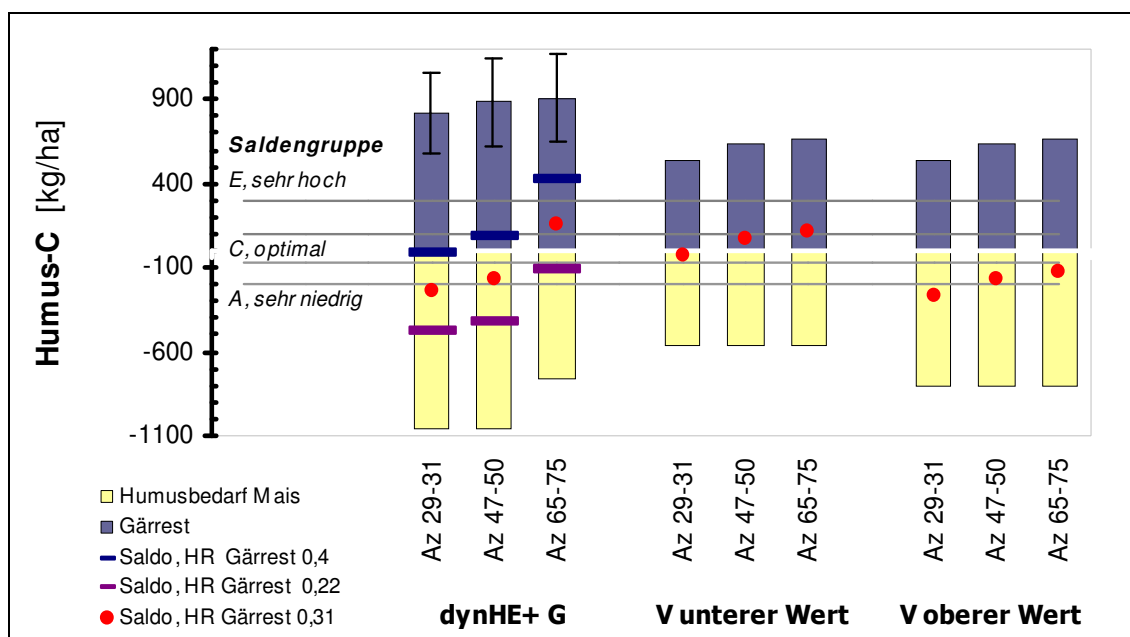


Abbildung 19: Methodenvergleich: Humussaldo für Silomais Mittelwerte aus 30 Versuchsgliedern. (WILLMS 2009)

Aufgrund der genannten Fakten gelten die Ergebnisse der Humusbilanzierung nach der dynamischen HE-Methode als richtungsweisend. Demnach ist ein ausgeglichener Humushaushalt der ertragreichen Energiefruchtfolgen nur durch eine adaptierte Gärrestrückführung zu erreichen. Dies wird durch HATI ET AL.

2007 zusätzlich untermauert, welche im Langzeitversuch einen signifikanten Anstieg von organischem Kohlenstoff im Boden bei kombinierter mineralischer und organischer Düngung nachwies.

4.2.3 Energiebilanz

Tabelle A 14 zeigt am Beispiel Sommergerste (GPS) die Vorgehensweise bei der Berechnung aller Energieaufwendungen einer Kulturart. Dieses Prinzip bildet die Grundlage aller nachfolgenden Ergebnisse.

4.2.3.1 Energiebilanzierung der Fruchtarten

In Abbildung 20 dargestellte fruchtartenspezifische Energieaufwendungen sind nach aufsteigendem Energieverbrauch geordnet. Die Betrachtung der einzelnen Posten verdeutlicht die dominierende Relevanz des Mineraldüngereinsatzes auf den KEA, verursacht durch hohe energetische Produktionsaufwendungen zur Mineraldüngerherstellung. Bereits KOGA 2008, ARMAN 2003 und BOEHMEL ET AL. 2008 verweisen auf diesen Zusammenhang zwischen Energieaufwand und steigendem Mineraldüngerniveau. Die ertragsabhängigen Diesel- und Maschineneinsätze können ebenfalls als stark einflussnehmend auf die Veränderung der Energieaufwendungen gesehen werden, gefolgt von der Menge und Art des Pflanzenschutzmitteleinsatzes. Die geringste Wirkung auf die kumulierte Energieaufwendung ist beim Saatgut zu verzeichnen. Die Betrachtung der Positionierung der Fruchtart WW (K)_{Früh} und WW (K)_{Spät} zeigt, dass ein höherer Saatgutaufwand von 33% bei der Variante WW (K)_{Spät} lediglich zu einem gering höheren KEA von 0,2 % (0,4 GJ/ha) führt. Demgegenüber steht eine Energieaufwendung von 16 % (1,2 GJ/ha) bei einer zusätzlichen mineralischen N-Applikation von 37% zum Winterroggen WZF. Folglich muss zur Verwirklichung einer Energieeinsparung im Bereich der Pflanzenproduktion das Hauptaugenmerk auf dem Posten „Mineraldüngereinsatz“ liegen. Eine Verringerung ist durch den Einsatz betriebseigener Gärreste realisierbar. Diesen kann laut LACKEMANN 2008 kein KEA zugerechnet werden, da der als organischer Dünger eingesetzte, betriebsinterne Gärrest aus der eigenen Biogasanlage kommt, und somit als Nebenprodukt keine Energieaufwendungen verursacht. Zusätzliche anfallende Energieaufwendungen für Lagerung, Aufbereitung und Transport

sowie Ausbringung der Gärreste werden hier auf Grund der Festlegung der Bilanzierungsgrenze nicht berücksichtigt.

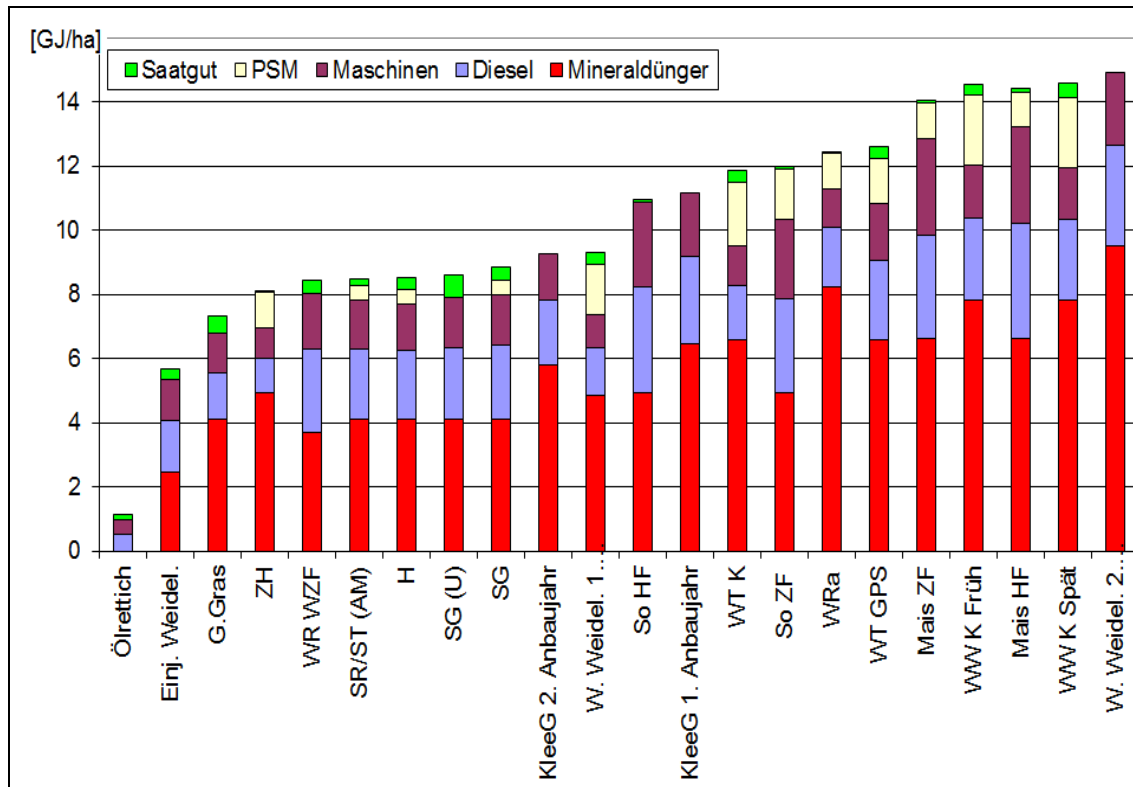


Abbildung 20: Höhe und Zusammensetzung der Energieaufwendungen einzelner Fruchtarten

Im Vergleich der fruchtartenspezifischen KEA hat der Ölrettich aufgrund der fehlenden Mineraldüngung den geringsten Energieaufwand vorzuweisen, gefolgt vom einjährigen Weidelgras. Alle anderen Ackerfuttermischungen liegen mit Ausnahme des Welschen Weidelgrases im 2. Anbaujahr im mittleren Bereich. Verwiesen werden muss auf die beim Klee gras entstandene, unrealistische Positionierung, impliziert durch den Kleeverlust ab dem 1. Anbaujahr und daraus resultierender unüblicher Stickstoffapplikation. Normal entwickelte Klee gras aufwüchse ohne Fehlbestände würden einen KEA für das 1. Anbaujahr von 5,81 GJ/ha und für das 2. Anbaujahr von 3,9 GJ/ha vorweisen, und somit eine Verbesserung im Kulturartenvergleich bewirken. Das bereits erwähnte Welsche Weidelgras im 2. Anbaujahr wird durch die ans Schnittregime angepasste bedarfsgerechte Stickstoff- und Kaliumdüngung als energieintensivste aller geprüften Fruchtarten charakterisiert. Der Getreideganzpflanzenanbau zeigt bei den Sommergetreidearten und dem Winterroggen WZF lediglich minimale Unterschiede bezüglich der Energieaufwendung, hauptsächlich hervorgerufen

durch die Ertragsabhängigkeit der Diesel- und Maschineneinsätze. Ausnahme bildet der Wintertriticale mit dem sechsthöchsten Energieverbrauch aller untersuchten Fruchtarten. Maßgeblich daran beteiligt sind die, gegensätzlich zu den Sommergetreidearten, höheren mineralischen Stickstoffapplikationen und die ertragsabhängigen Energieaufwendungen für Diesel- und Maschineneinsätze. Bei den Marktfruchtarten wird die Reihenfolge vorwiegend durch die mineralische Düngung und den PSM-Einsatz beeinflusst, gefolgt vom Dieserverbrauch, dem Saatgut- und dem Maschineneinsatz. Folglich ist der Wintertriticale K mit dem geringsten Mineraldüngeraufwand, aber einem hohen PSM Einsatz, vor dem Winterraps mit sehr hohem Mineraldüngeraufwand, aber ertragsbedingt geringeren Maschinen und Diesel-, sowie sehr geringem Energieaufwand für die Saatgutherstellung (0,02 GJ/ha) zu nennen. Als energieaufwändigste Körnerfruchtart wurde der Winterweizen charakterisiert. Bei den C4-Pflanzen ist dies der Mais in Hauptfruchtstellung, gefolgt von Mais ZF, erwirkt durch die ertragsabhängigen Energieaufwendungen für Diesel und Maschinen. Bei den Sorghumhirsen wird die Rangfolge gravierend durch den Pflanzenschutzmitteleinsatz beeinflusst. Im Sinne einer geringeren Energieaufwendung sollte allerdings nicht auf den Einsatz eines PSM verzichtet werden, um eine starke Verunkrautung und damit verbundene Ertragsbeeinträchtigung und Qualitätseinbußen zu vermeiden. Dieses Beispiel zeigt, dass die alleinige Betrachtung der KEA zu Fehlinterpretationen führen kann. Eine ausschließliche Beurteilung der quantitativ abhängigen Energieaufwendungen vernachlässigt die Involvierung der agrotechnisch verursachten Qualitätsbeeinflussung des Erntegutes. Um dies zu vermeiden, sollen zusätzlich die produzierten Energieerträge charakterisiert durch BFEE und daraus resultierende Erntefaktoren in die Auswertung einfließen (Abbildung 21).

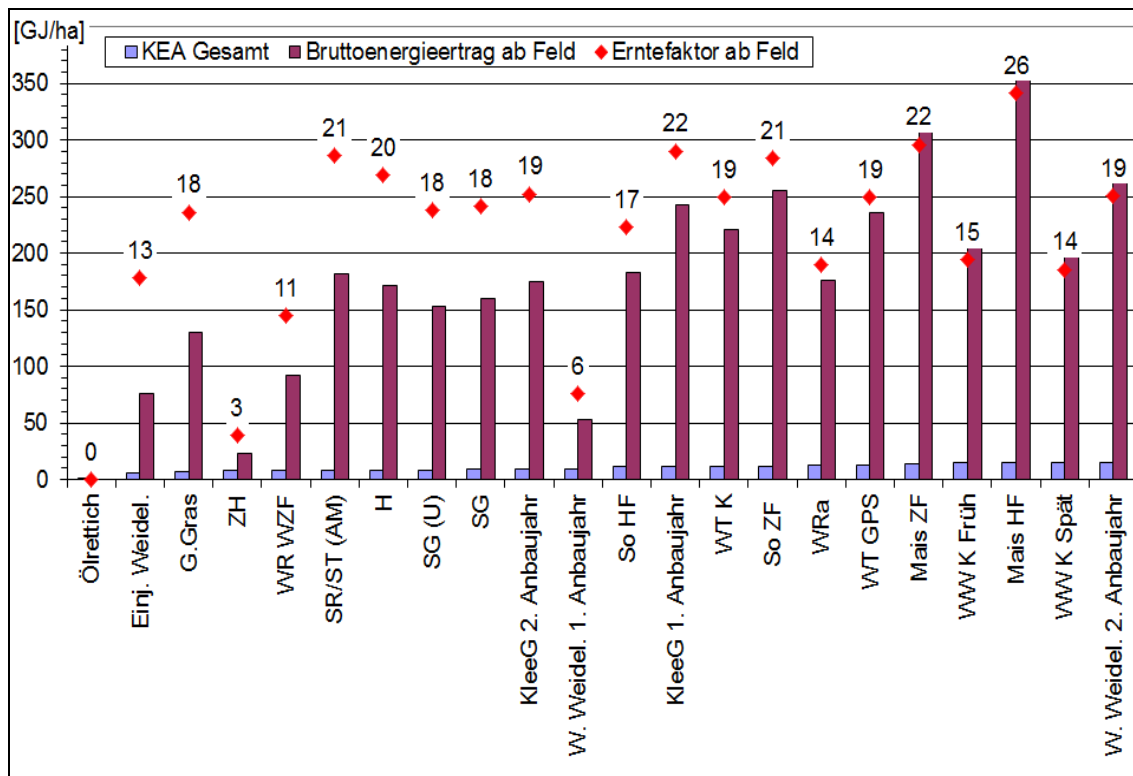


Abbildung 21: fruchtartenspezifischer KEA, Bruttofeldenergieertrag (BFEE) und Felderntefaktor (EF)

Es zeigt sich, dass Mais HF trotz erheblicher Energieaufwendungen den höchsten Bruttofeldenergieertrag erbringt, gefolgt von Mais in ZF, W.Weidel. (2. Anbaujahr), Sorghumhirse ZF und Klee gras (1. Anbaujahr). Bei den Getreidearten kann WT GPS, WT K und WW (K)_{Früh} mit guten BFEE überzeugen. Der WW (K)_{Spät}, die Sommergetreidearten in Arten- und Sortenmischungen sowie mit Untersaat und als Reinsaat, aber auch die Sorghumhirse HF und der Winter raps sind mit mittleren Felderträgen als zufriedenstellend zu bewerten. Die geringsten Ergebnisse erzielten das Gerstgras, der WR WZF, das E.Weidel. und W.Weidel. (1. Anbaujahr) sowie die Zuckerhirse und der Ölfrettich. Basierend auf der Kenntnis der Bestimmung dieser Bruttofeldenergieerträge mittels Erträgen, dem unteren Heizwert der Fruchtarten mit dessen Abhängigkeit von Erntequalität und Trockensubstanzgehalten, konnte mit dem dargestellten Ranking gerechnet werden. Die detaillierte Berechnung (Tabelle A 15) verdeutlicht insbesondere die starke Abhängigkeit des Heizwertes vom Trockensubstanzgehalt. Ein weiteres Bewertungsinstrument ist der Erntefaktor, welcher als dimensionslose Größe die Effizienz des Energieeinsatzes darstellt (PÖSCHL ET AL. 2010). Auch hier rangieren Mais HF und ZF an erster Stelle, gefolgt von Klee gras 1. Anbaujahr und SR/ST, So (ZF) und H. Bei den drei letztgenannten ba-

siert dieser gute Felderntefaktor vielmehr auf den geringen, kumulierten Energieaufwendungen als auf hohe BFEE. In den Kulturen WW und WRa ist hingegen eine gravierende, negative Beeinflussung der intensiven Bewirtschaftung auf die Höhe des Felderntefaktors zu verzeichnen. Energieeinsparungen durch Extensivierung der Kulturarten würden sich jedoch auf den Ertrag niederschlagen. Zur energieeffizienteren Produktion sollte eine partielle Änderung der Art des Düngereinsatzes von mineralisch auf organisch und ein Gärresteeinsatz in Betracht gezogen werden.

Wird als Bilanzierungsgrenze die Produktionskette bis zur Aufbereitung der eingesetzten Nährstoffe zu Methangas bzw. Rapsöl festgelegt, ist mit einer sinkenden Energieeffizienz durch den Energieverbrauch beim Umwandlungsprozess zu rechnen. Abbildung 22 stellt den Vergleich zwischen Erntefaktor ab Feld (F) und dem Erntefaktor bei einer Weiterverarbeitung (WV) dar.

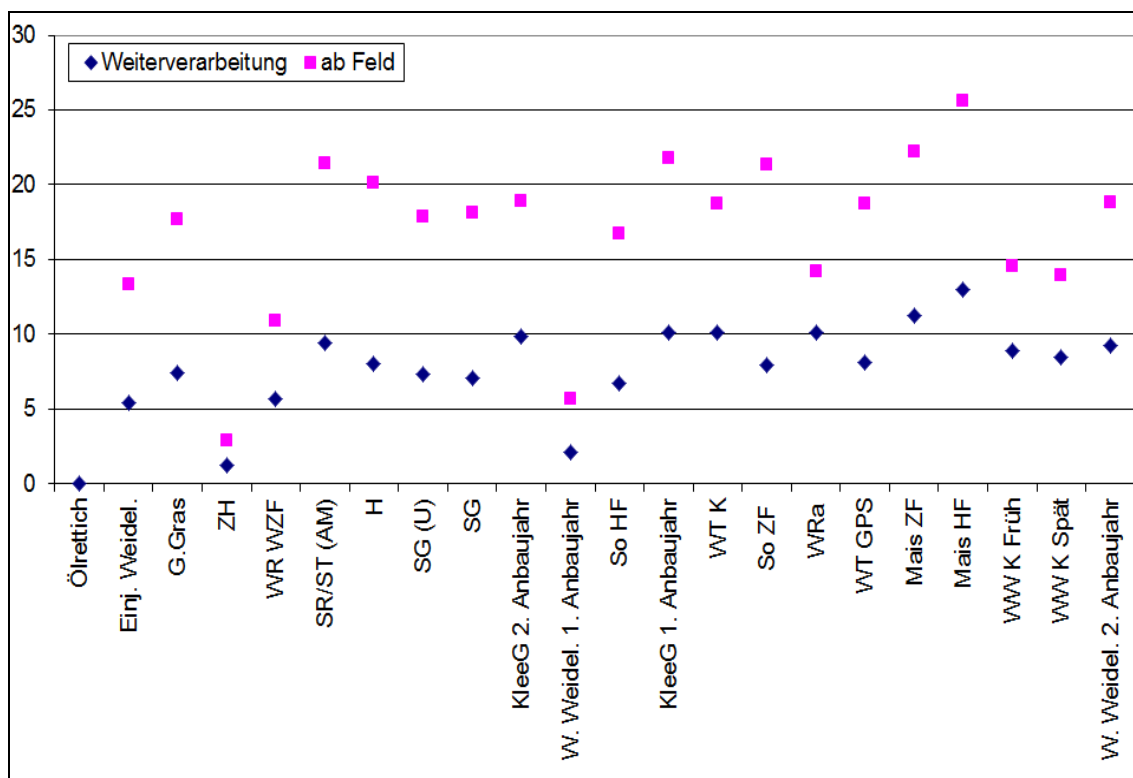


Abbildung 22: Vergleich der Erntefaktoren bei Weiterverarbeitung (WV) und ab Feld (F)

Auffallend ist die relative Verbesserung der Fruchtarten WT K, WRa, WW und die Verschlechterung der Fruchtart So HF hinsichtlich ihrer Energieeffizienz im Vergleich aller Fruchtarten. Gründe liegen in der Qualität des Erntegutes und den daraus resultierenden Methangas- bzw. Rapsölerträgen. Noch offensichtli-

cher werden diese Abweichungen durch eine detailliertere Betrachtung der BMEE.

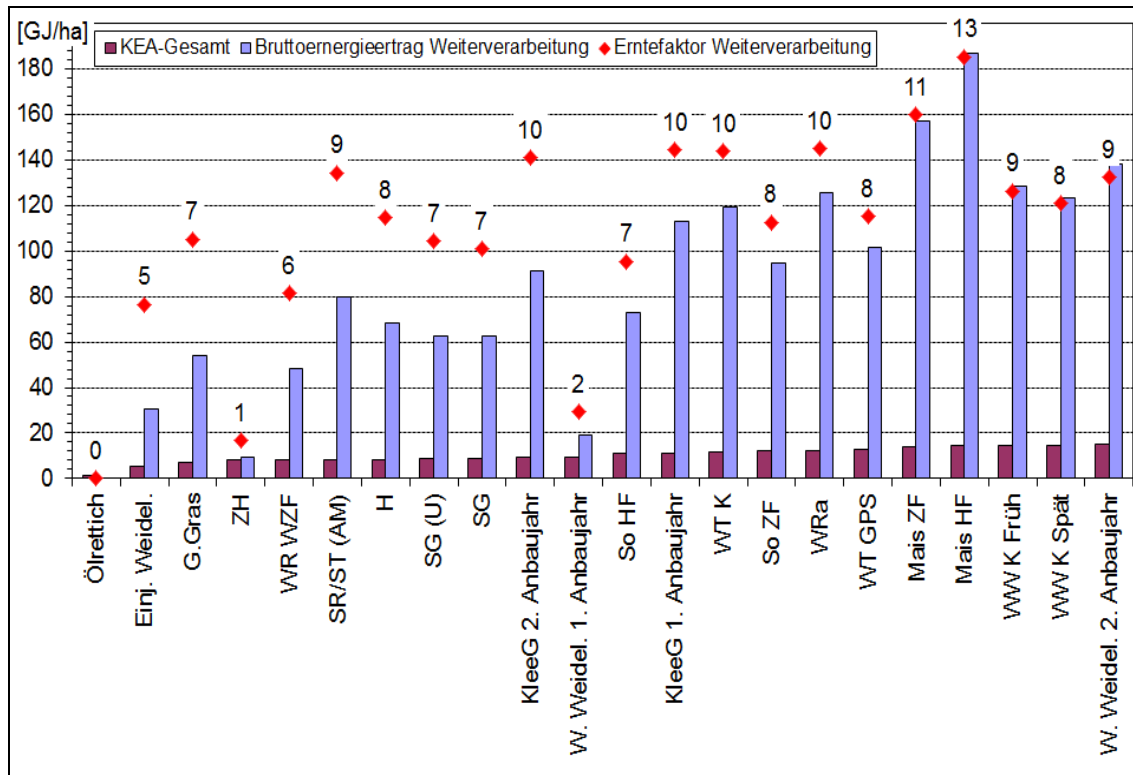


Abbildung 23: fruchtartenspezifischer KEA, Bruttomethanenergieertrag und Methanerntefaktor

Abbildung 23 verdeutlicht die Rangfolgenänderung durch die Integration der Bruttomethanenergieerträge. Demnach weisen Mais HF, gefolgt von Mais ZF, W.Weidel. (2. Anbaujahr), Winterraps, Wintertriticale K und Klee gras (2. Anbaujahr) die höchsten Bruttomethanenergieerträge auf. Den geringsten BMEE erzielt hier der Ölrettich, gefolgt von der Zuckerhirse, W.Weidel. (1. Anbaujahr), E.Weidel. und Winterroggen WZF. Wird der Erntefaktor als Bewertungskriterium hinzugezogen, zeigt sich in den ersten beiden Positionen keine Veränderung. Bei WT K, Klee gras 2. Anbaujahr und SR/ST führen hohe BMEE, gekoppelt mit niedrigeren KEA als z.B. beim WW oder WT GPS, zu den dargestellten hohen Erntefaktoren. Speziell der Winterraps kann durch die unterstellte ganzheitliche energetische Nutzung des Rapskorns (Rapskuchen und Rapsöl) extrem hohe Energieerträge [MJ/t FM] vorweisen und kompensiert dadurch die intensiven kumulierten Produktionsenergieaufwendungen. Als energetisch uneffektiv sind die Fruchtarten W.Weidel. im 1. Anbaujahr, ZH und Ölrettich anzusehen, da die eingesetzte Energie im besten Fall gerade mal verdoppelt wird. Demgegenüber

steht der hohe Erntefaktor des W.Weidel. im 2. Anbaujahr, was eine fruchtartenabhängige Interpretation der Energieeffizienz als unzureichend deklariert.

4.2.3.2 Energiebilanzierung der Fruchtfolgen

In Abbildung 24 dargestellte Ergebnisse verdeutlichen den stark erhöhten Energieaufwand der Fruchtfolgen mit ≥ 5 integrierten Fruchtarten.

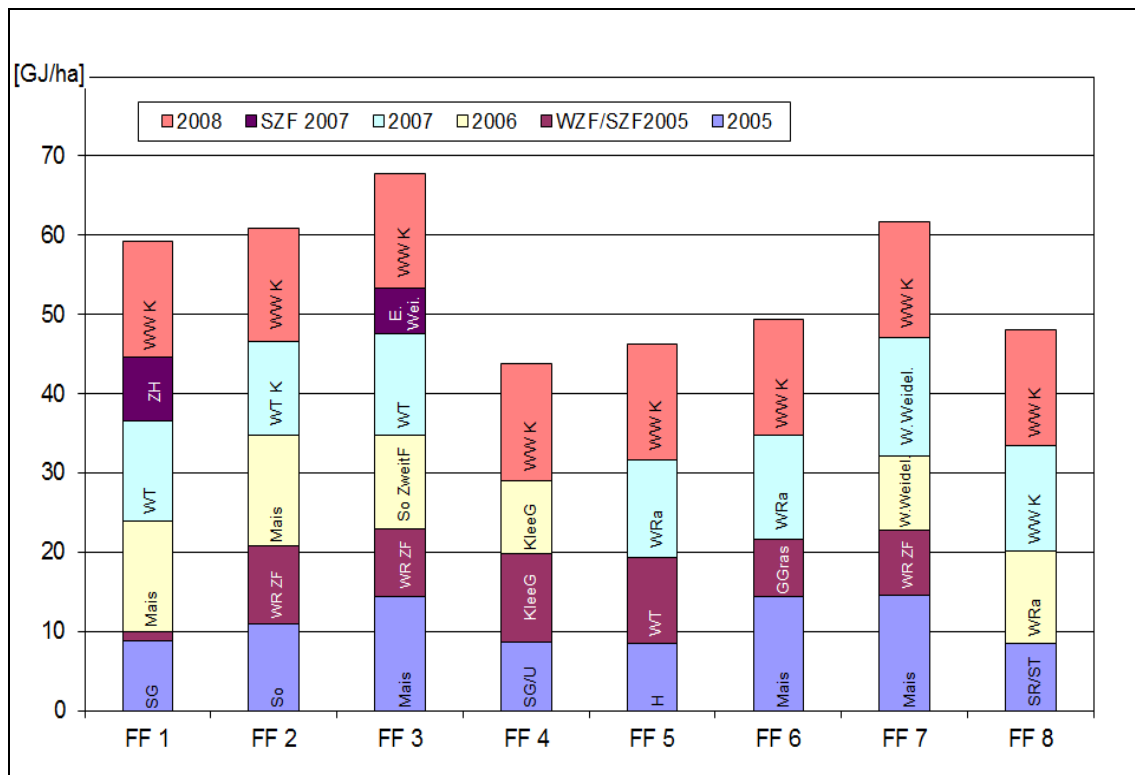


Abbildung 24: KEA der Energiefruchtfolgen

Die anbauintensivste und ertragreichste Fruchtfolge 3 erweist sich aufgrund der vorangegangenen Fruchtarteninterpretationen mit 68 GJ/ha erwartungsgemäß auch als energieaufwändigste, gefolgt von FF 7, 2 und 1. Der geringste KEA kann in Fruchtfolge 4 registriert werden. Davor rangieren die Fruchtfolgen 6, 8 und 5 in absteigender Reihenfolge. Wird die BFEE als Bewertungsbasis zugrunde gelegt, zeichnen sich nennenswerte Verschiebungen lediglich in den hinteren Rängen ab (Abbildung 25).

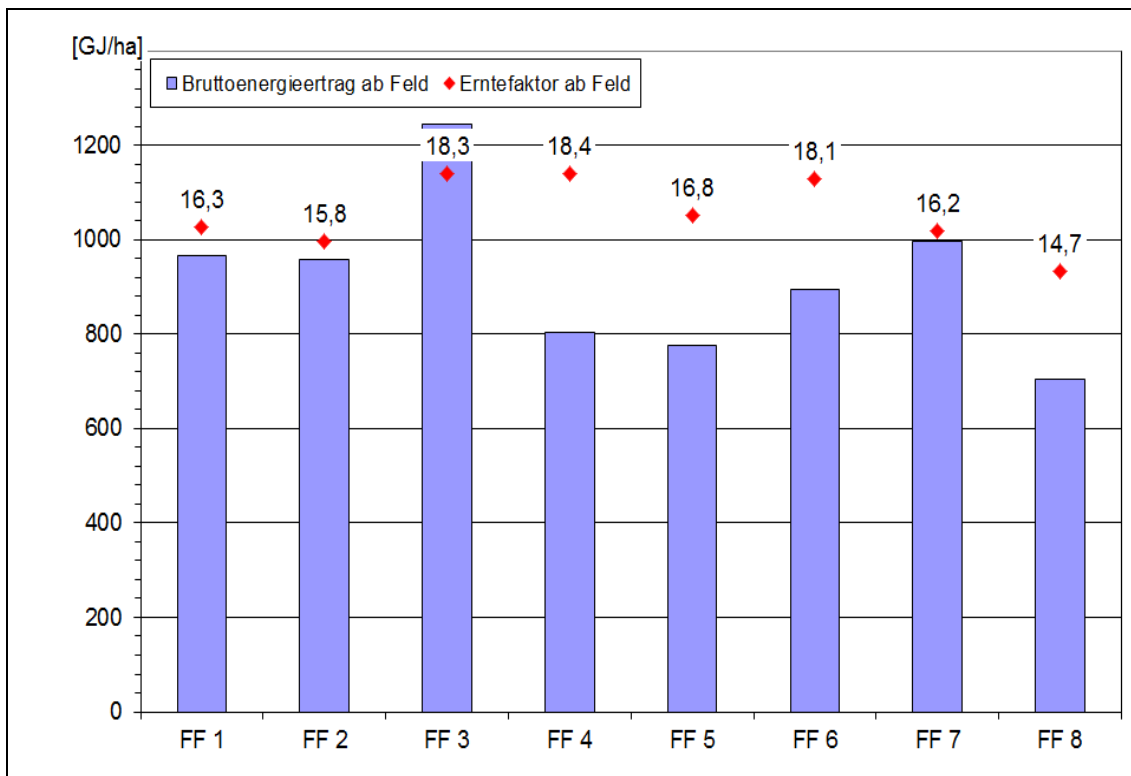


Abbildung 25: fruchtfolgespezifischer Bruttofeldenergieertrag und Erntefaktor

Fruchtfolge 8 präsentiert sich demgemäß als die mit dem geringsten Energieertrag, gefolgt von FF 5, 4 und 6, resultierend aus der bereits angesprochenen Fruchtartenzusammenstellung und dazugehörigen Bruttofeldenergieerträgen. Alle anderen Fruchtfolgen weisen ein KEA-konformes Ranking auf. Die Erntefaktoren in Abbildung 25 zeigen ausschließlich in der Fruchtfolge 8 eine Übereinstimmung mit der Positionierung bei den Bruttofeldenergieerträgen. Auffallend geringe Erntefaktoren insbesondere der Fruchtfolgen 8, 2, 7 und 1 liegen ursächlich an der Integration energieaufwendiger Fruchtarten z.B. Winterrap, Winterweizen, Wintertriticale K, W.Weidel. und Zuckerhirse im Zusammenwirken mit teilweise geringeren Bruttofeldenergieerträgen. Die Fruchtfolge 4 ist bei der Betrachtung des Feldenergieertrages mit einem Erntefaktor von 18,4 vor der FF3 und FF 6 als die energieeffizienteste anzusehen. Beim Vergleich der unterschiedlichen Erntefaktoren der Fruchtfolgen kann wie bei den Fruchtarten die gleiche Unterlegenheit des Erntefaktors (WV) gegenüber dem Erntefaktor (F) festgestellt werden (Abbildung 26). Ursache ist hier wiederum die energetische Verwertung bei der Weiterverarbeitung. Bereits WILLMS ET AL. 2009 verweisen darauf, dass im Prozess der Biogasgewinnung lediglich ein Teil der in der Biomasse gebundenen Energie ausgenutzt werden kann. Im Mittel beträgt

dieser Unterschied 52%, wobei eine Schwankungsbreite von 9% zwischen dem höchsten und niedrigsten Wert vorliegt, herbeigeführt durch unterschiedliche Methangas- bzw. Rapsölausbeuten der einzelnen Fruchtarten je kg TM. Auch PÖSCHL 2010 verweist auf eine Schwankung der Energieeffizienz bei der Biogasgewinnung in Abhängigkeit von der Rohstoffbereitstellung und der technischen Ausrüstung einer Biogasanlage.

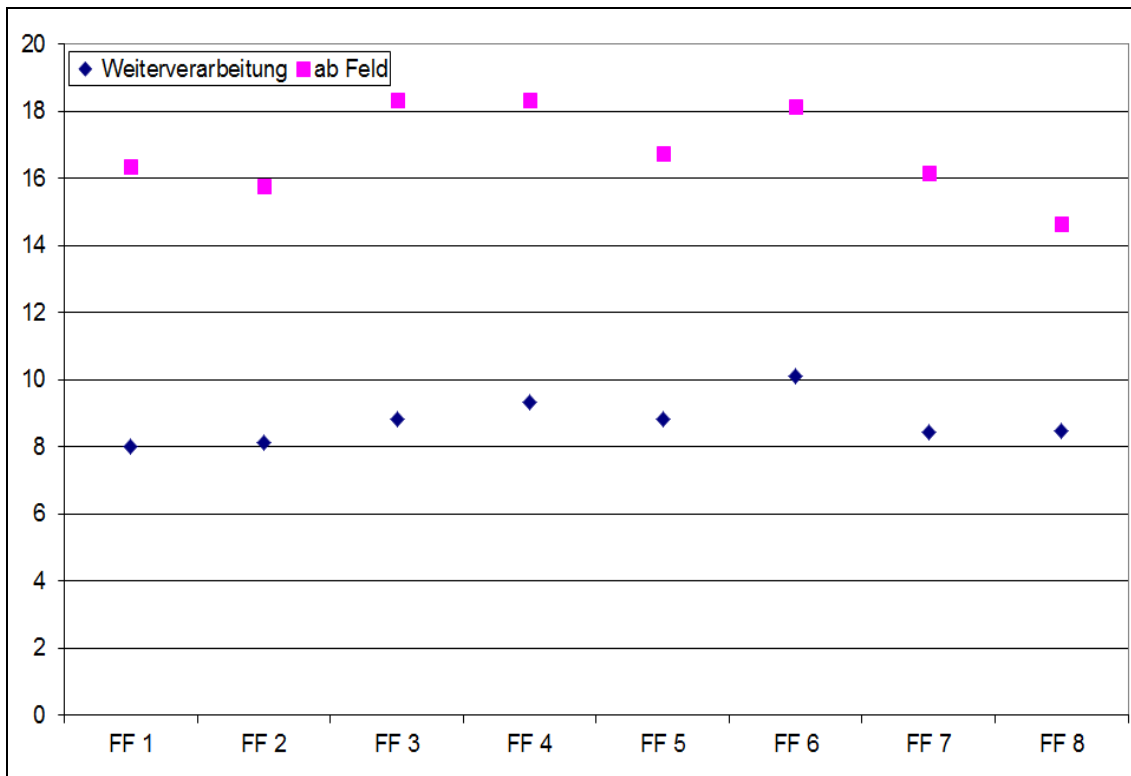


Abbildung 26: Vergleich Erntefaktor der Weiterverarbeitung (WV) und Felderntefaktor (EF) der FF

Der Vergleich beider Erntefaktoren zeigt eine Rangfolgenveränderung und bestätigt damit die Beeinflussung differierender Energieausbeuten auf den Erntefaktor (WV) zusätzlich. Fruchtfolge 6 ist mit einem Erntefaktor (F) von 10 als energieeffizienteste Fruchtfolge einzustufen, gefolgt von den FF 4, 3 und 5. Die geringste Energieeffizienz haben FF 1 und 2, verursacht durch die Integration der Fruchtarten Zuckerhirse sowie Wintertriticale (K) in FF 2. Deutlich wird weiterhin, dass ein hoher Bruttomethanenergieertrag nicht zwangsläufig zu großen Erntefaktoren führt. In Abbildung 27 zeigen insbesondere die Fruchtfolgen 3 und 7 diese Konstellation eines hohen BMEE zu einem geringen Erntefaktor (WV). Ursache dafür ist der erhebliche Energieaufwand (KEA) zur Biomasseproduktion der eine Verengung des Verhältnisses von BMEE zu NMEE und somit eine Verringerung des Erntefaktors (WV) hervorruft. Minimierung der KEA

durch Einsatz von Gärresten und organischen Dünger könnten auch hier eine Verbesserung der Bilanz erwirken.

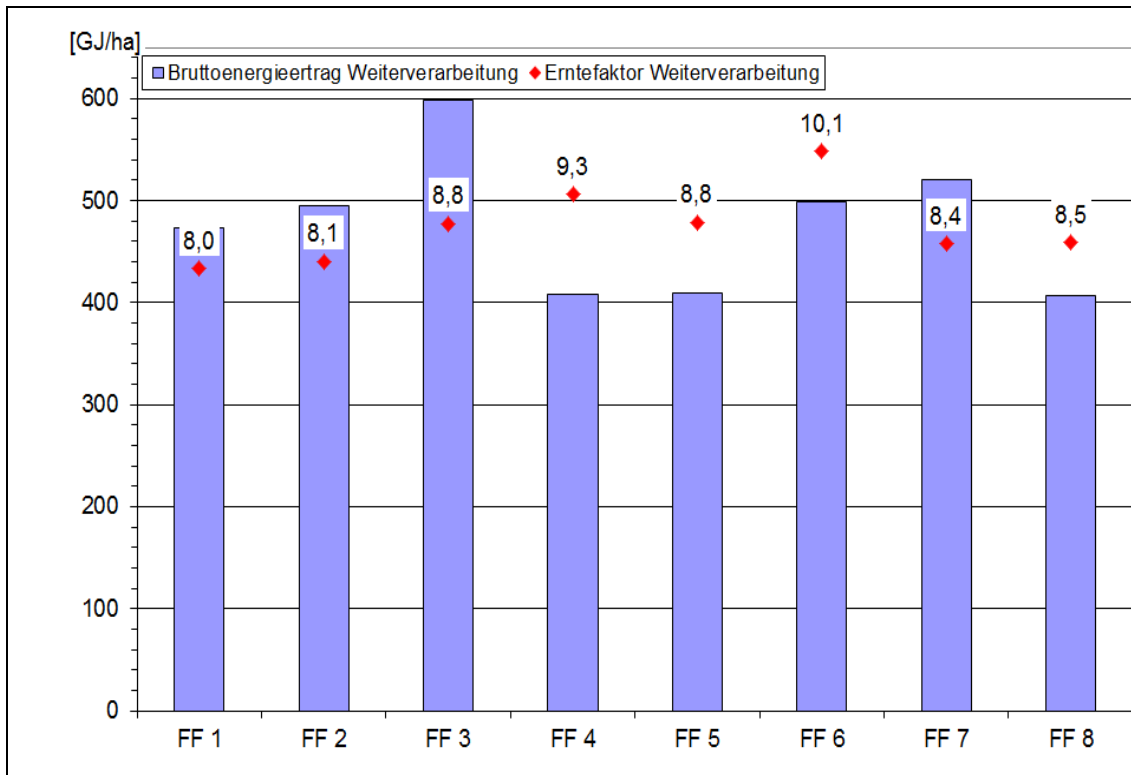


Abbildung 27: fruchtfolgespezifischer Bruttomethanenergieertrag und Erntefaktor

Grundsätzlich zeigen die Ergebnisse, dass in allen untersuchten Fruchtfolgen eine effektive Energiegewinnung durch den Anbau von Energiepflanzenarten zur Methangasproduktion gewährleistet werden kann. Die Wertschöpfung schwankt dabei zwischen dem 8- bis 10-fachen der eingesetzten Energie in Abhängigkeit von den integrierten Fruchtarten, der Anbauintensität und daraus resultierenden Energieaufwendungen.

4.3 Ökonomie

4.3.1 Deckungsbeitrag und Gewinnbeitrag

Die ausführlichen Berechnungen zu den im folgenden Kapitel interpretierten Ergebnissen sind im Anhang in den Tabelle A 16 bis Tabelle A 19 erfasst.

4.3.1.1 Deckungsbeitrag

Um die nachfolgende Diskussion der Deckungsbeiträge der Fruchtfolgen und deren Vergleich miteinander sachgerecht einordnen zu können, ist die Betrachtung der Einzeldeckungsbeiträge der Fruchtarten Grundvoraussetzung. Interpretiert werden dabei die Mittelwerte der einzelnen Versuchsjahre. Die Abbildung 28 zeigt einen deutlich positiven Deckungsbeitrag der Körnerfruchtarten sowie der ertragreichen Energiefruchtarten Mais und Wintertriticale. Dabei werden die Körnerfrüchte maßgeblich durch die positive Marktpreisentwicklung der letzten Jahre beeinflusst (Kapitel 3.5.1), unter anderem auch hervorgerufen durch den verstärkten Energiepflanzenanbau und daraus resultierender Rohstoffverknappung.

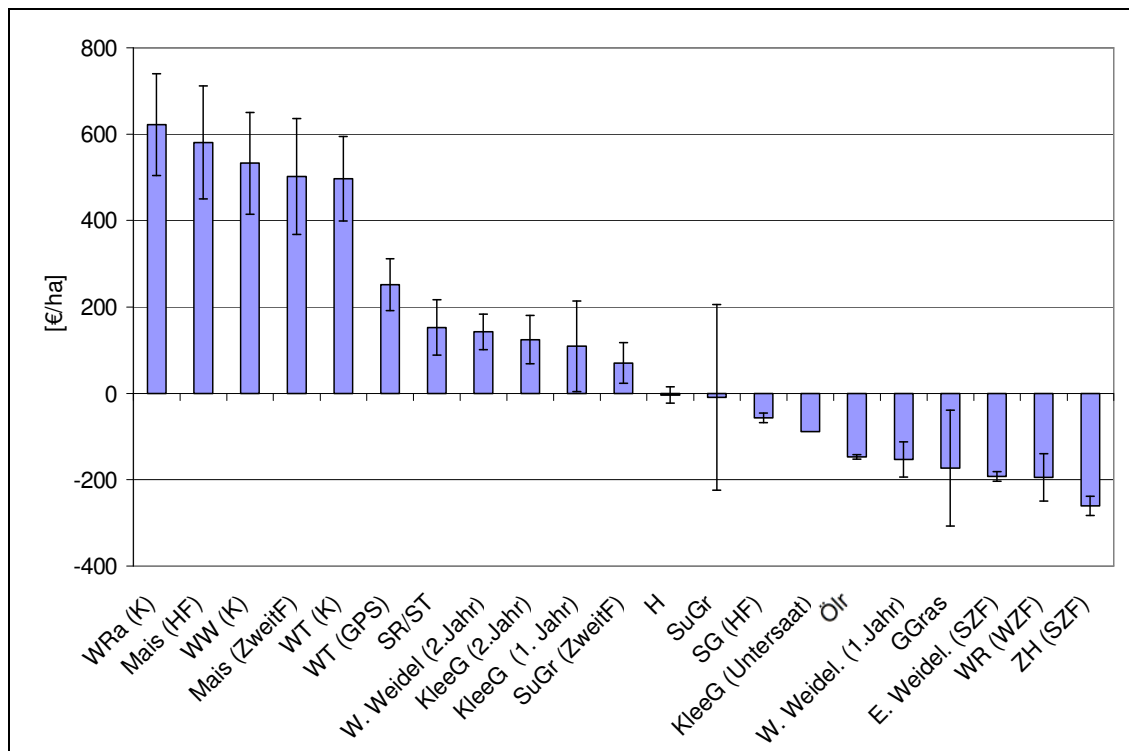


Abbildung 28: Mittlere Deckungsbeiträge der untersuchten Fruchtarten

Die hohen Deckungsbeiträge beim Wintertraps (622 €/ha) basieren zusätzlich auf der durch umweltpolitische Maßnahmen (Entwicklung der Mineralölsteuer

Abbildung A 12) gesteuerten Marktpreisentwicklung und daraus resultierender, verstärkter Nutzung von z.B. Biodiesel. Somit wird das Verhältnis von Angebot und Nachfrage auf diesem Sektor verschoben, welches die Preisentwicklung maßgeblich beeinflusst (Abbildung A 13). Generell ist festzustellen, dass sich trotz intensiver Anbauweise und hoher Kostenaufwendungen alle hier angebaute Körnerfruchtarten rentieren, wobei der Winterraps vor Winterweizen und Wintertriticale rangiert. Beachtet werden müssen dabei immer die starke Volatilität der Marktpreise für Körnerfrüchte und die unterschiedliche Ertragsstabilität der Fruchtarten.

Bei der Betrachtung der Energiepflanzen rückt die Problematik der Agrarpreisschwankungen in den Hintergrund, da durch die Einführung des EEG die Marktpreise im Energiepflanzen Sektor einer relativen Stabilität unterliegen. Aufgrund bereits in vorangegangenen Kapiteln angesprochener, fehlender Analyseverfahren ist die Bezahlung des Erntegutes mittels vereinbarter Festpreis/Silagemenge und TS-Gehalt oder „auf Halm“ praxisrelevanter als die Vergütung nach Qualität der Silage und daraus resultierender Methanausbeute (THAYSEN 2006). Die fehlenden Preisangaben der Anlagebetreiber für Mischsilagen und Silagen der „alternativen Fruchtarten“ erforderten in der vorliegenden Arbeit deshalb das Herleiten einiger Parameter zur Berechnung des Deckungsbeitrages (Kapitel 3.5.1). Nur dadurch kann eine Vergleichbarkeit der einzelnen Fruchtarten untereinander gewährleistet werden.

Abbildung 28 verdeutlicht, dass die Ganzpflanzengetreidearten Hafer, Gerstgras und Sommergerste mit einem Ertrag <95 dt TM/ha einen negativen Deckungsbeitrag aufweisen. Die Relation zwischen Ertrag und Anbaukosten ist unausgeglichen. Ob eine verstärkte Minimierungsstrategie bei den agrotechnischen Maßnahmen positive Ergebnisse hervorrufen würde, konnte zum jetzigen Zeitpunkt nicht geklärt werden. Es ist allerdings aus pflanzenbaulicher Sicht eher unwahrscheinlich, da das bereits vorliegende Anbauverfahren auf kulturspezifischer maximaler Kostenreduzierung basiert. Folglich ist mit dem Hintergrundwissen um das Verhältnis Ertrag:Aufwand von der Nutzung dieser Sommergetreidearten zur Energiegewinnung abzuraten. Bei den Winter- und Sommerzwischenfrüchten zeigt sich ein ähnliches Bild. Hier sollte allerdings dem Aspekt der nachhaltigen Landbewirtschaftung mehr Gewicht verliehen werden

als der ökonomischen Perspektive, mit Ausnahme des Zuckerhirsenanbaus als Sommerzwischenfrucht. Gründe hierfür wurden bereits im Kapitel 4.1.1 ausführlich erörtert. Ebenfalls einen negativen Deckungsbeitrag zeigt das Sudangras in Hauptfruchtstellung. Aufgrund des bereits angesprochenen, geringeren Trockenmasseertrages im ersten Erntejahr 2005 kann das jedoch nicht als repräsentativ angesehen werden. Bestätigt wird diese Annahme durch die extrem hohe Standardabweichung von 215 €/ha. Grundsätzlich ist davon auszugehen, dass bei der hier vorliegenden Anbauweise unter Beachtung des fachgerechten Erntezeitpunktes mit einem positiven Deckungsbeitrag gerechnet werden kann. Bei der Kleeegrasmischung wird der negative Deckungsbeitrag im Ansaatjahr durch die darauf folgenden Nutzungsjahre kompensiert. Auch bei der W.-Weidelgrasmischung kann durch Kostenminimierung, z.B. mittels Verringerung der Aussaatmenge, nach mehrjähriger Nutzung ein positiver Deckungsbeitrag erreicht werden.

Bereits KUHLMANN & TOEWS 2009 und LÜTKE-ENTRUP ET AL. 2003 verweisen auf die Vernachlässigung der Wechselbeziehungen im Anbausystem und deren ökonomischer Einfluss bei der Anwendung einer einfachen Deckungsbeitragsrechnung der Einzelkulturen. Um eine verbesserte Erfassung der Systemleistungen zu erreichen, ist eine Berechnung von Fruchtfolge-Deckungsbeiträgen zweckmäßiger (GRÖBLINGHOFF&KIEVELITZ2004). Somit werden auch monetäre Vor- und Nachfruchtwirkungen in die Beurteilung einbezogen. In Abbildung 29 sind die Deckungsbeiträge der Fruchtfolgen dargestellt. Vor dem Hintergrund der bereits ausführlich erörterten Einzeldeckungsbeiträge sind erwartungsgemäß die Fruchtfolgen mit hohem Marktfruchtanteil (FF 5, 6 und 8) rentabler als die Energiefruchtfolgen. Die Fruchtfolge 6 (Mais – Gerstgras – Winterraps - Winterweizen) steht trotz negativen Deckungsbeitrages des Gerstgrases an erster Stelle. Hier tritt der Effekt einer Kompensation der negativ monetären Ackergrasmischung durch die Folgefrucht auf. Gefolgt wird die Fruchtfolge 6 von FF8 mit lediglich einer integrierten Energiefruchtart mit positiven Deckungsbeitrag (SR/ST).

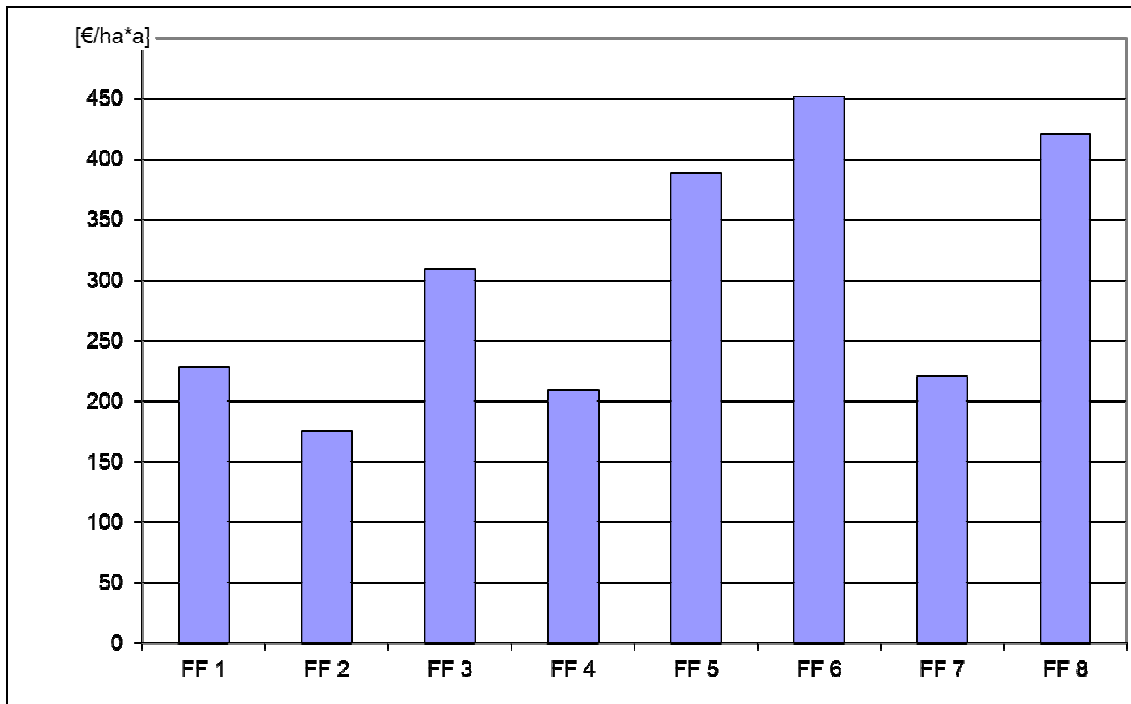


Abbildung 29: Deckungsbeitrag am Standort Gülzow

Bei den reinen Energiefruchtfolgen sind die Fruchtfolge 3 und 1 trotz 6 integrierter Fruchtarten und einem dadurch erhöhten Arbeitsaufwand zu favorisieren. Die Fruchtfolge 2 ist wegen des bereits erwähnten Sudangrasertrags als nicht repräsentativ zu bewerten. Weiterführende Untersuchungen zeigen bereits, dass ein veränderter Erntetermin eine Verbesserung der Rentabilität in Fruchtfolge 2 bewirkt.

4.3.1.2 Gewinnbeitrag

In Abbildung 30 dargestellter Gewinnbeitrag setzt sich als Differenz aus dem Deckungsbeitrag und für alle Fruchtfolgen einheitlich geltenden Pachtpreis zusammen. Dieser beläuft sich für den Standort Gülzow auf 161 €/ha*a, basierend auf den Berechnungen des Statistischen Bundesamtes Deutschland als durchschnittlicher Pachtpreis auf Bundeslandebene für Neuverpachtung 2007.

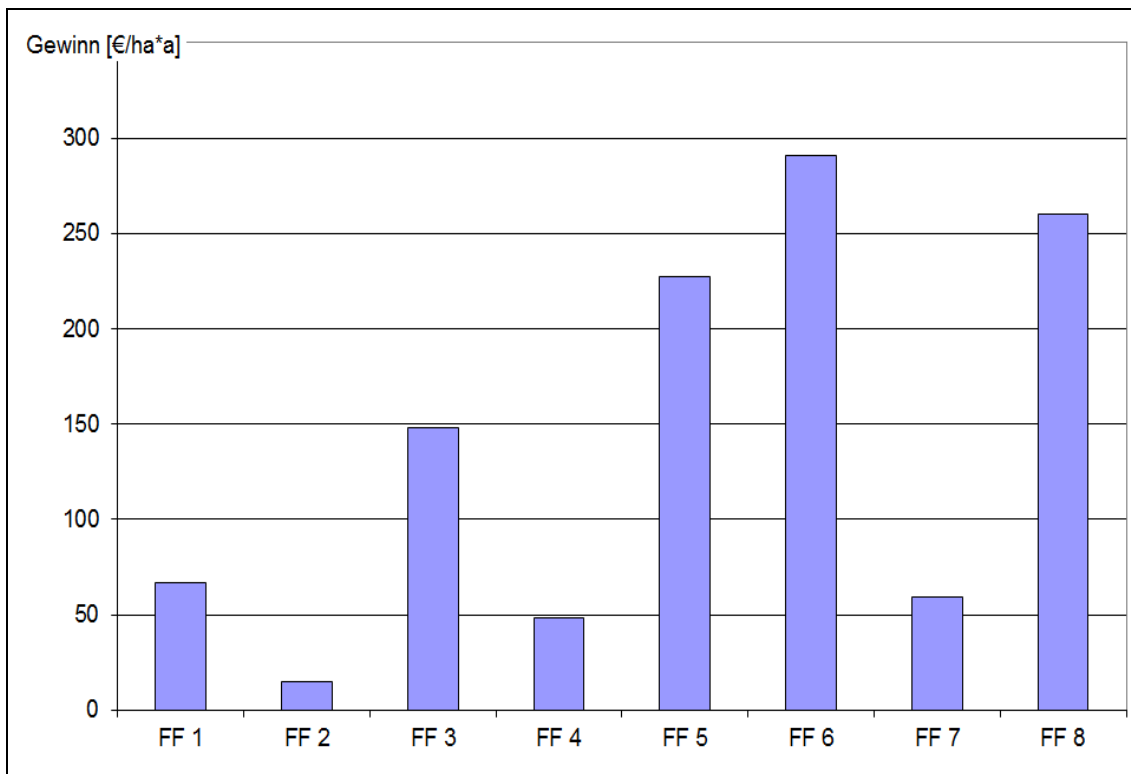


Abbildung 30: Gewinnbeitrag am Standort Gülzow

Eine Veränderung der monetären Rangfolge gegenüber dem Deckungsbeitrag ist erwartungsgemäß nicht zu verzeichnen. Bei allen 8 hier untersuchten Fruchtfolgen ist ein positiver Gewinn zu registrieren.

Gleichzeitig sollte auch die Tatsache der bereits in Kapitel 4.1.3 erwähnten Ackerflächenbindung in die Interpretation mit einfließen. Je mehr Ackerfläche durch eine Energiefruchtfolge beansprucht wird, um die benötigten Rohstoffanforderungen zu gewährleisten, desto weniger bleibt für den Anbau der rentablen Marktfruchtfolgen nutzbar. Dadurch kann eine erneute Veränderung der Rangfolge der Energiefruchtfolgen entstehen. Die in Abbildung 31 dargestellte Gewinnberechnung eines Betriebes mit einer Ackerfläche von 250 ha soll verdeutlichen, welchen Einfluss die Ackerflächenbindung auf die monetäre Wirkung der Fruchtfolgen hat. Grundlage der Berechnungen ist die Versuchsanlage mit ihren im Kapitel 4.1.3 gezeigten Methangaserträgen, und der daraus resultierenden Ackerflächenbindung pro Fruchtfolge.

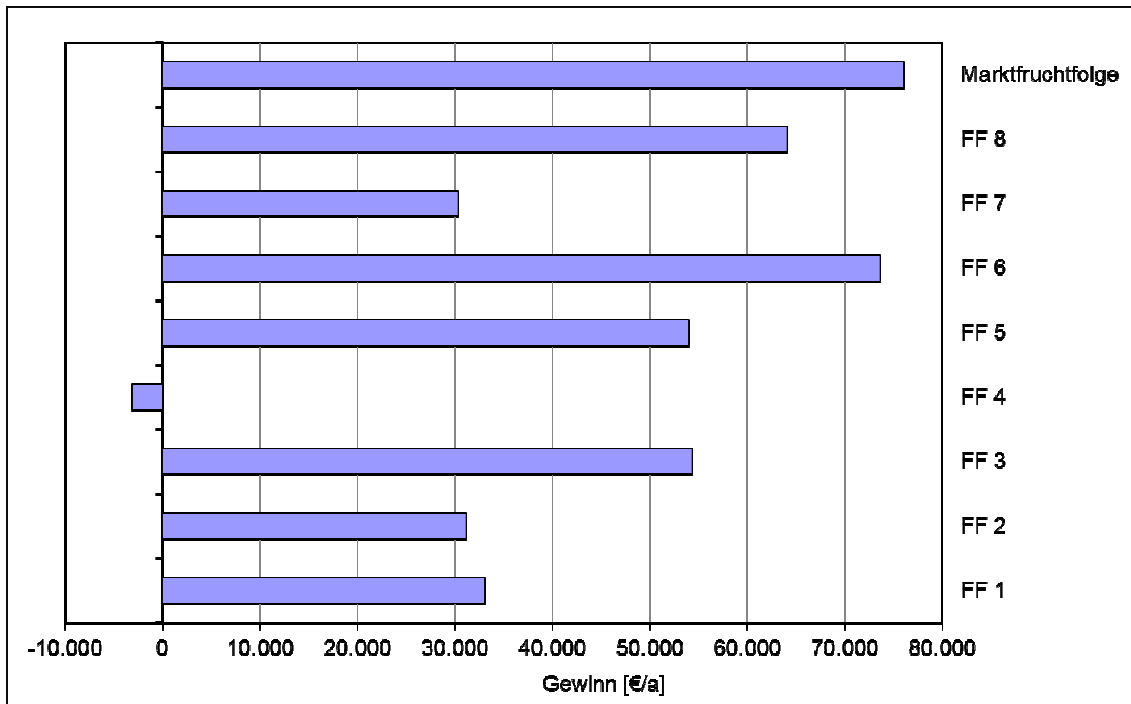


Abbildung 31: Gewinnberechnung bei einer Ackerfläche von 250 ha und einer Biogasanlage mit 330 KW Leistung

Eine Veränderung gegenüber der reinen Gewinnberechnung ist deutlich zu erkennen. Zwar ist die Fruchtfolge 6 wiederum die wirtschaftlichste und der reinen Marktfruchtfolge (WG-WRa- WW- WW) nur geringfügig unterlegen, aber an zweiter Stelle rangiert hier die Fruchtfolge 8, gefolgt von den Fruchtfolgen 3 und 5. Den geringsten Gewinn erbringt anders als in Abbildung 30 die Fruchtfolge 7. Verluste würden bei einer Rohstoffbereitstellung für die Biogasanlage durch die Fruchtfolge 4 entstehen, da hier die benötigte Ackerfläche größer ist, als die zur Verfügung stehenden Hektar. Aus der Biogasanlage hervorgehende, noch unberücksichtigte Wertschöpfungen (NAWARO-, Technologie- und Güllebonus) verbessern den Gewinn dieser wie auch aller anderen Energiefruchtfolgen dahingehend, dass alle Fruchtfolgen einschließlich der Fruchtfolge 4 der Marktfruchtfolge überlegen wären.

4.3.2 Relative Vorzüglichkeit und Produktionsschwelle

Der Ertrag der Fruchtarten zeigt eine gravierende Relevanz auf die Produktionsschwellenberechnung. Trotz erhöhter Gesamtkosten, resultierend aus den steigenden Produktionskosten, sind die leistungsfähigeren Fruchtarten Mais, Wintertriticale und Hirse mit einem Gleichgewichtspreis von 7,9 bis 10,5 €/dt TM als vorzüglichste zu nennen (Tabelle 18). Die Sommergetreidearten und -mischungen weisen erwartungsgemäß die gleiche Rangfolge auf wie bei der

Deckungsbeitragsberechnung, liegen hier allerdings noch vor den Ackergräsern und deren Mischungen. In dieser Sektion ist das 3-jährig genutzte Klee gras dem 2-jährigen Weidelgras überlegen. Beide Kulturarten müssen jedoch genauso als kritisch eingestuft werden wie die einjährige Gerstgrasmischung mit einer Produktionsschwelle von 15,7 €/dt TM, da die Berechnungsgrundlage des Betriebsminimums eine Weiterverarbeitung, wie z.B. die Silierung, nicht in die Kostenrechnung einkalkuliert. Damit sollte eine verbesserte Vergleichbarkeit zwischen Energiepflanzenanbau und Marktfruchtanbau gesichert werden. Für eine kostendeckende Wirtschaftlichkeit kämen somit in allen Fruchtarten zusätzliche Kosten hinzu, welche den Gleichgewichtspreis in Tabelle 18 weiter erhöhen würden. Gleiches gilt für den Zwischenfruchtanbau, insbesondere bei der Zuckerhirse, welche bereits ohne Einbezug der Weiterverarbeitungskosten einen Gleichgewichtspreis gegenüber der Marktfrucht erst bei 62,9 €/dt TM gewährleisten könnte.

Tabelle 18: Gleichgewichtspreise einzelner Energiefruchtarten am Standort Gülzow

Energiefruchtarten	Kosten	Gesamtkosten *	Ertrag	Gleichgewichtspreis
	€/ha	€/ha	dt TM/ha	€/dt TM
M (HF)	1257	1709	216	7,9
M (Zweit.F)	1207	1659	198	8,4
WT (GPS)	826	1278	133	9,6
Su.Gr (Zweit.F)	889	1341	135	9,9
Su.Gr	928	1380	131	10,5
SR/ST	636	1088	97	11,2
H	698	1150	95	12,1
SG (HF)	718	1170	90	13,0
Kleegras**	1320	2676	175	15,3
W.Weidel***	1192	2096	134	15,6
G.Grass	743	1195	76	15,7
WR (WZF)	694	1146	56	20,5
E. Weidel. (SZF)	367	819	22	37,2
ZH (SZF)	366	818	13	62,9

* mit Opportunitätskosten von 452 €/ha;

** Summe aus 3 Anbaujahren,

*** Summe aus 2 Anbaujahren

Zur Verbesserung der Wettbewerbsfähigkeiten aller untersuchten Energiefruchtarten zu den Marktfruchtarten könnten mehrere Maßnahmen in Betracht gezogen werden. Eine Erwägung diesbezüglich wäre der Verkauf des Erntegutes ab Feld an den Biogasanlagenbetreiber als mögliche Alternative zur Ver-

meidung zusätzlicher Silierungs-, Lagerungs- und Transportkosten. Zum anderen können agrotechnische Maßnahmenveränderungen, z.B. Variieren des Pflanzenschutzmitteleinsatzes oder der Bodenbearbeitungsmaßnahmen, eine Verringerung der Produktionsschwelle und, daraus resultierend, eine Verbesserung der monetären Situation auch bei den Ackergräsern und deren Mischungen bewirken. Gleiches gilt hinsichtlich der Agrotechnik im noch gravierenderem Maße für die neue Kulturart Sorghumhirse und im Getreideganzpflanzenanbau. Weiterhin denkbar ist eine wirtschaftlichere Verbesserung des Betriebsminimums durch Ertragssteigerung unter Erhöhung der Produktionsmittel. Allerdings muss dabei auf die Gesetzmäßigkeit der Ertragssteigerung geachtet werden. Diese besagt, dass die Steigerung eines Produktionsfaktors unter der Modalität, dass alle anderen Produktionsbedingungen gleich blieben, zunächst zu einer Erhöhung des Ertrages führe, jedoch mit jeder weiteren Progression des Produktionsfaktors geringer ausfalle und ab einem bestimmten Niveau gleich Null betrüge (BAUER ET AL. 2004). Es zeigt sich folglich, dass durch Optimierung der Anbauweise eine Verschiebung der in Tabelle 18 dargestellten Rangfolge der Energiepflanzen möglich ist

Generell ist zum jetzigen Zeitpunkt festzustellen, dass bei einer ausschließlich ökonomischen Betrachtung der vorliegenden Ergebnisse zum einen die Rangfolge der Energiefruchtarten im ökonomischen Sinne der Ertragsreihenfolge gleichgesetzt werden kann, und zum anderen bei einer lediglich auf die Kulturarten beschränkten Betrachtungsweise insbesondere der Zwischenfrucht-, aber auch der Ackerfutteranbau nicht rentabel scheint.

Bei der Auswertung der Energiefruchtfolgen finden die Fruchtfolgeeffekte durch die Betrachtung der Kosten und Erträge der Energiepflanzen Berücksichtigung. In den Fruchtfolgen integrierte Marktfrüchte bleiben unbeachtet. Die reine Ackerfutterfruchtfolge 4 muss demnach den höchsten Preis erreichen, um ein Gleichgewicht zur Marktfruchtfolge zu erzielen (Tabelle 19). Gleichzeitig wird aber auch deutlich, dass die Fruchtfolgen mit integriertem Zwischenfruchtanbau sowie Ackerfuttermischungen (Fruchtfolgen 1, 2, 3, 6, 7) nicht als die preisintensivsten gelten. Hier sind es eher die Fruchtfolgen 5 und 8, die einen höheren Gleichgewichtspreis aufweisen als die übrigen Fruchtfolgen. Ursächlich verant-

wortlich für diesen Effekt sind geringere Erträge der Energiefruchtarten dieser drei genannten Fruchtfolgen.

Tabelle 19: Gleichgewichtspreisberechnung am Standort Gülzow

Energiefruchtfolgen	1	2	3	4	5	6	7	8
Kosten Energiefrucht €/ha*a	1080	1368	1369	577	697	918	1028	632
Gesamtkosten * €/ha*a	1545	1833	1834	1042	1162	1383	1492	1097
Ertrag Energiepflanzen dtTM/ha*a	159	166	195	78	104	140	130	102
Gleichgewichtspreis Energiepflanzen €/dt TM	9,7	11,0	9,4	13,3	11,2	9,9	11,5	10,8

* mit Opportunitätskosten 465 €/ha*a (Tabelle A 19)

Bei der Betrachtung zeichnet sich ab, dass die Fruchtfolgen 3, 1 und 6 den geringsten Gleichgewichtspreis aufweisen und somit aus der Sicht des reinen Energiepflanzenanbaus die wirtschaftlichsten sind. Die Fruchtfolge 4 ist mit 13,3 €/dt TM die schlechteste Fruchtfolge. Unter Berücksichtigung des erzielbaren Marktpreises für Körnernutzung ist diese Fruchtfolge trotz ihres hohen Gleichgewichtspreises dennoch wie auch alle anderen als rentabel einzustufen.

Aus der vorangegangenen Diskussion wird ersichtlich, dass die vielen verschiedenen Interpretationsansätze zu keiner einheitlichen Aussage bezüglich der Rangfolge der Energiefruchtfolgen auf ökonomischer Ebene führen. Es zeichnen sich lediglich Tendenzen ab, die bei der Entscheidungsfindung zur Wahl der geeigneten Fruchtfolge unterstützend wirken können. Grundsätzlich kann allerdings gesagt werden, dass alle der hier untersuchten Fruchtfolgen eine positive Bilanz aufweisen, wobei die Klee-grasvariante in allen Fällen der Betrachtung die geringste Wirtschaftlichkeit zeigt.

5 Schlussfolgerungen

Basierend auf dem derzeitigen Erkenntnisstand lassen sich folgende, regional repräsentative Schlussfolgerungen für die landwirtschaftliche Praxis, die Agrarforschung und die Agrarverwaltung ableiten.

5.1 Für die landwirtschaftliche Praxis

Mit abwechslungs- und ertragreichen Energiefruchtfolgen besteht die Möglichkeit einer adäquaten Ertragsleistung zur Monokultur Mais. Fruchtarten wie Wintertriticale (GPS), Sorghumhirse in Haupt- oder Zweitfrucht sowie Mais in Haupt- oder Zweitfrucht, aber auch Ackergräser sind vorrangig in die Fruchtfolgen zu integrieren. Dies ermöglicht eine Risikostreuung trockenheitsbedingter Ertragsausfälle. Ernte- und Aussaatzeitpunkte sollten dabei zu Gunsten der Hauptfrucht festgelegt werden.

Beim Getreideganzpflanzenanbau zur energetischen Nutzung sollten primär Winterungen zum Einsatz kommen, um den Synergieeffekt einer Ertragssteigerung gegenüber den Sommerrungen durch effektivere Ausnutzung des Vegetationszeitraumes wahrzunehmen. Gleichzeitig tragen Winterungen ihren Teil zu einer gewünschten ganzjährigen Bodenbedeckung bei. Auf eine Kostenminimierung durch reduzierten Pflanzenschutzmitteleinsatz ist zu verzichten, da diese Ertragsminderungen verursachen. Standortspezifisch ist eine Behandlung mit Halmstabilisatoren unerlässlich, um Lager zu vermeiden. Zusätzlich wird auftretenden technischen Ernteeinträchtigungen und der Verunreinigung des Erntegutes entgegengewirkt.

Witterungsbedingt differenzierte Erträge der Ackergräser und -mischungen verdeutlichen die Notwendigkeit einer guten Wasserversorgung beim Anbau dieser Fruchtarten. Dieser Aspekt ist bei der Entscheidungsfindung zur Anbauwürdigkeit von Ackergräsern zu beachten. Des Weiteren zeigten die Trockenmasseerträge der Ackerfutterkulturen, dass das Anwelken unumgänglich ist, um der erforderlichen Silagequalität gerecht zu werden.

Der Kornertrag von Wintertriticale ist dem Winterweizenertrag ebenbürtig. Hier entscheiden die Agrarpreise über die Anbauwürdigkeit. Der signifikant geringere Ertrag des Winterweizens der Fruchtfolge 1 lässt den Schluss zu, dass selbst

spätsaatverträgliche Sorten mit erhöhter Aussaatmenge den Vorsprung des optimalen Aussaatzeitpunktes nicht kompensieren können. Beim Winterweizen aufgetretene Verdünnungseffekte des Rohproteins im Korn sind durch, insbesondere im Zeitfenster der Qualitätsdüngergabe vorherrschende Trockenheit verursacht worden. Dies lässt den Schluss zu, dass eine Qualitätsdüngergabe in Flüssigdüngerform bei Trockenheit in Betracht gezogen werden sollte. Somit ist die Möglichkeit einer verbesserten Düngeraufnahme über das Blatt gegeben. Bei der phytomedizinischen Betrachtung der Fruchtfolgen konnten die bereits bekannten Vorfruchteffekte auf die Abschlussfrucht Winterweizen bestätigt werden. Schlussfolgernd sollte dementsprechend auf eine Getreidevorfrucht vor Winterweizen verzichtet, und die positiv wirkenden Ackergräser in die Fruchtfolge integriert werden.

Bei der theoretischen Methangasermittlung festgestellte Korrelationen verdeutlichen die Relevanz der Trockenmasseerträge und Trockensubstanzgehalte. Deshalb sind die Fruchtfolgen mit hohen Erträgen zu bevorzugen.

Im Düngungsmanagement der Energiefruchtfolgen ist insbesondere bei den „neuen“ Kulturarten auf eine bedarfsgerechte Stickstoffapplikation zu achten. Auf die Gefahr einer Stickstoffauswaschung, impliziert durch nicht erreichte Ertragserwartungen, muss durch agrotechnische Maßnahmen zeitnah reagiert werden. Insbesondere beim Winterraps kann mittels nachfolgender Fröhsaat von Winterweizen eine bessere Aufnahme des Überhanges gewährleistet und somit die N-Auswaschung minimiert werden. Von einer Strohabfuhr beim Winterraps ist aufgrund ökonomischer und ökologischer Bedenken abzuraten.

Bei einer Bodengehaltsklasse $> C$ kann auch in den ertragsstarken Energiefruchtfolgen auf eine Phosphordüngung verzichtet werden. Dem hohen Entzug konnte kein direkter Einfluss auf die Bodengehalte zugeschrieben werden. Zur Erhaltung der Pflanzengesundheit sollten die Bodengehaltsklassen jedoch als richtungsweisend angesehen und eine bedarfsgerechte Düngeapplikation ab einer Versorgungsstufe $< C$ vollzogen werden.

Die besonders ertragreichen Energiefruchtfolgen weisen einen erhöhten Kaliumbedarf einhergehend mit einer intensiveren Kaliumzehrung aus dem Bodenvorrat auf. Hier ist noch stärker auf eine bedarfsgerechte Erhaltungsdüngung zu

achten als bei den markfruchtorientierten Fruchtfolgen. Weiterhin sollte einem im Winterroggen und Ackergräserarten nachgewiesenen Luxuskonsum mittels Veränderung der agrotechnischen Maßnahmen entgegengewirkt werden. Dies kann eine bedarfsgerechte Applikation zur Aussaat der Folgefrucht als Mehrnährstoffdünger (NK) mit Einarbeitung an Stelle einer einmaligen Kaliumdüngung zu Vegetationsbeginn sicherstellen.

Die Humusbilanzierung nach Cross Compliance ist als Bewertungsmethode nur unzulänglich geeignet. Eine Gärrestrückführung ist grundsätzlich empfehlenswert, besonders jedoch bei den ertragsstarken Fruchtfolgen anzuraten. In extensiv bewirtschafteten Fruchtfolgen, wie FF 4 ist von einer Gärrestrückführung Abstand zu nehmen, um eine Humus C-Übersorgung und daraus resultierende niedrige Stickstoffeffizienz zu vermeiden.

Silomais in Haupt- sowie Zweitfruchtstellung hat die beste Energieeffizienz. Optimierungen im Anbauverfahren (Ersetzen des Mineraldüngereinsatzes durch Gärreste) sowie die Verbesserung der Erntegutqualität (TS-Gehalt etc.) können die Energieeffizienz zusätzlich positiv beeinflussen. Insbesondere bei den intensiv bewirtschafteten Fruchtarten Winterraps und Winterweizen führt eine partielle Veränderung der Düngemittelart von mineralisch auf organisch zur Verbesserung der Energiebilanz. Des weiteren zeigen 9 bis 10-fache Erntefaktoren der mehrjährig genutzten Ackergräser, dass die durch die Schnittregime hervorgerufenen energetischen Mehraufwendungen mittels ertragsstarker Energieausbeuten teilweise besser kompensiert werden können als bei einschnittigen Energiefruchtarten. Für einen flächen- und energieeffizienten Energiepflanzenanbau ist die Fruchtfolge 3 zu favorisieren. Daraus resultierende, ökologische Nachteile hinsichtlich des Erntefaktors gegenüber extensiv bewirtschafteten Fruchtfolgen (FF 4) müssen dabei in Kauf genommen werden. Durch den Einsatz von Gärresten kann auch hier eine Steigerung der Energieeffizienz erreicht werden. Grundsätzlich ist der Einsatz von Gärresten als ökologisch wertvoll einzustufen.

Deckungsbeiträge sollten generell fruchtfolgespezifisch berechnet werden. Die relative Vorzüglichkeit ist zur Charakterisierung des Mindestverkaufswertes einer Silage empfehlenswert. Der geringe Einfluss einer dezimierten Anbauintensität auf die Rentabilität der Fruchtfolgen lässt die Erkenntnis zu, dass bei den

im Versuch geprüften Energiefruchtfolgen eine Kostenminimierung durch Veränderung der agrotechnischen Maßnahmen (Düngestrategien, PSM-Einsatz) als zweitrangiges Ziel anzustreben ist. Eher rechtfertigen aus rein ökonomischer Sicht hohe erzielbare Erträge einen intensiven Faktoreinsatz. Landwirtschaftliche Unternehmen sollten bei der Entscheidung über anzubauende Kulturarten und Fruchtfolgen immer die Ackerflächenbindung berücksichtigen.

5.2 Für die Verwaltung

Auf Grundlage der Methanerträge berechnete Ackerflächenbindung kann als Instrument zur Entscheidungsfindung hilfreich sein, sollte jedoch immer im Bewusstsein der unzulänglichen Methodik interpretiert werden.

Die Aussagekraft der gängigen Analyseverfahren zur P-Versorgung des Bodens charakterisiert diese unzureichend. Bodengehaltsklassen sollten daher nicht als starre Grenzwerte zur Beurteilung der P-Versorgung des Bodens gesehen werden, sondern lediglich richtungsweisend sein. Dies ist bei einer Düngempfehlung unbedingt zu beachten, um ungenaue Prognosen und daraus resultierende Überversorgungen vermeiden zu können. Das Analyseverfahren zur Bestimmung der Bodengehaltsklassen beim Kalium ist hingegen als zweckdienlich einzustufen. Der signifikante Einfluss des Kaliumentzugs der Pflanze auf den Bodenhaushalt verlangt eine Turnusverkürzung von Bodenuntersuchungen im Energiepflanzenanbau. Damit kann einer Verarmung des Bodens durch starke Kaliumzehrung ertragreicher Energiefruchtfolgen entgegengewirkt werden.

Besonders gravierende, methodische Ungenauigkeiten mussten in der Bewertung des Humushaushaltes nach VDLUFA und Cross Compliance festgestellt werden. Daraus resultiert die Notwendigkeit einer Aktualisierung der VDLUFA-Richtwerte und somit auch der in der Praxis angewandten Cross Compliance Richtlinien. Wegen ihrer exakteren Vorgehensweise sollte die dynamische HE-Methode zur Erneuerung dieser VDLUFA-Richtwerte hinzugezogen werden. Berechnete Salden können derzeit grundsätzlich nur als Trendangaben gesehen werden.

Alle hier untersuchten Fruchtfolgen zeigen mit ihrer positiven Energiebilanz, dass das Verhältnis von Aufwand zu Nutzen als nachhaltig eingestuft werden

kann. Daraus lässt sich folgern, dass eine grundsätzliche Energiebilanzierung im Energiepflanzenanbau nicht zwingend nötig ist. Zur Vergleichbarkeit verschiedener Anbausysteme und –verfahren ist diese jedoch heranzuziehen. Dabei sollte generell die Bewertung der Weiterverarbeitungsprodukte, in diesem Fall Methan- bzw. Rapsölausbeute, als Vergleichsbasis dienen, um auch den Einfluss qualitätsabhängiger und fruchtartenspezifisch charakteristischer Sekundärrohstoffausbeuten in die Bewertung zu involvieren. Zur Vergleichbarkeit der Bilanzierungsergebnisse untereinander sind eine eindeutige Definition der Inputgrößen, z.B. Düngemiteleininsatz nach Entzug der Pflanzen oder nach eingesetzter Aufwandmenge und das Festlegen der Bilanzierungsgrenzen essentiell.

Die Berechnung der relativen Vorzüglichkeit ist als Hilfsmittel zur Charakterisierung des Verkaufswertes bereitgestellter Rohstoffe besser geeignet als der Deckungsbeitrag. Sie sollte als Entscheidungsträger für die Preisfindung auf dem Energiepflanzenmarkt mit einfließen.

5.3 Für die Forschung

Die Ergebnisse zeigen, dass insbesondere bei den Sorghumhirsen das Ertragspotential noch nicht ausgeschöpft ist. Züchtungsforschung und Optimierung der Anbauverfahren könnten hier Ertragssteigerungen bewirken. Beim Getreideganzpflanzenanbau bleibt die Frage einer ertragssteigernden Einflussnahme initiiert durch veränderte Düngestrategien und agrotechnischen Maßnahmen zum jetzigen Zeitpunkt ebenfalls ungeklärt. Ebenso erbrachten Diskussionen über die verbesserte Aufnahmefähigkeit von Flüssigdünger bei Trockenstress keine aussagekräftigen Ergebnisse. Im Hinblick auf die gerade in Mecklenburg-Vorpommern auftretenden Trockenperioden sind Untersuchungen auf diesem Gebiet von gravierender Bedeutung.

Die Ergebnisse der theoretischen Methangasausbeuten führen zu der Erkenntnis, dass eine Charakterisierung fruchtartenspezifischer Einflussfaktoren auf den Methanertrag durch die verwendete Methode nur unzureichend ermöglicht wird. Beispielweise können Interaktionen zwischen einer variierenden Kaliumdüngung, daraus resultierenden Veränderungen des Zuckergehalts, dementsprechenden Verbesserungen der Verdaulichkeit und der Methangasausbeute

nicht erfasst werden. Die Bestimmungsmethode der theoretischen Methangasausbeute muss deshalb weiterentwickelt werden, um differenziertere Aussagen zum Methanertrag der Fruchtarten in Abhängigkeit zu den qualitativen Eigenschaften treffen zu können und somit eine Optimierung der Anbauverfahren zu gewährleisten.

Negative Stickstoffbilanzen der ertragreichen Energiefruchtfolgen kennzeichnen die unterschätzten Ertragserwartungen einiger Kulturarten. Insbesondere bei den neuen Fruchtarten wie z.B. Energiemais und Sorghumhirse sollte eine gesteigerte N-Applikation in Erwägung gezogen werden, um den Effekt der Ertragssteigerung zu nutzen. Die optimale spezielle Intensität des Faktors N ist dabei noch zu prüfen.

Die in allen Fruchtfolgen auftretenden, negativen Phosphorbilanzen zeigen keinen Einfluss auf die Veränderung der Bodengehaltsklassen. Schlussfolgernd daraus müssen die in der Praxis gängigen Analysemethoden zur Phosphorbestimmung im Boden in Frage gestellt und als unzulänglich deklariert werden.

Die beim Kalium nachgewiesene Abhängigkeit zwischen dem Entzug der Fruchtfolgen und der Veränderung der Bodengehaltsklasse deutet auf eine ausreichende Genauigkeit der Untersuchungsmethode zur Bestimmung des Kaliumgehaltes im Boden hin.

Erzielte Ergebnisse der Humusbilanzierungsmodelle zeigen noch Unstimmigkeiten in den konkreten Größenangaben einzelner Humuszehrer- und -mehrerleistungen. Diese Unschärfen werden bei einer Betrachtung der Humusbilanzen mit Gärrestrückführung noch verstärkt, da die Salden wesentlich von der Humuswirkung des Gärrestes abhängen. Eine eindeutige Charakterisierung der Humusreproduktions-Koeffizienten von Gärresten, den „neuen“ Kulturarten und den veränderten Ernteterminen existiert jedoch ebenso wenig, wie eine exakte Bestimmungsmethode zur Festlegung der Menge des verbleibenden Kohlenstoffs im Gärrest nach der Fermentation.

Silomais in Haupt- sowie Zweitfruchtstellung widerlegen mit seinen hohen Erntefaktoren die allgemein vertretene These, dass insbesondere ertragreiche Energiefruchtarten eine geringere Energieeffizienz aufweisen als Fruchtarten mit niedrigeren Erträgen. Dies lässt, wie bei der Wintertriticale GPS und

Sorghum erkennbar, jedoch nicht den Umkehrschluss zu, dass grundsätzlich alle ertragreichen Fruchtarten auch hohe Erntefaktoren vorweisen können. Beide Kulturarten sind mit hohen Erträgen, aber relativ geringen Erntefaktoren charakterisiert.

Die Betrachtung der Fruchtfolgen lässt erkennen, dass ein hoher Bruttomethanenergieertrag im Gegensatz zu den einzelnen Fruchtarten nur mit erhöhten Energieaufwendungen und daraus resultierenden geringeren Energieeffizienzen realisierbar ist. Die Bewertung von Gärrestgaben kann aufgrund des betriebsbedingt unterschiedlichen Substrateinsatzes und der technischen Handhabung (Thermo- oder mesophile Vergärung, Verweildauer im Fermenter, Nachfermenterart usw.) nur schlecht qualitativ bewertet werden. Eine gesicherte Aussage zum Einfluss der Gärrestaubringung auf die Energieeffizienz ist nur durch weitere Analyseverfahren möglich.

Der Vergleich der Erntefaktoren „Feld“ und „Weiterverarbeitung“ schafft die Möglichkeit einer Charakterisierung der bei der Weiterverarbeitung auftretenden Energieverluste. Aus den Analyseergebnissen resultierende Verfahrensänderung agrotechnischer oder anlagentechnischer Art kann schließlich zur Verminderung dieser Verluste beitragen.

Die errechneten Deckungsbeiträge der Fruchtarten lassen keinen unmittelbaren Schluss auf die Anbauwürdigkeit dieser Fruchtarten zu. Gerade im Zwischenfrucht- aber auch im Ackergräseranbau kommen die positiven Fruchtfolgewirkungen erst bei der Folgefrucht zum Tragen. Ertragssteigernde Effekte müssten theoretisch der Vorfrucht zugute geschrieben werden, dieses ist jedoch aufgrund einer fehlenden Quantifizierung nur bedingt möglich. Als Lösungsansatz sollte deshalb grundsätzlich die Berechnung der fruchtfolgebezogenen Deckungsbeiträge dienen. Eine Kostenminimierung durch verringerte Faktoreinsätze weist einen geringeren Einfluss auf die Rentabilität der Fruchtfolgen auf, als die Erhöhung der Anbauintensität zur Ertragssteigerung. Ob dieses Ergebnis auch in anderen Regionen und Fruchtfolgen reproduzierbar ist, bleibt zum jetzigen Zeitpunkt ungeklärt.

Auch bei der Berechnung von Produktionsschwellen und relativen Vorzüglichkeit ist die Bewertung der Fruchtarten als unzureichend zu deklarieren. Sie soll-

ten lediglich als Hilfsmittel zur Charakterisierung von anbautechnischen Veränderungsmaßnahmen zur Verbesserung der monetären Situation gesamter Fruchtfolgen zum Einsatz kommen. Die Ergebnisdarstellung in [€/dt TM] präzisiert dabei eine direkte Relevanz ackerbaulicher Maßnahmen auf die Veränderung der Produktionsschwelle und den Gleichgewichtspreis. Eine Auswertung der Gleichgewichtspreise im Zusammenhang mit der Ackerflächenbindung der Fruchtfolgen kann dazu dienen den unterschiedlichen Voraussetzungen der einzelnen Unternehmen (mit oder ohne Biogasanlage) gerecht zu werden. Die Entscheidung, welche Fruchtfolge die beste Wirtschaftlichkeit für jeden einzelnen Betrieb aufzeigt, und ob der Zu- bzw. Verkauf von Kosubstraten Vorteile erbringt, wird dadurch erleichtert.

6 Zusammenfassung

Ziel der vorliegenden Arbeit ist es, einen nachhaltigen, umweltverträglichen Energiepflanzenanbau für die Region Mecklenburg-Vorpommern zu schaffen, unter dem Fokus der Ackerflächenkonkurrenz zwischen Energiepflanzen- und Lebensmittelanbau. Geprüft werden dafür 8 unterschiedliche Energiefruchtfolgen auf Ertrag, Methangasausbeute, Nährstoffkreisläufe, Humus- und Energiebilanz und ökonomische Gesichtspunkte. Gleichzeitig soll die vorliegende Arbeit Bewertungsschwachstellen der Analyseverfahren in den untersuchten Schwerpunkten aufzeigen und Denkanstöße für eine Neuentwicklung von Charakterisierungsmethoden ökologischer und ökonomischer Natur geben. Im Hinblick auf die formulierte Zielstellung können folgende wesentliche Aussagen getroffen werden:

Bereich Anbau

Bei den geprüften Fruchtfolgen sind die Fruchtfolgen 3, 1 und 2 die ertragreichsten bezüglich des Trockenmasse- und Methangasertrages.

Um eine effiziente Ackerflächennutzung zu gewährleisten, und somit eine Konkurrenz zwischen dem Energiepflanzen- und Nahrungsmittelanbau abzuschwächen, sind in die Energiefruchtfolgen Mais, Sorghumhirse und Wintertriticale zu integrieren.

Die Hafersortenmischung und die Sommergerste mit den erreichten Erträgen zeigen, wie auch die Artenmischung Sommerroggen/Sommertriticale akzeptable Ergebnisse. Bevorzugt werden sollten in der Getreideganzpflanzennutzung nach Möglichkeit jedoch generell Winterrungen, welche eine Ertragssteigerungen gegenüber den Sommerungen erwarten lassen.

Wintertriticale GPS ist als Sorghumhirsevorfrucht ungeeignet. Der anschließende Vegetationszeitraum reicht in dieser Region nicht aus, um die benötigte Temperatursumme von 2000 °C zu Verfügung zu stellen. Folgen sind Ertragsdepressionen. Winterroggen als Grünschnittroggen hingegen hat sich als Vorfrucht bewährt und sollte bei Zweikulturnutzung favorisiert werden.

Wintertriticale zeigt dem Weizen ebenbürtige Erträge. Trotzdem ist die Anbaubedeutung von Wintertriticale zur Körnernutzung aufgrund der Marktsituation als eher gering einzuschätzen. Bei Winterweizen als Abschlussfrucht aller Fruchtfolgen konnten bereits aus der Literatur bekannte Vorfruchteffekte bestätigt werden. Auch hier hatte die Getreidevorfrucht Wintertriticale einen negativen und Ackergräservorfrüchte einen positiven Einfluss auf den Kornertrag des Winterweizens.

Bereich Bilanzierung

Die untersuchten Energiefruchtfolgen 1 bis 4 sowie 5 und 7 können mit dem durchgeführten Düngemanagement eine umweltverträgliche Stickstoffbilanz vorweisen. Negative Salden deuten auf eine effiziente Nährstoffausnutzung hin und lassen eine Steigerung der Düngegaben insbesondere zu den Fruchtarten Wintertriticale, Sorghumhirse und Mais zu.

In den Fruchtfolgen 6 und 8 ist durch den Winterraps ein N-Überhang zu verzeichnen. Eine ertragsangepasste Stickstoffdüngung sowie die Abfuhr des Winterweizenstrohes relativieren dieses Überangebot jedoch.

Die Phosphorbilanzen zeigten in allen Fruchtfolgen erwartungsgemäß ertragsabhängige negative Salden. Trotz unterlassener Phosphordüngung kam es weder zu Mangelerscheinungen noch zur Verringerung der Bodengehalte.

Beim Kalium forderte Bodengehaltsklasse D zu Versuchsbeginn das Unterlassen einer Kaliumvorratsdüngung. In allen untersuchten Fruchtfolgen kam es dadurch erwartungsgemäß zu negativen Kaliumsalden. Ein höherer Kaliumbedarf konnte insbesondere in den Fruchtfolgen mit Winterroggen, Ackergräsern und Sorghumhirschen verzeichnet werden. Vor allem der Winterroggen zeigte Anzeichen eines Luxuskonsums. Der Kaliumentzug hatte in allen Fruchtfolgen einen signifikanten Einfluss auf den Abbau der pflanzenverfügbaren Kaliumvorräte im Boden. Der Veränderung der Bodengehaltsklasse in Fruchtfolge 3 auf B muss entgegengewirkt werden. Die Düngeempfehlungen nach VDLUFA sind als Basis für die Höhe der Applikationen zu nutzen. Die Kaliumgabe sollte dabei zu den Hauptfruchtkulturen als Mehrnährstoffdünger appliziert werden, um den Luxuskonsum einiger Vorfruchtkulturen zu unterbinden.

Die Berechnung der Humussalden mittels VDLUFA–Methode zeigte:

- Ohne Gärrestrückführung treten hohe negative Humussalden lediglich in den Fruchtfolgen 1 (Gruppe A) und 3 (Gruppe B) auf. Fruchtfolge 4 musste mit ihrem Humussaldo in Gruppe E eingeordnete werden.
- Mit Gärrestrückführung lagen alle geprüften Fruchtfolgen weit über der angestrebten Gruppe C und wären demnach mittel- bis langfristig überversorgt. Somit wäre eine Beeinträchtigung der Bodenfruchtbarkeit bis hin zur Nitratauswaschung zu erwarten.

Die Modellierung nach der dynamischen HE-Methode ergab:

- Ohne Gärrestaubsbringung liegen mit Ausnahme der Fruchtfolge 4 (Gruppe E) und der Fruchtfolge 7 (Gruppe C) alle übrigen Fruchtfolgen in der Gruppe A. Dies bezeichnet eine negative Beeinflussung der Bodenfruchtbarkeit durch die Energiefruchtfolgen.
- Nur bei gezielter Gärrestrückführung können die geprüften Energiefruchtfolgen 1, 2, 3, 5 und 6 eine positive Auswirkung auf den Humus-C Haushalt vorweisen. Ausnahme bildet die Fruchtfolge 8, welche auch bei Strohrückführung und 100% -iger Wiederverwertung der von der Fläche erzielten Gärreste die Humuszehrung nicht kompensieren kann.

In der Energiebilanz wird der Input maßgeblich durch den Mineraldüngereinsatz dominiert.

Die Bilanzierung der Bruttofeldenergieerträge (BFEE) zeigte:

- Trotz hoher kumulierter Energieaufwendungen erbringt Mais in Hauptfruchtstellung den höchsten BFEE gefolgt von Mais in ZF, W.Weidel. (2. Anbaujahr), Sorghumhirse ZF und Klee gras (1. Anbaujahr). Hingewiesen werden muss dabei auf die eingeschränkte Aussagekraft der Ergebnisse beim Klee gras, aufgrund der Bestandesminimierung des Mischungspartners Klee. Bei den Getreidearten kann WT GPS und WT K, aber auch WW Früh mit guten BFEE überzeugen.

- Die hohen KEA der anbauintensiven Fruchtfolgen werden durch dementsprechende BFEE gerechtfertigt.

Die Berechnungen der Bruttomethanenergieerträge (BMEE) ergaben:

- Mais in Haupt und Zweitfruchtstellung, W.Weidel. (2. Anbaujahr), Winterweizen, Winterraps und Wintertriticale (K) erzielten die höchsten BMEE. Die Sorghumhirsen und der Wintertriticale GPS hingegen verschlechtern ihre Position gegenüber dem BFEE.
- Die Fruchtfolgen können einen hohen BMEE nur mit erhöhten Energieaufwendungen und daraus resultierenden geringeren Energieeffizienzen erzielen.

Die Ermittlung der Energieeffizienz durch den Erntefaktor ergab:

- Bei den Fruchtarten weisen Mais in Hauptfrucht und Zweitfrucht, Klee gras im 1. Anbaujahr, SR/ST und Hafer den höchsten Erntefaktor ab Feld auf. Auch bei dem Erntefaktor der Weiterverarbeitung zeigt Mais in HF und ZF die beste Energieeffizienz, gefolgt von Winterraps, Wintertriticale (K) und Klee gras beider Anbaujahre.
- Die Berechnung der fruchtfolgespezifischen Erntefaktoren ab Feld charakterisierten die FF 4 als energieeffizienteste gefolgt von FF 3 und FF 6. Bei dem Erntefaktor der Weiterverarbeitung zeigt sich eine Rangfolgenverschiebung. Hier hat FF 6 das beste Verhältnis von Energieinput zu Energieoutput zu verzeichnen. Grundsätzlich können alle geprüften Fruchtfolgen das 8 bis 10 -fache der aufgewendeten Energie produzieren. Beachtung finden müssen dabei allerdings die durch die Weiterverarbeitung des Methangases zum Endprodukt „Strom“ noch zusätzlich anfallenden Energieeinsätze.

Um im Sinne eines flächen- und energieeffizienten Energiepflanzenanbaus zu wirtschaften, eignet sich insbesondere die Fruchtfolge 3. Eine Gärrestrückführung führt in dieser, wie auch in allen anderen Fruchtfolgen zusätzlich zu einer Verbesserung der Energiesalden

Bereich Ökonomie

Die Errechnung der Deckungsbeiträge ergab:

- Alle Körnerfruchtarten haben positiven Deckungsbeitrag, wobei Winterraps vor Winterweizen und Wintertriticale rangiert.
- Bei den Energiefruchtarten sind an erster Stelle Mais in Haupt- bzw. Zweitfruchtstellung gefolgt von den Getreideganzpflanzen Wintertriticale, SR/ST Mischung und dem Sudangras in Haupt- bzw. Zweitfruchtstellung zu nennen.
- In den Fruchtfolgen weisen die FF 6, FF 8 und FF 5 mit Winterraps und Winterweizen die höchsten Deckungsbeiträge auf.

Alle Fruchtfolgen haben positive Gewinne.

Die fruchtfolgebezogenen Auswertungen mittels Gleichgewichtspreis charakterisieren die Energiefruchtfolge 3 gefolgt von FF 1 als vorzüglichste. Erst an dritter Stelle steht die im Deckungsbeitrag favorisierte Fruchtfolge 6.

Der Einbezug der Ackerflächenbindung zeigt, dass grundsätzlich alle geprüften Energiefruchtfolgen bei Integration der Anlageboni den Marktfruchtfolgen überlegen sind. Die Wertschöpfung kommt auf Grund der festen Vergütungssätze durch das EEG allerdings eher aus der Biogasanlage als aus der Pflanzenproduktion.

Bereich Analyseverfahren

Die Methangasausbeute korreliert stark mit dem Trockenmasseertrag, verursacht durch die methodischen Ungenauigkeiten bei der theoretischen Ermittlung der Methangasausbeute. Hier besteht weiterer Forschungsbedarf. Besonderes Augenmerk sollte dabei auf eine verbesserte Charakterisierung der Einflussnahme von Erntegutqualität auf den Methanertrag gelegt werden.

Die gängigen Untersuchungsmethoden zur Bestimmung der Phosphorgehalte im Boden haben sich als unzureichend erwiesen.

Beim Vergleich der Humusbilanzierungsmethoden wird deutlich, dass die dynamische HE-Methode als genauere Vorgehensweise gegenüber der VDLUFA bevorzugt werden sollte.

Grundsätzlich kann der Erntefaktor als kompakter Überblick über die Energieeffizienz von Fruchtarten und -folgen dienen, ist allerdings als alleinige Bewertungsgröße nur unzulänglich nutzbar, da nicht nur die Energieeffizienz eine Rolle spielt, sondern auch der Energieertrag. Dabei deuten die bei einer Gegenüberstellung beider berechneter Erntefaktoren (E_{WV} und E_F) entstandenen Differenzen auf nicht optimale Verfahren in der Agrotechnik oder Weiterverarbeitung hin.

Für alle in dieser Arbeit angewendeten ökologischen Bewertungsmodelle, muss ein Anpassungsverfahren der Berechnungs- und Analysemethoden an die betriebsspezifisch qualitativ unterschiedlichen Gärreste entwickelt werden.

Eine konkrete Aussage über die finanziellen Vorteile einzelner Fruchtfolgen bei alleiniger Betrachtung des Deckungsbeitrages kann nicht getroffen werden. Gleiches gilt für den Gewinnbeitrag.

Der Gleichgewichtspreis ist eine gute Methode zur Festlegung betriebsspezifischer Verkaufspreise von Energiefruchtarten. Grundsätzlich zeigen die unterschiedlichen Ergebnisse der einzelnen Bewertungsmethoden, dass die Nutzung einer einzelnen Methode Ungenauigkeiten in sich birgt.

Bei der Entscheidungsfindung des Landwirtes sollten alle hier genutzten Methoden inklusive Ackerflächenbindung zum Einsatz kommen.

Durch die Favorisierung der Energiefruchtfolgen mit den höchsten Erträgen kann der Monokultur Mais eine ökologisch und ökonomisch sinnvolle Alternative entgegengesetzt werden. Dabei ist die Gärrestrückführung ein wichtiger Aspekt, um die Humuszehrung der ertragreichen Fruchtfolgen abzumildern und eine energieeffizientere Nutzung zu realisieren. In der Gülle enthaltenen Nährstoffe N, P, K müssen allerdings in der Düngestrategien bedacht werden. Beachtet werden muss weiterhin eine ertragsabhängige, bedarfsgerechte Düngung. Insbesondere Kalium sollte zu den Hauptfruchtkulturarten appliziert werden, um eine Festlegung durch Luxuskonsum der Vorfrüchte zu vermeiden. Beim Energiepflanzenanbau sollte auf einen verkürzten Turnus der Untersuchungen der Bodengehalte geachtet werden. Durch den Anbau der ertragreichen Energiefruchtfolgen kann eine zu starke Ackerflächenbindung vermieden werden. Somit

ist die Konkurrenz zwischen Nahrungsmittel- und Energiepflanzenanbau abgeschwächt. Es ist also möglich, eine umweltfreundliche und ressourcenschonende Energieherstellung mithilfe einiger hier untersuchter Fruchtfolgen zu realisieren. Bedenken hinsichtlich energetischer Effizienzen sind nicht relevant.

Gewonnene Einzelergebnisse sind wegen ihrer Ertragsabhängigkeit nicht als absolute Werte anzusehen, sondern repräsentieren lediglich eine Tendenz.

7 Literatur

- ADAM, L. (2006): Sudangras-Ergebnisse aus dreijährigen Untersuchungen in Brandenburg
www.masf.brandenburg.de/sixcms/media.php/4055/sugras06.pdf.
Rev.22.02.2006. Zugriff: 14.09.2010.
- AGRIOS, G. N. (2005): Plant pathology, Fifth Edition, A Harcourt Science and Technology Company, Academic Press, San Francisco.
- ALBERT, E., KOWALEWSKY, H.-H., LORENZ, F., ORTSEIFEN, U.: N-Düngung effizient gestalten, DLG-Merkblatt 350,
www.dlg.org/fileadmin/downloads/merkblaetter/dlg-merkblatt_350.pdf.
Zugriff: 23.06.2010
- AMON, T., AMON, B, KRYVORUCHKO, V., ZOLLITSCH, W., MAYER, K., GRUBER, L. (2007(B)):Biogas production from maize and dairy cattle manure- Influence of biomass composition on the methane yield, Agriculture, Eco-systems and Environment 118 (1-4), 173-182.
- AMON, T., KRYVORUCHKO, V., HOPFNER-SIXT, K., AMON, B., RAMUSCH, M., MILOVANOVIC, D., BODIROZA, V., SAPIK, R., ZIMA, J., MACHMÜLLER, A., ZOLLITSCH, W., KNAUS, W., FRIEDEL, J. K., HRBEK, R., PÖTSCH, E., GRUBER, L., STEINWIDDER, A., PFUNDTNER, E., WAGENTRISTL, H. (2006): Optimierung der Methanerzeugung aus Energiepflanzen mit dem Methanenergiewertsystem, Berichte aus Energie- und Umweltforschung 08/2006, Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie, Wien.
- AMON, T., MACHMÜLLER, A., KRYVORUCHKO, V., MILOVANOVIC, D., HREBK, R., EDER, W., STÜRMER, B. (2007(A)): Optimierung der Methanausbeute aus Zuckerrüben, Silomais, Körnermais, Sonnenblumen, Ackerfutter, Getreide, Wirtschaftsdünger und Rohglyzerin unter den Standortbedingungen der Steiermark, Endbericht Forschungsprojekt Nr. 1241, Universität für Bodenkultur Wien, Department für Nachhaltige Agrarsysteme.
- ANDERSSON, S., SIMONSSON, M., MATTSSON, L., EDWARDS, A. C., ÖBORN, I (2006):Response of soil exchangeable and crop potassium concentrations to fertilizer and cropping regimes in long-term field experiments on different soil types, Soil Use and Management 23 (1), 10-19.

- ANONYM (2006): Kalkulation im landwirtschaftlichen Betrieb, 2006
http://static.twoday.net/einhauer/files/Vorgangsweise_Kalkulationen-in-der-LW.pdf. Kalk.i.lw.Betrieb/VO/LBWLI/02.02.06. Zugriff: 14.09.2010.
- ANONYM (2007): Renewables in Global Energy Supply, An IEA Fact Sheet, International Energy Agency IEA Publications.
- ANONYM (A) (2009): Biogas Branchenzahlen 2009
[http://www.biogas.org/edcom/webfvb.nsf/id/4B580B914CAF6741C1257759003F0852/\\$file/10-07-07_Zahlen_Pressefrühstück.pdf](http://www.biogas.org/edcom/webfvb.nsf/id/4B580B914CAF6741C1257759003F0852/$file/10-07-07_Zahlen_Pressefrühstück.pdf). Zugriff: 14.09.2010.
- ANONYM (B) (2009): Directive 2009/28/EC of the European Parliament and of the Council of 23 April 2009 on the promotion of the use of energy from renewable sources and amending and subsequently repealing Directives 2001/77/EC and 2003/30/EC, Official Journal of the European Union, Publications Office.
- ARMAN, B., (2003): Die Ökobilanz zur Abschätzung von Umweltwirkungen in der Pflanzenproduktion – dargestellt anhand von Praxisversuchen zur konservierenden Bodenbearbeitung und von unterschiedlich intensiv wirtschaftenden konventionellen Betrieben, Dissertation, Universität Hohenheim.
- AUE, C., FRENZEL, D., STEPHAN, H. (1993): Untersuchungen zu Energie- und CO₂-Bilanzen beim Rapsanbau und deren Umweltaspekte, Ökofeeding-Landwirtschaftlicher Beratungsdienst GmbH.
- AUTORENKOLLEKTIV (1982): Einführung in die Methodik des Feldversuchs, VEB Deutscher Landwirtschaftsverlag, Berlin.
- BACH, M. (1987): Die potentielle Nitratbelastung des Sickerwassers durch die Landwirtschaft in der Bundesrepublik Deutschland. - Göttinger Bodenkundliche Berichte 93, 1-186.
- BARBER, S. A. (1995): Soil Nutrient Bioavailability, A Mechanistic Approach, Second Edition, John Wiley & Sons, Inc.
- BASERGA, U. (1998): Landwirtschaftliche Co-Vergärungs-Biogasanlagen, FAT-Berichte Nr. 512., 1-11, Eidg. Forschungsanstalt für Agrarwirtschaft und Landtechnik.

- BÄTZ, G., DÖRFEL, H., FUCHS, A., THOMAS, E. (1987): Pflanzenproduktion, Einführung in die Methodik des Feldversuchs, VEB Deutscher Landwirtschaftsverlag, Berlin.
- BAUER, M., POLLERT, A., KIRCHNER, B., POLZIN, J., M. (2004): Duden Wirtschaft von A bis Z., Grundlagenwissen für Schule und Studium, Beruf und Alltag. 2. Aufl. Bibliographisches Institut & F.A. Brockhaus, Mannheim.
- BAUER, U. (2007): Die Politik, der Mais und der Preisschock, Schweriner Volkszeitung, 19.09.2007.
- BECKMANN, U.; KOLBE, H. (2003): Auswirkung unterschiedlicher Bewirtschaftungsintensitäten einer sechsfeldrigen Fruchtfolge auf Ertrag und Qualität der Ernteprodukte sowie Feldebilanz und Nährstoffentwicklung im Boden, Umwelt und Extensivierung, Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft 6-8.
- BERGLUND, M., BÖRJESSON, P. (2006): Assessment of energy performance in the life-cycle of biogas production, Biomass and Bioenergy 30, 254-266.
- BLAKE, L.; JOHNSTON, A.E.; POULTON, P.R.; GOULDING, K.W.T. (2003): Changes in soil phosphorus fractions following positive and negative phosphorus balances for long periods, Plant and Soil 254 (2), 245-261.
- BLANCO-CANQUI, H., LAL, R. (2009): Crop Residue Removal Impact on Soil Productivity and Environmental Quality, Critical Reviews in Plant Sciences 28 139-163.
- BMU (2002): EEG und Biomasseverordnung auf Erfolgskurs-Bundesregierung legt Erfahrungsbericht vor, Bundesumweltministerium Berlin.
- BMU (2009): Verordnung über Anforderungen an eine nachhaltige Herstellung von flüssiger Biomasse zur Stromerzeugung (Biomassestrom-Nachhaltigkeitsverordnung - BioSt-NachV), Bundesumweltministerium Berlin.
- BOCKSTALLER, C., GIRARDIN, P., VAN DER WERF, H. M. G. (1997): Use of agro-ecological indicators for the evaluation of farming systems, European Journal of Agronomy 7, 261-270.
- BOEHMEL, C., LEWANDOWSKI, I., CLAUPEIN, W. (2008): Comparing annual and perennial energy cropping systems with different management intensities, Agricultural Systems 96, 224-236.

- BOELCKE, B. (2008):P/K-Düngung im Wintergetreideanbau, Landesforschungsanstalt für Landwirtschaft und Fischerei Mecklenburg Vorpommern, <http://lfamv.de/index.php?/content/view/full/5193>. Rev. 02.04.2008. Zugriff: 14.09.2010.
- BREITSCHUH, G., DEGNER, J., REINHOLD, G., STRÜMPFEL, J., VETTER, A. (2006): Orientierungspreise für die Bereitstellung von marktfähiger Biomasse zur energetischen Verwertung, Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft, Jena.
- BROCK, C., HOYER, U., LEITHOLD, G., HÜLSBERGEN, K.-J. (2008): Entwicklung einer praxisanwendbaren Methode der Humusbilanzierung im ökologischen Landbau, Abschlussbericht , http://orgprints.org/16447/1/16447-03OE084-uni_giessen-brock-2008-humusbilanzierung.pdf.Zugriff: 14.09.2010.
- BROUWER, F., NOWICKI, P., WOLTJER, G. (2007): Background note on Biomass production and future rural development in Europe, Does bioenergy contribute to local added value and can it further enhance future development of rural areas?, http://agrinergergy.ecologic.eu/download/background_note_workgroup1_lei.pdf. Zugriff: 14.09.2009.
- BUNDESSORTENAMT (2000):Richtlinien für die Durchführung von landwirtschaftlichen Wertprüfungen und Sortenversuchen, Landbuch Verlagsgesellschaft mbH, Hannover.
- BUNDESSORTENAMT (2008):Beschreibende Sortenliste 2008, Getreide, Mais, Ölf Früchte, Leguminosen (großkörnig), Hackfrüchte (außer Kartoffeln), Deutscher Landwirtschaftsverlag GmbH, Hannover.
- BURDIK, B., WASKOW, F.(2009): Flächenkonkurrenz zwischen Tank und Teller, Abteilung Wirtschafts- und Sozialpolitik der Friedrich-Ebert-Stiftung, <http://library.fes.de/pdf-files/wiso/06870.pdf>.Rev.2009-12-08. Zugriff: 14.09.2010
- CHRISTEN, O., O`HALLORAN-WIETHOLTZ, Z. (2002): Indicators for a Sustainable Development in Agriculture, Institute for Agriculture and Environment, European Initiative for Sustainable Development in Agriculture, Warlich Druck, Meckenheim.

- CRAMER, J., ET AL. (2006): Criteria for sustainable biomass production, Final report of the Project group 'Sustainable production of biomass', Publication of the Energy Transition Task Force, Netherlands.
- DANIEL, J., VOGT, R. (2008): Materialband B: Substrate zur Biogaserzeugung, Endbericht: Optimierung für einen nachhaltigen Ausbau der Biogaserzeugung und –nutzung in Deutschland, Forschungszentrum Jülich, Heidelberg, Leipzig, Berlin, Darmstadt.
- DE NEVE, S., SLEUTEL, S., HOFMAN, G. (2003): Carbon mineralization from composts and food industry wastes added to soil, Nutrient cycling in Agroecosystems 67, 13-20.
- DEIKE, S., PALLUTT, B., MELANDER, B., STRASSEMAYER, J., CHRISTEN, O. (2008): Long-term productivity and environmental effects of arable farming as affected by crop rotation, soil tillage intensity and strategy of pesticide use: A case-study of two long-term field experiments in Germany and Denmark, European Journal of Agronomy 29, 191-199.
- DIN ISO NORM (1996): Bodenbeschaffenheit-Bestimmung von organischem Kohlenstoff und Gesamtkohlenstoff nach trockener Verbrennung (Elementaranalyse) (ISO 10694:1995), Beuth-Verlag GmbH, Berlin.
- DIN ISO NORM (2002): Bodenbeschaffenheit- Bestimmung des Gesamtschwefels nach trockener Verbrennung (ISO15178:2000), Beuth-Verlag GmbH, Berlin.
- DLG-FUTTERWERTTABELLEN (1997):DLG-Futterwerttabellen-Wiederkäuer, Hrsg.: DLG-Verlags-GmbH, Frankfurt (M).
- DONALDSON, E., SCHILLINGER, W.F., DOFING, S. M. (2001):Straw Production and Grain Yield Relationships in Winter Wheat, Crop Science 41, 100-106.
- ECKERT, H., BREITSCHUH, G., SAUERBECK, R., (2000): Criteria and Standards for sustainable agriculture, Journal of Plant Nutrition and Soil Science 163, 337-351.
- EICHLER, B. (2004):Möglichkeiten zur Einflussnahme auf Phosphorkreisläufe für die Gestaltung nachhaltiger Bodennutzungssysteme, Habilitationsschrift, Agrar- und Umweltwissenschaftlichen Fakultät, Universität Rostock.
- ENGELS, C., (2006): Mögliche Wirkungen des Energiepflanzenanbaus auf die Humusversorgung der Böden. In: Energiefruchtfolgen, Stoffkreisläufe,

- Bodenfruchtbarkeit. Schriftenreihe des Instituts für Landwirtschaft und Umwelt Heft 13, 39-52.
- ERICSSON, K., ROSENQVIST, H., NILSSON, L. J. (2009): Energy crop production costs in the EU, *Biomass and Bioenergy* 33, 1577-1586.
- FACHAGENTUR NACHWACHSENDE ROHSTOFFE E.V., (A) (2005): Handreichung, Biogasgewinnung und -nutzung, Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR), 30-31.
- FACHAGENTUR NACHWACHSENDE ROHSTOFFE E.V., (B) (2005): Basisdaten Biogas Deutschland Stand März 2005.
- FANTOZZI, F., MASSOLI, S., MORLINO, C., BURATTI, C. (2008): Analysis of biogas yield and quality produced by anaerobic digestion of different combination of biomass and inoculum, Biomass Research Centre, Perugia (IT).
- FELLENBERG, G. (1999): Umweltbelastungen. Eine Einführung, Teubner Reihe Umwelt, Teubner Verlag Stuttgart.
- FINNERN, H., GROTTENTHALER, W., KÜHN, D. (2005): Bodenkundliche Kartieranleitung, Ad-hoc-Arbeitsgruppe Boden der Geologischen Landesämter und der Bundesanstalt für Geowissenschaft und Rohstoffe der BRD, 5. verbesserte und erweiterte Auflage, Verlag Stuttgart Schweizerbart.
- FRESCO, L. O. (2007): Biomass, food & sustainability: Is there a dilemma?, University of Amsterdam.
- FRIEDRICH, A. (1990): Der Anteil der Landwirtschaft an der Gesamtbelastung der Luft, Stoffeinträge aus der Landwirtschaft in die Atmosphäre, Vorträge und Ergebnisse des DLG Kolloquiums 3. und 4. Dezember, 5-12.
- GALLER, J. (2007): Stickstoff, Kreislauf – Düngung – Umwelt, Landwirtschaftskammer Salzburg, Betriebsentwicklung und Umwelt, Salzburger Druckerei, 1. Auflage, Salzburg.
- GEROWITT, B., (2009): Bericht, Bonitur von Halmbasis- und Wurzelpathogenen an Weizen- und Roggenpflanzen und Mykotoxinuntersuchung von Weizenkörnern im Untersuchungsjahr 2008 aus dem EvA-Fruchtfolgeversuch, Agrar- und Umweltwissenschaftliche Fakultät Universität Rostock Phytomedizin, Universität Göttingen Forschungs- und Studienzentrum Landwirtschaft und Umwelt Department für Nutzpflanzenwissenschaften – Allgemeine Pflanzenpathologie und Pflanzenschutz.

- GLEMNITZ, M. (2008). Projektinterne schriftl. Mitteilung der Standortcharakterisierung, Zentrum für Agrarlandschaftsforschung e.V.
- GRAHAM, R. L., LICHTENBERG, E., RONINGEN, V. O., SHAPOURI, H., WALSH, M. E. (1995): The Economics of Biomass Production in the United States <http://bioenergy.ornl.gov/papers/bioam95/graham3.html>. Zugriff: 14.09.2010
- GRÖBLINGHOFF, F.-F., KIEVELITZ, H. (2004): Langzeitwirkungen integrierter Pflanzenbausysteme bei praxismgerechter Bewirtschaftung sowie ökologischer und ökonomischer Bewertung <http://www3.fh-swf.de/fbaw/download/AB-Langzeitwirkungen-Heppen.pdf>. Zugriff: 14.09.2010
- GRÜNING, K., (2007): Diammonphosphat als wichtiger Baustein, Bauernzeitung 9/2007
- GUTSER, R., EBERTSEDER, T. (2006): Die Nährstoffe in Wirtschafts- und Sekundärrohstoffdüngern – ein unterschätztes Potential im Stoffkreislauf landwirtschaftlicher Betriebe. In: Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft (KTBL) (Hrsg.): Verwendung von Wirtschafts- und Sekundärrohstoffdüngern in der Landwirtschaft – Nutzen und Risiken. KTBL-Schrift 444, 7-20.
- HATI, K. M., SWARUP, A., DWIVEDI, A. K., MISRA, A. K., BANDYOPADHYAY, K. K. (2007): Changes in soil physical properties and organic carbon status at the topsoil horizon of a vertisol of central India after 28 years of continuous cropping, fertilization and manuring, Agriculture, Ecosystems and Environment 119, 127-134.
- HEIDEL, W., (2007): Der Maiszünsler in Mecklenburg Vorpommern – Befallsausbreitung und Bekämpfungsstrategien, Nachrichtenbl. Deut. Pflanzenschutzd. 59, 270-273.
- HENKE, M., (2008): Sustainability and certification of biomass and bioenergy in Germany, Europe and worldwide, Renewables Forum Germany April 22, Hannover.
- HEYLAND, K.-U. (1990): Integrierte Pflanzenproduktion, System und Organisation, Eugen Ulmer Verlag, Stuttgart.
- HEYLAND, K.-U. (1996): Allgemeiner Pflanzenbau, Eugen Ulmer Verlag, Stuttgart.

- HOPFNER-SIXT, K., AMON, T., 2007: Monitoring of Agricultural biogas plants in Austria-Mixing technology and specific values of essential process parameters, University of Natural Resources and Applied Life Sciences, Department of Sustainable Agricultural Systems, Division of Agricultural Engineering.
- <http://www.farmware.de/service/Glossar.aspx>. Zugriff: 14.09.2010.
- HÜLSBERGEN, K.-J. (2003): Entwicklung und Anwendung eines Bilanzierungsmodells zur Bewertung der Nachhaltigkeit landwirtschaftlicher Systeme, Shaker Verlag Aachen.
- INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (2007): IPCC Fourth Assessment Report – Working Group I Report on "The Physical Science Basis", <http://www.ipcc.ch/ipccreports/ar4-wg1.htm>. Zugriff: 14.09.2010.
- JANKAUSKAS, B., JANKAUSKIENE, G., SLEPETIENE, A., FULLEN, M.A., BOOTH, C.A. (2006) (A): International comparison of analytical methods of determining the soil organic matter content of Lithuanian Eutric Albeluvisols, Communications in Soil Science and Plant Analysis 37, 707–720.
- JANKAUSKAS, B., SLEPETIENE, A., JANKAUSKIENE, G., FULLEN, M.A & BOOTH, C.A. (2006) (B): A comparative study of analytical methodologies to determine the soil organic matter content of Lithuanian Eutric Albeluvisols. Geoderma 136 (3–4), 763–773.
- JESSEL, B. (2010): Bioenergie und Naturschutz –Synergien fördern, Risiken vermeiden, Fachtagung Bioenergie aus der Landschaftspflege, 9./10. März Berlin.
- JOHNSON, J. M. F., ALLMARAS, R. R., REICOSKY, D. C. (2006): Estimating source carbon from crop residues, roots and rhizodeposits using the national grain-yield database, Agronomy Journal 98, 622-636.
- JUNGK, A., CLAASSEN, N., SCHULZ, V., WENDT, J. (1993): Pflanzenverfügbarkeit der Phosphatvorräte ackerbaulich genutzter Böden. –Langfristige Feldversuche zur Nutzbarkeit des Bodenphosphors und zur Bewertung der Bodenuntersuchungen, Journal of Plant Nutrition and Soil Science 156 (5), 397-406
- KAISER, F. L. (2007): Einfluss der stofflichen Zusammensetzung auf die Verdaulichkeit nachwachsender Rohstoffe beim anaeroben Abbau in Biogasre-

- aktoren, Dissertation, Technische Universität München, Lehrstuhl für Ag-rarsystemtechnik.
- KAPE, H.-E., v. WULFFEN, U., ROSCHKE, M. (2008):Umsetzung der Düngeverordnung vom 27.Februar 2007 in Mecklenburg Vorpommern, Gemeinsame Beratungsempfehlung der Länder Brandenburg, Sachsen-Anhalt und Mecklenburg-Vorpommern, Ministerium für Landwirtschaft, Umwelt und Verbraucherschutz Mecklenburg-Vorpommern.
- KILLERMANN, B., VOIT, B., BÜTTNER, P. (2007):Brandkrankheiten bei Weizen – Erfahrungen und Ergebnisse aus der Saatgutuntersuchung und Stand der derzeitigen Diskussion, Bericht über die 58. Tagung 2007 der Vereinigung der Pflanzenzüchter und Saatgutkaufleute Österreichs, LFZ Raumberg- Gumpenstein, 20. - 22.11.2007.
- KOENIG, B., (2008):Nachhaltigkeit im organisch-chemischen Praktikum,http://www.oc-praktikum.de/de/articles/pdf/LCAMethod_de.pdf.
Zugriff: 14.09.2010.
- KOGA, N. (2008):An energy balance under a conventional crop rotation system in northern Japan: Perspectives on fuel ethanol production from sugar beet, *Agriculture, Ecosystems and Environment* 125, 101-110.
- KOGUT, B. M., FRID, A. S. (1993): Comparative evaluation of methods of determining humus concentration in soils, *Pochvovedenie* 9, 119–123.
- KÖNNECKE, G. (1967):Fruchtfolgen, VEB Landwirtschaftsverlag, Berlin.
- KÖPPEN, D., ET.AL. (2004): Bodenfruchtbarkeit im Agroökosystem, Schriftenreihe Agrarwissenschaftliche Forschungsergebnisse, Band 25, Verlag Dr. Kovač, Hamburg.
- KÖPPEN, D., KEITLINGHAUS, U. (1993): Agrarökologische Prinzipien eines umweltgerechten Pflanzenbaus, dargestellt am Beispiel der Warnowsanie- rung, *Rostocker Agrar- und Umweltwissenschaftliche Beiträge*, Heft 1.
- KTBL (2005): Gasausbeute in landwirtschaftlichen Biogasanlagen, Heft 50, 1. Auflage KTBL Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft Darmstadt.
- KUHLMANN, F., TOEWS, T. (2009): Deckungsbeitragsdefinition EvA- Deckungsbei- trag, Projektinternes Arbeitsblatt, EvA, Universität Gießen.
- KUMMER, K.-F., (2004): Flexibel auf die Witterung reagieren, *Dünger-Magazin*, Verlagsbeilage zu DLG-Mitteilungen 12/2004, 7.

- KUNTZE, H. (1990): Der Stickstoffkreislauf in der Natur, speziell in Agrarökosystemen Stoffeinträge aus der Landwirtschaft in die Atmosphäre, Vorträge und Ergebnisse des DLG Kolloquiums 3. und 4. Dezember, 51-60.
- LACKEMANN, J., 2008: Energieeinsatz und -ertrag beim Anbau von Energiepflanzen für die Biogasgewinnung- eine Untersuchung an den Fruchtfolgen des EvA- Projektes, Diplomarbeit, Leibnitz-Zentrum für Agrarlandschaftsforschung (ZALF) e.V.
- LANDESFORSCHUNGSANSTALT FÜR LANDWIRTSCHAFT UND FISCHEREI MECKLENBURG-VORPOMMERN (1997): Informationsblatt zum landwirtschaftlichen Feldversuchswesen, Landesforschungsanstalt für Landwirtschaft und Fischerei Mecklenburg-Vorpommern.
- LEHMANN, E., ZIESEMER, A., (2007): Energiepflanzen oder Marktfrüchte? Regionale Ertragsunterschiede sind von Bedeutung, Zeitschrift Mais 2007 (3), 106-108.
- LEIBLE, L. (1986): Ertragspotential von Topinambur, Zuckerhirse und Sonnenblume für die Bereitstellung fermentierbarer Zucker resp. Öl unter besonderer Berücksichtigung der N- Düngung, Diss., Universität Hohenheim.
- LEIDEL, S. (2000): N- Salden und Emissionen der klimarelevanten Spurengase Lachgas und Methan unter den Standortbedingungen Nordostdeutschlands als Indikatoren der umweltgerechten Landbewirtschaftung, Diss., Universität Rostock.
- LEITHOLD, G. (1997): The special qualities of humus and nitrogen budget in organic farming Schriftenreihen der Sächsischen Landesanstalt für Landwirtschaft, Heft 3 Berichte aus der Pflanzenproduktion, 29-33, Sächsisches Druck- und Verlagshaus GmbH, Dresden.
- LEITHOLD, G., HÜLSBERGEN, K.-J., MICHEL, D., SCHÖNMEIER, H. (1997): Humusbilanz – Methoden und Anwendung als Agrar-Umwelt-Indikator. In: Initiativen zum Umweltschutz 5, 43-54, Deutsche Bundesstiftung Umwelt, Zeller-Verlag, Osnabrück.
- LEPPIN, T. (2007): Mobilisierungspotential unterschiedlicher Pflanzen für stabile Phosphatformen im Boden, Diss. Universität Gießen.
- LETHOMÄKI, A. (2006): Biogas Production from energy crops and crop residues, Department of Biological and Environmental Science, University of Jyväskylä.

- LI, P. H., WEISER, C. J., VAN HUYSTEE, R. (1966): The relation of cold resistance to the status of phosphorus and certain metabolites in red-osier dogwood (*Cornus Stolonifera* Michx.), Department of Horticultural Science, University of Minnesota St. Paul, Plant and Cell Physiology, 7 (3), 475-484.
- LOOTSMA, A. (2006): Energiepflanzenanbau und Biogaserzeugung-eine energetische Betrachtung im Bioenergiedorf Jühnde, Diplomarbeit, Universität Kassel, Fachbereich Ökologische Agrarwissenschaften.
- LÜDDECKE, F., BAUER, U., JENTSCH, W., SCHRÖDER, G. (1990): Ackerfutter, 2. Auflage, VEB Deutscher Landwirtschaftsverlag, Berlin.
- LÜTKE-ENTRUP, N., PAHL, H., ALBRECHT, R. (2003): Fruchtfolgewert von Körnerleguminosen, UFOP-Praxisinformationen.
- MAJER, P. (2009): Biogaseinspeisung – wie Land- und Energiewirtschaft gemeinsam profitieren können, 22.01.2009 Biogas Fachtagung Offenburg.
- MANLEY, R. J., FELLER, C., SWIFT, M. J. (2007): Historical evolution of soil organic matter concepts and their relationships with the fertility and sustainability of cropping systems, *Agriculture, Ecosystems and Environment* 119 (2007), 217-233.
- MENNING, P., SCHEIL, A., (1995): Bodendeckencharaktere Ökofeld Gülzow/Mecklenburg, Mitt. Landesforschungsanstalt für Landwirtschaft und Fischerei Mecklenburg-Vorpommern, Heft 8, 1-14.
- MICHEL, V. (2008): Berichtsheft Silomais, Energiemais und Körnermais, Landesforschungsanstalt für Landwirtschaft und Fischerei Mecklenburg Vorpommern,
- MICHEL, V., PIENZ, G. (2008): Berichtsheft Landessortenversuche Winterweizen 2008, Landesforschungsanstalt für Landwirtschaft und Fischerei Mecklenburg Vorpommern,
- MICHEL, V., ZENK, A. (2010): Optimierte Einzelversuchsauswertung mit weitgehender Ausschaltung von Bodenheterogenität, Forschungsbericht Landesforschungsanstalt für Landwirtschaft und Fischerei Mecklenburg Vorpommern.
- MINISTERIUM FÜR LANDWIRTSCHAFT, UMWELT UND VERBRAUCHERSCHUTZ (2008): Besondere Ernte- und Qualitätsermittlung 2008, Abschlussbericht,

Ministerium für Landwirtschaft, Umwelt und Verbraucherschutz, Referat 320.

- MORARI, F., LUGATO, E., GIARDINI, L. (2008): Olsen phosphorus, exchangeable cations and salinity in two long-term experiments of north-eastern Italy and assessment of soil quality evolution, *Agriculture, Ecosystems and Environment* 124, 85-96.
- PAL, D. K., SRINIVASA RAO, CH. (2002): Role of Minerals in Potassium Management of Indian Soils, India Division of Soil Resource Studies, National Bureau of Soil Survey and Land Use Planning, Nagpur, Division of Crop Production, Indian Institute of Pulses Research, Kanpur.
- PETERS, W., KÖPPEL, J., (2008): Materialband J: Naturschutzfachliche Bewertung von Anbaufrüchten und -verfahren, Endbericht: Optimierung für einen nachhaltigen Ausbau der Biogaserzeugung und -nutzung in Deutschland, Forschungszentrum Jülich Heidelberg Leipzig Berlin Darmstadt.
- PETERSEN, J-E. (2008): Energy production with agricultural biomass: environmental implications and analytical challenges, *European Review of Agricultural Economics* 35 (3), 385-408
- PÖSCHL, M, WARD, S., OWENDE, P. (2010): Evaluation of energy efficiency of various biogas production and utilization pathways, *Applied Energy* 87, 3305-3321.
- RANGEL, Y. A. (2008): Quantifying Mineral Sources of Potassium in Agricultural Soils, Doctoral Thesis, Swedish university of Agricultural Sciences.
- RICHARDSON, K., STEFFEN, W., SCHELLHUBER, H. J., ALCAMO, J., BARKER, T., KAMMEN, D.M., LEEMANS, R., LIVERMAN, D., MUNASINGHE, M., OSMAN-ELASHA, B., STERN, N., WÆVER, O. (2009): CLIMAT ECHANGE Global Risks, Challenges & Decisions, COPENHAGEN 2009, 10-12 March, Second edition, University of Copenhagen, www.climatecongress.ku.dk. Rev. 16.09.2009, Zugriff: 14.09.2010.
- ROHDE, R., A. (2006): <http://www.globalwarmingart.com/>
- ROONEY, W. L., BLUMENTHAL, J., BEAN, B. MULLETT J. E. (2007): Designing sorghum as a dedicated bioenergy feedstock, *Biofuels, Bioproducts and Biorefining* 1(2), 147 – 157.

- ROY, R., N., MISRA, R., V., LESSCHEN, J., P., SMALING, E., M., (2003): Assessment of soil nutrient balance, Approaches and Methodologies, FAO Fertilizer and Plant Nutrition Bulletin -14, Food and agriculture organization of the united nations, Rome.
- RUKHOVICH, D. I., KOROLEVA, P. V., VILCHEVSKAYA, E. V., ROMANENKOV, V. A., KOLESNIKOVA, L. G. (2007): Constructing a spatially-resolved database for modelling soil carbon stocks of croplands in European Russia, Regional Environmental Change 7(2), 51-61.
- SCHATTAUER, A., WEILAND, P. (2004): Grundlagen der anaeroben Fermentation. Handreichung, Biogasgewinnung und -nutzung. Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V., 24-35.
- SCHEFFER, F., SCHACHTSCHABEL, P. (2002): Lehrbuch der Bodenkunde, 15. Auflage, Spektrum akademischer Verlag GmbH, Heidelberg.
- SCHILLING, G.; GRANSEE, A.; DEUBEL, A.; LEZOVIC, G.; RUPPEL, S. (1998): Phosphorus availability, root exudates, and microbial activity in the Rhizosphere. Z. Pflanzenernähr. Bodenk. 161, 465-478.
- SCHILLING, G. (2000): Pflanzenernährung und Düngung, Eugen Ulmer Verlag, Stuttgart.
- SCHITTENHELM, S., (2008): Projektinterne schriftl. Mitteilung der Klimatischen Wasserbilanzen, Julius Kühn-Institut, Institut für Pflanzenbau und Bodenkunde.
- SCHOLWIN, F., LIEBETRAU, J. 2009: Process monitoring based performance optimisation of biogas plants, Orbit China, http://www.orbit-online.net/orbit2009/programme/auditorium/529_Scholwin.pdf. Rev.11.12. 2009, Zugriff: 14.06.2010.
- SCHOLZ, V., HELLEBRAND, H. J., GRZYBEK, A., ROGULSKA, M. (2001): Energy Balance of solid biofuels, Institut für Agrartechnik Bornim e.V., Instytut Budownictwa, Mechanizacji i Elektryfikacji Rolnictwa,.
- SCHRÖDER, P., HERZIG, R., BOJINOV, B., RUTTENS, A., NEHNEVAJOVA, E., STAMATIADIS, S., MEMON, A., VASSILEV, A., CAVIEZEL, M., VANGRONSVELD, J. (2008): Bioenergy to Save the World, Producing novel energy plants for growth on abandoned land, Env Sci Pollut Res 15 (3) 196–204.

- SCHULZ, R.-R., SCHUMANN, W. (2003): Investigations about the reduction of nitrogen losses in succeeding crops of rapeseed, Proceedings of the 11th International Rapeseed Congress, Copenhagen 06.10.July, 943-945.
- SCHUMANN, W. (2006): Landwirtschaftliche Biogasanlagen in Mecklenburg Vorpommern, Stand und Probleme, Vortrag, Dechema Tagung: Bioenergie – Basis für eine wettbewerbsfähige und nachhaltige Landwirtschaft, 8.-9. März 2006,
- SCHWEDER, P., BOELCKE, B., (2004): Düngung, Hinweise und Richtlinien für die landwirtschaftliche Praxis, Leitfaden zur Umsetzung der Düngeverordnung, Ministerium für Ernährung, Landwirtschaft, Forsten und Fischerei Mecklenburg Vorpommern, Crivitz Druck,
- SHEPHERD, M.A., SYLVESTER-BRADLEY, R. (1996): Effect of nitrogen fertilizer applied to winter oilseed rape (*Brassica napus*) on soil mineral nitrogen after harvest and on the response of a succeeding crop of winter wheat to nitrogen fertilizer, *The Journal of Agricultural Science* 126 (01-Februar), 63-74.
- SELING, K., UBBEN, K., CHRISTEN, O. (2007): Effects of preceding crop, sowing date, N fertilization and fluquinconazole seed treatment on wheat growth, grain yield and take-all, *Journal of Plant Diseases and Protection* 114 (5), 213-220.
- SIMS, R. E. H., SCHOCK, R. N., ADEGBULULGBE, A., FENHANN, J., KONSTANTINAVICIUTE, I., MOONMAW, W., NIMIR, H. B., SCHLAMADINGER, B., TORRES-MARTINEZ, J., TURNER, C., UCHIYAMA, Y., VUORI, S. J. V., WAMUKONYA, N., ZHANG, X., (2007): Energy supply. In *Climate Change 2007, Mitigation, Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [B. Metz, O.R. Davidson, P.R. Bosch, R. Dave, L.A. Meyer (eds)], Cambridge University Press.
- SLEPETIENE, A., SLEPETYS, J., LIAUDANSKIENE, I. (2008): Standard and modified methods for soil organic carbon determination in agricultural soils, *Agronomy research* (6), 543-554.
- SMITH, P. (2004): How long before a change in soil organic carbon can be detected? *Global Change Biology* 10, 1878–1883.

- SPINK, J. H., SEMERE, T., SPARKES, D.L., WHALEY J.M. FOULKES M. J. CLARE , R.W. SCOTETZKO, H.T, R. K. (2000): Effect of sowing date on the optimum plant density of winter wheat, *Annals of applied biology* 137(2), 179-188.
- SPONAGEL, H., GROTTENTHALER, W., HARTMANN, K.-J, HARTWICH, R., JANETZKO, P., JOISTEN, H., KÜHN, D., SABEL, K.-J., TRADL,R. (2005): *Bodenkundliche Kartieranleitung*, 5. Auflage, Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Druckhaus „Thomas Münzer“ Bad Langensalza.
- STARK, C., CONDRON, L.M., STEWART, A., DI, H.J., O´CALLAGHAN, M. (2006): Effects of past and current management practices on crop yield and nitrogen leaching - a comparison of organic and conventional cropping systems, *New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science* 34 (3), 207-215
- STEIN-BACHINGER, K., BACHINGER, J., SCHMITT, L. (2004): *Nährstoffmanagement im ökologischen Landbau*, Ein Handbuch für Beratung und Praxis, Schriftreihe 423, Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V., Darmstadt.
- STEINHAUSER, H. LANGBEHN, C., PETERS U. (1989): *Einführung in die landwirtschaftliche Betriebslehre*, Band 1: Allgemeiner Teil, Eugen Ulmer Verlag, Stuttgart.
- SURENDRAN, U., MURUGAPPAN, V., BHASKARAN, A., JAGADEESWARAN, R. (2005): Nutrient Budgeting Using NUTMON-Tollbox in an Irrigated Farm of Semi-Arid Tropical Region in India-A Micro and Meso Level Modelling Study, *World Journal of Agricultural Sciences* 1 (1), 89-97.
- THAYSEN, J. (2006): Anforderungen an Lohnunternehmer zur Sicherung einer hohen Biogasausbeute, Vortrag, DELUTA Tagung 6.12-7.12 2006
- THOMAS, E. (2006): *Feldversuchswesen*, Ulmer Verlag, Stuttgart.
- TURHOLLOW, A. (1994): The economics of energy crop production, *Biomass and Bioenergy* 6 (3), 229-241.
- V. FELDE, A., (2008): Kulturen, Züchtungen und Nawaro-Fruchtfolgen zur Nutzung in Biogasanlagen, 2. Bioenergieforum Rostock, Vortrag 29.10.2008
- VDLUFA (1976): *Methodenbuch Band III, Die Untersuchung von Futtermitteln*, VDLUFA Verlag, Darmstadt.
- VDLUFA (1983): *Methodenbuch Band III, Die Untersuchung von Futtermitteln*, 3. Ergänzung, VDLUFA Verlag, Darmstadt.

- VDLUFA (2002): Methodenbuch Band I, Die Untersuchung von Böden, 3. Ergänzung, VDLUFA Verlag, Darmstadt.
- VDLUFA (2004): Standpunkt Humusbilanzierung, Methode zur Beurteilung und Bemessung der Humusversorgung von Ackerland, VDLUFA Verlag, Darmstadt.
- VETTER, A. (2003): Qualitätsanforderungen an halmgutartige Bioenergieträger hinsichtlich der energetischen Verwertung, Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft, <http://www.till.de/ainfo/pdf/gbio0403.pdf.Rev.12.05.2003>, Zugriff: 14.09.2010.
- VETTER, A., HEIERMANN M., TOEWS, T. (2009): Anbausysteme für Energiepflanzen optimierte Fruchtfolgen + effiziente Lösungen, Vetter, Heiermann, Toews, DLG-Verlag, Frankfurt (M).
- WEIBBACH, F. (2008): Zur Bewertung des Gasbildungspotentials von nachwachsenden Rohstoffen, Landtechnik 63 (6), 356-358.
- WEIBBACH, F. (2009): Ausnutzungsgrad von Nawaros bei der Biogasgewinnung, Landtechnik 64 (1), 18-21.
- WENDT, J. (1991): Wirkung von Dünger- und Bodenphosphor auf die Phosphatversorgung von Ackerkulturen - Untersuchungen an mehrjährigen Feld- und Gefäßversuchen, Dissertation, Universität Göttingen
- WILLMS, M. (2009): Standortangepasste Anbausysteme für Energiepflanzen, Ergebnisse des Verbundprojektes „Entwicklung und Vergleich von optimierten Anbausystemen für die landwirtschaftliche Produktion von Energiepflanzen unter den verschiedenen Standortbedingungen Deutschlands“, Kapitel 6.1.1 Humusbilanz, Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR).
- WILLMS, M., GLEMNITZ, M., HUFNAGEL, J. (2009): Entwicklung und Vergleich von optimierten Anbausystemen für die landwirtschaftliche Produktion von Energiepflanzen unter den verschiedenen Standortbedingungen Deutschlands (EvA), Schlussbericht zu Teilprojekt II: „Ökologische Folgewirkungen des Energiepflanzenanbaus.“, Zentrum für Agrarlandschaftsforschung e.V.
- WILLMS, M., WENKEL, K-O., HUFNAGEL, J. (2008): Zwischenbericht „Entwicklung und Vergleich von optimierten Anbausystemen für die landwirtschaftliche Produktion von Energiepflanzen unter den verschiedenen Standortbe-

- dingungen Deutschlands“, Teilprojekt II „Ökologische Folgewirkung des Energiepflanzenanbaus“, Zentrum für Agrarlandschaftsforschung e.V.
- WILLMS, M., WENKEL, K-O., HUFNAGEL, J., (2007): Entwicklung und Vergleich von optimierten Anbausystemen für die landwirtschaftliche Produktion von Energiepflanzen unter den verschiedenen Standortbedingungen Deutschlands (EvA), Zwischenbericht 2007 zu Teilprojekt II: „Ökologische Folgewirkungen des Energiepflanzenanbaus“, Zentrum für Agrarlandschaftsforschung e.V.
- WUTZ, S. (2008): Untersuchungen zur Entwicklung eines Triebkrafttests für Sorghumhirse (*Sorghum bicolor* L. Mönch), Technische Universität München.
- XIAO-TANG JU, GUANG-XI XING, XIN-PING CHEN, SHAO-LIN ZHANG, LI-JUAN ZHANG, XUE-JUN LIU, ZHEN-LING CUI, BIN YIN, PETER CHRISTIE, ZHAO-LIANG ZHU, FU-SUO ZHANG (2009): Reducing environmental risk by improving N management in intensive Chinese agricultural systems, PNAS 106 (9), 3041-3046.,
- ZACHOW, B. (1998): Institutsbericht der Forschungsgruppe Hydrologie, Institut für Angewandte Agrarökologie der Universität Rostock (Hrsg.), Jahresbericht 1997/98, 42-52.
- ZENK, A., MICHEL, V. (2006): Forschungsbericht, Verfahren zur Auswertung von Feldversuchen mit Methoden der Geoinformatik und Geostatistik, Landesforschungsanstalt für Landwirtschaft und Fischerei Mecklenburg-Vorpommern.
- ZENK, A., MICHEL, V. (2008): Ertragsniveau der LSV Landesforschungsanstalt für Landwirtschaft und Fischerei Mecklenburg Vorpommern, http://lfamv.de/index.php?/landesforschungsanstalt_fuer_landwirtschaft_und_fischerei_mv/navigation/fachinfos__1/sorten. Zugriff. 12.02.2009.
- ZINGEL, H. (2007): Explosion einer Steuer: die Mineralölsteuer seit 1950, <http://www.bwl-bote.de/20070723.htm>. Zugriff. 14.09.2010.

8 Danksagung

Mein Dank gilt dem BMELV und der Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe für die finanzielle Unterstützung dieses Projektes.

Für die kompetente Unterstützung in meiner Arbeit bedanke ich mich bei meiner Betreuerin Dr. habil. Eichler Löbermann.

Den Gutachtern danke ich für die investierte Zeit und Mühe zur Erstellung der Gutachten und für die gegebenen Hinweise.

Weiterhin möchte ich der Landesforschungsanstalt für Landwirtschaft und Fischerei Mecklenburg Vorpommern vertreten durch Prof. Gienapp, den Mitarbeitern der Betriebswirtschaft, des Sortenwesen und Pflanzenbaus für die Bereitstellung der Arbeitsmittel, der Arbeitskraft und der Versuchsfläche danken.

Herzlicher Dank gilt den Projektpartnern des Verbundprojektes "EvA" für die Zuarbeiten und die vielseitige Unterstützung.

Besonderen Dank gilt der Abteilung Nachwachsende Rohstoffe und Bioenergie der LFA, besonders den technischen Mitarbeitern Sabine Titze und Daniela Jäger für die vorbildliche, gründliche und fachgerechte Betreuung der Versuche. Weiterhin danke ich Dr. Gurgel für die jederzeit gewährte konstruktive Kritik, Geduld und Hilfestellung bei scheinbar unlösbaren Problemen.

Nicht zu Letzt möchte ich meiner Familie danken, insbesondere meiner Schwester Helena Bahrtd die mir mit ihrer Tätigkeit als Lektorin eine große Hilfe war.

Ganz besonderen Dank gilt meinem Mann Thomas der mit seiner gleichsam unendlichen Geduld meine kleineren und größeren Krisen ertrug, meinen 3 Kindern Elisa, Fiona und Theo die mit ihrem kindlichen Verständnis für die Wissenschaft eine Leichtigkeit verbreiteten die mir immer wieder neue Energie gab.

9 Erklärung

Ich erkläre, dass die vorliegende Doktorarbeit mit dem Titel:

„Beurteilung unterschiedlicher Energiefruchtfolgen hinsichtlich ihrer Nachhaltigkeit und Rentabilität bei der Rohstoffversorgung von Biogasanlagen für die Region Mecklenburg – Vorpommern“

selbstständig und ohne Benutzung anderer als der angegebenen Quellen und Hilfsmittel verfasst wurde.

Rostock, 15.09.2010

Jana Peters

ANHANG

Tabellen

Tabelle A 1: Langparzellenanlage mit Standardausgleich

R	1	1	R	R	2	2	R	R	3	3	R	R	1	1	R	R	4	4	R	R	5	5	R	R	1	1	R	R	6	6	R	R	7	7	R	R	8	8	R	R	1	1	R
R	1	1	R	R	2	2	R	R	3	3	R	R	1	1	R	R	4	4	R	R	5	5	R	R	1	1	R	R	6	6	R	R	7	7	R	R	8	8	R	R	1	1	R
R	1	1	R	R	2	2	R	R	3	3	R	R	1	1	R	R	4	4	R	R	5	5	R	R	1	1	R	R	6	6	R	R	7	7	R	R	8	8	R	R	1	1	R
R	1	1	R	R	2	2	R	R	3	3	R	R	1	1	R	R	4	4	R	R	5	5	R	R	1	1	R	R	6	6	R	R	7	7	R	R	8	8	R	R	1	1	R

Prüfglied 1 = Fruchtfolge 1 = Standardausgleich, Prüfglied = 6m*40 m, Parzelle = 1,50m*7m

Tabelle A 2: Agrotechnische Maßnahmen am Standort Gülzow

Fruchtfolge	Fruchtart	agrotechnische Maßnahmen	Düngemittel	Aufwand		PSM	Aufwand		Saatgut	Menge	
1	(1) S.Gerste, Ganzpflanze, 2005	(1) 30.03.2005: Pflügen Mit Packer									
		(2) 31.03.2005: Saatbettkombination,									
		(3) 01.04.2005: Sämaschine,							SG Djamila	151,3	kg
		(4) 13.04.2005: Dünger streuen,		KAS	100	kg N/ha					
		(5) 25.05.2005: Pflanzenschutzmittel ausbringen,					U 46 Combi M-Fluid	1,5	L		
		(6) 30.06.2005: GPS Ernte (Häckseln),									

Fruchtfolge	Fruchtart	agrotechnische Maßnahmen	Düngemittel	Aufwand		PSM	Aufwand		Saatgut	Menge	
1	(2) Ölrettich, Ganzpflanze, 2005	(1) 05.08.2005: Grubber, Kurz-,									
		(2) 16.08.2005: Saatbettkombination,									
		(3) 16.08.2005: Sämaschine,							Ölr.Rev iso	24,60	kg
		(4) 17.08.2005: Cambridgewalze,									
		(5) 07.11.2005: GPS Ernte (Häckseln),									
	(3) Mais, Ganzpflanze, 2006	(1) 28.04.2006: Saatbettkombination,									
		(2) 04.05.2006: Einzelkornsaat,							M Atletico	2,00	Einheiten
		(3) 04.05.2006: Unterfußdünger kostenlos mitausgebracht	DAP	18	kg N/ha						
		(4) 08.05.2006: Dünger streuen,	KAS	120	kg N/ha						
		(5) 06.06.2006: Pflanzenschutzmittel ausbringen,				Callisto	0,8	L			
						Gardo Gold	3	L			
		(6) 19.09.2006: GPS Ernte (Häckseln),									

Fruchtfolge	Fruchtart	agrotechnische Maßnahmen	Düngemittel	Aufwand		PSM	Aufwand		Saatgut	Menge	
1	(4) W.Triticale, Ganzpflanze, 2007	(1) 25.09.2006: Fräse,									
		(2) 25.09.2006: Egge, Scheiben-,									
		(3) 27.09.2006: Saatbettkombi. & Sämaschine,							WT Benetto	142,00	kg
		(4) 25.10.2006: Pflanzenschutzmittel ausbringen,				Malibu	4	L			
		(5) 08.03.2007: Dünger streuen,	ASS	80	kg N/ha						
		(6) 26.03.2007: Pflanzenschutzmittel ausbringen,				CCC 720	1,5	L			
		(7) 28.03.2007: Dünger streuen,	KAS	80	kg N/ha						
		(8) 20.06.2007: GPS Ernte (Häckseln),									
	(5) Zuckerhirse, Ganzpflanze, 2007	(1) 06.07.2007: Fräsen,									
		(2) 06.07.2007: Saatbettkombination,									
		(3) 06.07.2007: Sämaschine,							ZH	7,90	kg
		(4) 26.07.2007: Dünger streuen,	KAS	120	kg N/ha				Super Sile 18		
		(5) 10.10.2007: GPS Ernte (Häckseln),									

Fruchtfolge	Fruchtart	agrotechnische Maßnahmen	Düngemittel	Aufwand		PSM	Aufwand		Saatgut	Menge		
1	(6) W.Weizen, Korn, 2008	(1) 15.10.2007: Fräse,										
		(2) 15.10.2007: Egge, Scheiben-,										
		(3) 15.10.2007: Pflügen OHNE Packer,										
		(4) 15.10.2007: Saatbettkombination,										
		(5) 15.10.2007: Sämaschine,							WW Toras	203,44	kg	
		(6) 25.10.2007: Pflanzenschutzmittel ausbringen,					Malibu	4	L			
		(7) 11.03.2008: Dünger streuen,	ASS	80	kg N/ha							
		(8) 01.04.2008: Pflanzenschutzmittel ausbringen,					CCC 720	1,4	L			
		(9) 10.04.2008: Dünger streuen,	KAS	60	kg N/ha							
		(10) 16.04.2008: Pflanzenschutzmittel ausbringen,					Bravo 500	1	L			
		(11) 24.04.2008: Pflanzenschutzmittel ausbringen,					Input	1	L			
		(12) 20.05.2008: Pflanzenschutzmittel ausbringen,					Moddus	0,3	L			
							Champion	0,9	L			
					Diamant	0,9	L					

Fruchtfolge	Fruchtart	agrotechnische Maßnahmen	Düngemittel	Aufwand		PSM	Aufwand		Saatgut	Menge	
1		(13) 02.06.2008: Dünger streuen,	KAS	50	kg N/ha						
		(14) 31.07.2008: Mähdrusch (Getreide, Raps)									
2	(1) Sudangras, Ganzpflanze, 2005	(1) 30.03.2005: Pflügen MIT Packer,									
		(2) 31.03.2005: Saatbettkombination,									
		(3) 18.05.2005: Sämaschine,						Su.Gr Susu	25,00	kg	
		(4) 06.07.2005: Dünger streuen,	KAS	120	kg N/ha						
		(5) 23.08.2005: GPS Ernte (Häckseln),									
	(2) W.Roggen, Ganzpflanze, 2006	(1) 26.08.2005: Grubber, Flügelschar-,									
		(2) 05.09.2005: Pflügen MIT Packer,									
		(3) 05.09.2005: Saatbettkombination,									
		(4) 05.09.2005: Sämaschine,						WRVi- tallo	136,00	kg	
	(5) 28.09.2005: Dünger streuen,	KAS	30	kg N/ha							
	(6) 03.04.2006: Dünger streuen,	KAS	90	kg N/ha							
	(7) 11.05.2006: GPS Ernte (Häckseln),										

Fruchtfolge	Fruchtart	agrotechnische Maßnahmen	Düngemittel	Aufwand		PSM	Aufwand		Saatgut	Menge	
2	(3) Mais, Ganzpflanze, 2006	(1) 15.05.2006: Fräse,									
		(2) 16.05.2006: Einzelkornsaat,						M Atletico	2,00	Einheiten	
		(3) 16.05.2006: Unterfußdünger kostenlos mitausgebracht,	DAP	18	kg N/ha						
		(4) 19.05.2006: Dünger streuen,	KAS	120	kg N/ha						
		(5) 16.06.2006: Pflanzenschutzmittel ausbringen,				Callisto	0,8	L			
						Gardo Gold	3	L			
		(6) 19.09.2006: GPS Ernte (Häckseln),									
	(4) W.Triticale, Korn, 2007	(1) 25.09.2006: Fräse,									
		(2) 25.09.2006: Egge, Scheiben-,									
		(3) 27.09.2006: Saatbettkombi. & Sämaschine,							WTBen etto	142,00	kg
		(4) 25.10.2006: Pflanzenschutzmittel ausbringen,				Malibu	4	L			
		(5) 08.03.2007: Dünger streuen,	ASS	80	kg N/ha						
		(6) 26.03.2007: Pflanzenschutzmittel ausbringen,				CCC 720	1,5	L			
		(7) 28.03.2007: Dünger streuen,	KAS	80	kg N/ha						

Fruchtfolge	Fruchtart	agrotechnische Maßnahmen	Düngemittel	Aufwand		PSM	Aufwand		Saatgut	Menge	
2		(8) 02.04.2007: Pflanzenschutzmittel ausbringen,				Juwel Forte	1,2	L			
		(9) 15.05.2007: Pflanzenschutzmittel ausbringen,				Diamant	1,8	L			
		(10) 02.08.2007: Mähdrusch (Getreide, Raps, Mais etc.),									
	(5) W.Weizen, Korn, 2008	(1) 22.09.2007: Fräse,									
		(2) 25.09.2007: Egge, Scheiben-,									
		(3) 25.09.2007: Pflügen OHNE Packer,									
		(4) 04.10.2007: Saatbettkombination,									
		(5) 04.10.2007: Sämaschine,							WW Toras	152,80	kg
		(6) 25.10.2007: Pflanzenschutzmittel ausbringen,				Malibu	4	L			
		(7) 11.03.2008: Dünger streuen,	ASS	80	kg N/ha						
		(8) 01.04.2008: Pflanzenschutzmittel ausbringen,				CCC 720	1,4	L			
		(9) 10.04.2008: Dünger streuen,	KAS	60	kg N/ha						
		(10) 16.04.2008: Pflanzenschutzmittel ausbringen,				Bravo 500	1	L			
					Input	1	L				

Fruchtfolge	Fruchtart	agrotechnische Maßnahmen	Düngemittel	Aufwand		PSM	Aufwand		Saatgut	Menge	
2		(11) 24.04.2008: Pflanzenschutzmittel ausbringen,				Moddus	0,3	L			
		(12) 20.05.2008: Pflanzenschutzmittel ausbringen,				Champion	0,9	L			
						Diamant	0,9	L			
		(13) 02.06.2008: Dünger streuen,	KAS	50	kg N/ha						
		(14) 31.07.2008: Mähdrusch (Getreide, Raps, Mais etc.),									
3	(1) Mais, Ganzpflanze, 2005	(1) 30.03.2005: Pflügen MIT Packer,									
		(2) 31.03.2005: Saatbettkombination,									
		(3) 28.04.2005: Einzelkornsaat,							M Atletico	2,00	Einheiten
		(4) 28.04.2005: Unterfußdünger kostenlos mitgebracht,	DAP	18	kg N/ha						
		(5) 03.05.2005: Dünger streuen,	KAS	120	kg N/ha						
		(6) 02.06.2005: Pflanzenschutzmittel ausbringen,				Callisto	0,8	L			
						Gardo Gold	3	L			
		(7) 19.09.2005: GPS Ernte (Häckseln),									

Fruchtfolge	Fruchtart	agrotechnische Maßnahmen	Düngemittel	Aufwand		PSM	Aufwand		Saatgut	Menge		
3	(2) W.Roggen, Ganzpflanze, 2006	(1) 22.09.2005: Grubber, Flügelschar,										
		(2) 29.09.2005: Pflügen MIT Packer,										
		(3) 07.10.2005: Saatbettkombi. & Sämaschine,							WRVitallo	160,00	kg	
		(4) 03.04.2006: Dünger streuen,	KAS	90	kg N/ha							
		(5) 11.05.2006: GPS Ernte (Häckseln),										
	(3) Sudangras, Ganzpflanze, 2006	(1) 12.05.2006: Pflanzenschutzmittel ausbringen,					Glyphogan	5	L			
		(2) 19.05.2006: Egge, Kreisel,										
		(3) 15.06.2006: Saatbettkombi. & Sämaschine,								Su.Gr Susu	30,00	kg
		(4) 06.07.2006: Dünger streuen,	KAS	120	kg N/ha							
		(5) 18.09.2006: GPS Ernte (Häckseln),										
	(4) W.Triticale, Ganzpflanze, 2007	(1) 25.09.2006: Fräse,										
		(2) 25.09.2006: Egge, Scheiben-,										
		(3) 27.09.2006: Saatbettkombi. & Sämaschine,								WTBen etto	142,00	kg
		(4) 25.10.2006: Pflanzenschutzmittel ausbringen,					Malibu	4	L			

Fruchtfolge	Fruchtart	agrotechnische Maßnahmen	Düngemittel	Aufwand		PSM	Aufwand		Saatgut	Menge		
3		(5) 08.03.2007: Dünger streuen,	ASS	80	kg N/ha							
		(6) 26.03.2007: Pflanzenschutzmittel ausbringen,				CCC 720	1,5	L				
		(7) 28.03.2007: Dünger streuen,	KAS	80	kg N/ha							
		(8) 20.06.2007: GPS Ernte (Häckseln),										
	(5) Einj. Weidelgras, Ganzpflanze, 2007	(1) 06.07.2007: Fräse,										
		(2) 06.07.2007: Saatbettkombination,										
		(3) 06.07.2007: Sämaschine,							E. Weidel	30,00	kg	
		(4) 26.07.2007: Dünger streuen,	KAS	60	kg N/ha				Liquattro			
		(5) 13.09.2007: Grashäckseln,										
	(6) W.Weizen, Korn, 2008	(1) 22.09.2007: Fräse,										
		(2) 25.09.2007: Egge, Scheiben-,										
		(3) 25.09.2007: Pflügen OHNE Packer,										
		(4) 04.10.2007: Saatbettkombination,										
	(5) 04.10.2007: Sämaschine,							WW Toras	152,80	kg		

Fruchtfolge	Fruchtart	agrotechnische Maßnahmen	Düngemittel	Aufwand		PSM	Aufwand		Saatgut	Menge	
3		(6) 25.10.2007: Pflanzenschutzmittel ausbringen,				Malibu	4	L			
		(7) 11.03.2008: Dünger streuen,	ASS	80	kg N/ha						
		(8) 01.04.2008: Pflanzenschutzmittel ausbringen,				CCC 720	1,4	L			
		(9) 10.04.2008: Dünger streuen,	KAS	60	kg N/ha						
		(10) 16.04.2008: Pflanzenschutzmittel ausbringen,				Bravo 500	1	L			
						Input	1	L			
		(11) 24.04.2008: Pflanzenschutzmittel ausbringen,				Moddus	0,3	L			
		(12) 20.05.2008: Pflanzenschutzmittel ausbringen,				Champion	0,9	L			
						Diamant	0,9	L			
		(13) 02.06.2008: Dünger streuen,	KAS	50	kg N/ha						
		(14) 31.07.2008: Mähdrusch (Getreide, Raps, Mais etc.),									
	4	(1) S.Gerste, Ganzpflanze, 2005	(1) 30.03.2005: Pflügen MIT Packer,								
		(2) 31.03.2005: Saatbettkombination,									

Fruchtfolge	Fruchtart	agrotechnische Maßnahmen	Düngemittel	Aufwand		PSM	Aufwand		Saatgut	Menge	
4		(3) 01.04.2005: Saatbettkombi. & Sämaschine,							SG Djamila	151,30	kg
		(4) 13.04.2005: Dünger streuen,	KAS	100	kg N/ha						
		(5) 30.06.2005: GPS Ernte (Häckseln),									
	(2) Klee gras, Ganzpflanze, 2005	(1) 01.04.2005: Untersaat kostenlos mitausbringen,							Klee gras	30,00	kg
									Maro, Mars		
	(2) Klee gras, Ganzpflanze, 2006	(1) 22.05.2006: Grashäckseln,							Paulita, Sirius		
		(2) 24.05.2006: Dünger streuen,	60er Kali	150	kg K/ha						
			KAS	80	kg N/ha						
		(3) 26.06.2006: Grashäckseln,									
		(4) 12.07.2006: Dünger streuen,	60er Kali	60	kg K/ha						
			ASS	50	kg N/ha						
		(5) 19.09.2006: Grashäckseln,									
	(2) Klee gras, Ganzpflanze, 2007	(1) 08.03.2007: Dünger streuen,	ASS	50	kg N/ha						
		(2) 15.05.2007: Grashäckseln,									
		(3) 21.05.2007: Dünger streuen,	60er Kali	90	kg K/ha						
		KAS	80	kg N/ha							

Fruchtfolge	Fruchtart	agrotechnische Maßnahmen	Düngemittel	Aufwand		PSM	Aufwand		Saatgut	Menge	
4		(4) 04.07.2007: Grashäckseln,									
	(3) W.Weizen, Korn, 2008	(1) 22.09.2007: Fräse,									
		(2) 25.09.2007: Egge, Scheiben-,									
		(3) 25.09.2007: Pflügen OHNE Packer,									
		(4) 04.10.2007: Saatbettkombination,									
		(5) 04.10.2007: Sämaschine,							WW Toras	152,80	kg
		(6) 25.10.2007: Pflanzenschutzmittel ausbringen,				Malibu	4	L			
		(7) 11.03.2008: Dünger streuen,	ASS	80	kg N/ha						
		(8) 01.04.2008: Pflanzenschutzmittel ausbringen,				CCC 720	1,4	L			
		(9) 10.04.2008: Dünger streuen,	KAS	60	kg N/ha						
		(10) 16.04.2008: Pflanzenschutzmittel ausbringen,				Bravo 500	1	L			
						Input	1	L			
		(11) 24.04.2008: Pflanzenschutzmittel ausbringen,				Moddus	0,3	L			
	(12) 20.05.2008: Pflanzenschutzmittel ausbringen,				Champion Diamant	0,9 0,9	L L				

Fruchtfolge	Fruchtart	agrotechnische Maßnahmen	Düngemittel	Aufwand		PSM	Aufwand		Saatgut	Menge	
4		(13) 02.06.2008: Dünger streuen,	KAS	50	kg N/ha						
		(14) 31.07.2008: Mähdrusch (Getreide, Raps, Mais etc.),									
5	(1) Hafersortenmischung, Ganzpflanze, 2005	(1) 30.03.2005: Pflügen MIT Packer,									
		(2) 31.03.2005: Saatbettkombination,									
		(3) 01.04.2005: Saatbettkombi. & Sämaschine,							H Freddy	70,00	kg
		(4) 13.04.2005: Dünger streuen,	KAS	100	kg N/ha				Dominik	70,00	kg
		(5) 25.05.2005: Pflanzenschutzmittel ausbringen,				U 46 Combi M-Fluid	1,5	L			
		(6) 30.06.2005: GPS Ernte (Häckseln),									
	(2) W.Triticale, Ganzpflanze, 2006	(1) 06.10.2005: Fräsen,									
		(2) 07.10.2005: Saatbettkombi. & Sämaschine,							WTBenetto	150,40	kg
		(3) 03.04.2006: Dünger streuen,	KAS	80	kg N/ha						
		(4) 08.05.2006: Dünger streuen,	KAS	80	kg N/ha						
	(5) 26.06.2006: GPS Ernte (Häckseln),										

Fruchtfolge	Fruchtart	agrotechnische Maßnahmen	Düngemittel	Aufwand		PSM	Aufwand		Saatgut	Menge	
5	(3) W.Raps, Korn, 2007	(1) 06.09.2006: Pflügen OHNE Packer,									
		(2) 06.09.2006: Saatbettkombination,									
		(3) 06.09.2006: Sämaschine,							WRa Trabant	3,04	kg
		(4) 11.09.2006: Pflanzenschutzmittel ausbringen,				Butisan Top	2	L			
		(5) 10.10.2006: Pflanzenschutzmittel ausbringen,				Folicur	0,5	L			
		(6) 08.03.2007: Dünger streuen,	ASS	100	kg N/ha						
		(7) 28.03.2007: Dünger streuen,	KAS	100	kg N/ha						
		(8) 03.04.2007: Pflanzenschutzmittel ausbringen,				Reldan 22	1,5	L			
		(9) 13.04.2007: Pflanzenschutzmittel ausbringen,				Biscaya	0,3	L			
		(10) 25.04.2007: Pflanzenschutzmittel ausbringen,				Fastac Forst	0,1	L			
		(11) 18.07.2007: Mähdrusch (Getreide, Raps, Mais etc.),									
(4) W.Weizen, Korn, 2008	(1) 22.09.2007: Fräse,										
	(2) 25.09.2007: Egge, Scheiben-,										
	(3) 25.09.2007: Pflügen OHNE Packer,										

Fruchtfolge	Fruchtart	agrotechnische Maßnahmen	Düngemittel	Aufwand		PSM	Aufwand		Saatgut	Menge	
5		(4) 04.10.2007: Saatbettkombination,									
		(5) 04.10.2007: Sämaschine,							WW Toras	152,80	kg
		(6) 25.10.2007: Pflanzenschutzmittel ausbringen,				Malibu	4	L			
		(7) 11.03.2008: Dünger streuen,	ASS	80	kg N/ha						
		(8) 01.04.2008: Pflanzenschutzmittel ausbringen,				CCC 720	1,4	L			
		(9) 10.04.2008: Dünger streuen,	KAS	60	kg N/ha						
		(10) 16.04.2008: Pflanzenschutzmittel ausbringen,				Bravo 500	1	L			
						Input	1	L			
		(11) 24.04.2008: Pflanzenschutzmittel ausbringen,				Moddus	0,3	L			
		(12) 20.05.2008: Pflanzenschutzmittel ausbringen,				Champion	0,9	L			
						Diamant	0,9	L			
		(13) 02.06.2008: Dünger streuen,	KAS	50	kg N/ha						
		(14) 31.07.2008: Mähdrusch (Getreide, Raps, Mais etc.),									

Fruchtfolge	Fruchtart	agrotechnische Maßnahmen	Düngemittel	Aufwand		PSM	Aufwand		Saatgut	Menge	
6	(1) Mais, Ganzpflanze, 2005	(1) 30.03.2005: Pflügen MIT Packer,									
		(2) 31.03.2005: Saatbettkombination,									
		(3) 28.04.2005: Einzelkornsaat,							M Atletico	2,00	Einheiten
		(4) 28.04.2005: Unterfußdünger kostenlos mitausgebracht,	DAP	18	kg N/ha						
		(5) 03.05.2005: Dünger streuen,	KAS	120	kg N/ha						
		(6) 02.06.2005: Pflanzenschutzmittel ausbringen,				Callisto	0,8	L			
						Gardo Gold	3	L			
		(7) 19.09.2005: GPS Ernte (Häckseln),									
	(2) Gerstgras, Ganzpflanze, 2006	(1) 22.09.2005: Grubber, Flügelschar-,									
		(2) 19.04.2006: Saatbettkombination,									
		(3) 19.04.2006: Sämaschine,							SG Djamila	50,00	kg
		(4) 08.05.2006: Dünger streuen,	KAS	100	kg N/ha				W. Weidel		
									DSV 2051	40,00	kg

Fruchtfolge	Fruchtart	agrotechnische Maßnahmen	Düngemittel	Aufwand		PSM	Aufwand		Saatgut	Menge	
6		(5) 03.07.2006: GPS Ernte (Häckseln),									
	(3) W.Raps, Korn, 2007	(1) 28.08.2006: Mulchen,									
		(2) 06.09.2006: Pflügen OHNE Packer,									
		(3) 06.09.2006: Saatbettkombination,									
		(4) 06.09.2006: Sämaschine,							WRa Trabant	3,04	kg
		(5) 11.09.2006: Pflanzenschutzmittel ausbringen,					Butisan Top	2	L		
		(6) 10.10.2006: Pflanzenschutzmittel ausbringen,					Folicur	0,5	L		
		(7) 08.03.2007: Dünger streuen,		ASS	100	kg N/ha					
		(8) 28.03.2007: Dünger streuen,		KAS	100	kg N/ha					
		(9) 03.04.2007: Pflanzenschutzmittel ausbringen,					Reldan 22	1,5	L		
		(10) 13.04.2007: Pflanzenschutzmittel ausbringen,					Biscaya	0,3	L		
		(11) 25.04.2007: Pflanzenschutzmittel ausbringen,					Fastac Forst	0,1	L		
		(12) 18.07.2007: Mähdrusch (Getreide, Raps, Mais etc.									

Fruchtfolge	Fruchtart	agrotechnische Maßnahmen	Düngemittel	Aufwand		PSM	Aufwand		Saatgut	Menge	
6	(4) W.Weizen, Korn, 2008	(1) 22.09.2007: Fräse,									
		(2) 25.09.2007: Egge, Scheiben-,									
		(3) 25.09.2007: Pflügen OHNE Packer,									
		(4) 04.10.2007: Saatbettkombination,									
		(5) 04.10.2007: Sämaschine,							WW Toras	152,80	kg
		(6) 25.10.2007: Pflanzenschutzmittel ausbringen,				Malibu	4	L			
		(7) 11.03.2008: Dünger streuen,	ASS	80	kg N/ha						
		(8) 01.04.2008: Pflanzenschutzmittel ausbringen,				CCC 720	1,4	L			
		(9) 10.04.2008: Dünger streuen,	KAS	60	kg N/ha						
		(10) 16.04.2008: Pflanzenschutzmittel ausbringen,				Bravo 500 Input	1 1	L L			
		(11) 24.04.2008: Pflanzenschutzmittel ausbringen,				Moddus	0,3	L			
		(12) 20.05.2008: Pflanzenschutzmittel ausbringen,				Champion	0,9	L			
						Diamant	0,9	L			
	(13) 02.06.2008: Dünger streuen,	KAS	50	kg N/ha							

Fruchtfolge	Fruchtart	agrotechnische Maßnahmen	Düngemittel	Aufwand		PSM	Aufwand		Saatgut	Menge	
6		(14) 31.07.2008: Mähdrusch (Getreide, Raps, Mais etc.),									
7	(1) Mais, Ganzpflanze, 2005	(1) 30.03.2005: Pflügen MIT Packer,									
		(2) 31.03.2005: Saatbettkombination,									
		(3) 28.04.2005: Einzelkornsaat,							M Atletico	2,00	Einheiten
		(4) 28.04.2005: Unterfußdünger kostenlos mitausgebracht,	DAP	18	kg N/ha						
		(5) 03.05.2005: Dünger streuen,	KAS	120	kg N/ha						
		(6) 02.06.2005: Pflanzenschutzmittel ausbringen,				Callisto	0,8	L			
						Gardo Gold	3	L			
		(7) 19.09.2005: GPS Ernte (Häckseln),									
		(2) W.Roggen, Ganzpflanze, 2006	(1) 22.09.2005: Grubber, Flügelschar,								
		(2) 29.09.2005: Pflügen MIT Packer,									
		(3) 07.10.2005: Saatbettkombi. & Sämaschine,							WR Vitallo	160,00	kg
		(4) 03.04.2006: Dünger streuen,	KAS	90	kg N/ha						

Fruchtfolge	Fruchtart	agrotechnische Maßnahmen	Düngemittel	Aufwand		PSM	Aufwand		Saatgut	Menge	
7		(5) 11.05.2006: GPS Ernte (Häckseln),									
	(3) Welsches Weidelgras, Ganzpflanze, 2006	(1) 12.05.2006: Pflanzenschutzmittel ausbringen,				Glyphogan	5	L			
		(2) 19.05.2006: Saatbettkombination,									
		(3) 19.05.2006: Egge, Kreisel,									
		(4) 22.05.2006: Sämaschine,							W. Weidel		
		(5) 16.06.2006: Dünger streuen,	60er Kali KAS	150 100	kg K/ha kg N/ha				DSV20 51	40,00	kg
		(6) 25.09.2006: Grashäckseln,									
	(3) Welsches Weidelgras, Ganzpflanze, 2007	(1) 08.03.2007: Dünger streuen,	ASS	80	kg N/ha						
		(2) 15.05.2007: Grashäckseln,									
		(3) 21.05.2007: Dünger streuen,	60er Kali KAS	90 80	kg K/ha kg N/ha						
		(4) 04.07.2007: Grashäckseln,									
		(5) 06.07.2007: Dünger streuen,	KAS	60	kg N/ha						
		(6) 01.08.2007: Grashäckseln,									

Fruchtfolge	Fruchtart	agrotechnische Maßnahmen	Düngemittel	Aufwand		PSM	Aufwand		Saatgut	Menge	
7	(4) W.Weizen, Korn, 2008	(1) 22.09.2007: Fräse,									
		(2) 25.09.2007: Egge, Scheiben-,									
		(3) 25.09.2007: Pflügen OHNE Packer,									
		(4) 04.10.2007: Saatbettkombination,									
		(5) 04.10.2007: Sämaschine,							WW Toras	152,80	kg
		(6) 25.10.2007: Pflanzenschutzmittel ausbringen,				Malibu	4	L			
		(7) 11.03.2008: Dünger streuen,	ASS	80	kg N/ha						
		(8) 01.04.2008: Pflanzenschutzmittel ausbringen,				CCC 720	1,4	L			
		(9) 10.04.2008: Dünger streuen,	KAS	60	kg N/ha						
		(10) 16.04.2008: Pflanzenschutzmittel ausbringen,				Bravo 500 Input	1 1	L L			
		(11) 24.04.2008: Pflanzenschutzmittel ausbringen,				Moddus	0,3	L			
		(12) 20.05.2008: Pflanzenschutzmittel ausbringen,				Champion	0,9	L			
						Diamant	0,9	L			
	(13) 02.06.2008: Dünger streuen,	KAS	50	kg N/ha							

Fruchtfolge	Fruchtart	agrotechnische Maßnahmen	Düngemittel	Aufwand		PSM	Aufwand		Saatgut	Menge	
7		(14) 31.07.2008: Mähdrusch (Getreide, Raps, Mais etc.),									
8	(1) S.RoggenS.Triticale, Ganzpflanze, 2005	(1) 30.03.2005: Pflügen MIT Packer,									
		(2) 31.03.2005: Saatbettkombination,									
		(3) 01.04.2005: Sämaschine,							SR Ovid	38,00	kg
		(4) 13.04.2005: Dünger streuen,	KAS	100	kg N/ha				ST Legalo	38,00	kg
		(5) 25.05.2005: Pflanzenschutzmittel ausbringen,				U 46 Combi M-Fluid	1,5	L			
	(2) W.Raps, Korn, 2006	(6) 22.06.2005: GPS Ernte (Häckseln),									
		(1) 05.08.2005: Grubber, Flügelschar-,									
		(2) 16.08.2005: Saatbettkombination,									
		(3) 16.08.2005: Sämaschine,							WRa Digger	3,40	kg
		(4) 17.08.2005: Cambridgewalze,									
		(5) 12.10.2005: Pflanzenschutzmittel ausbringen,				Folicur	0,5	L			
	(6) 03.04.2006: Dünger streuen,	ASS	100	kg N/ha							

Fruchtfolge	Fruchtart	agrotechnische Maßnahmen	Düngemittel	Aufwand		PSM	Aufwand		Saatgut	Menge		
8		(7) 27.04.2006: Pflanzenschutzmittel ausbringen,				Fusilade MAX	2	L				
		(8) 02.05.2006: Pflanzenschutzmittel ausbringen,				Karate mit Zeon Technologie	0,1	L				
		(9) 08.05.2006: Dünger streuen,	KAS	100	kg N/ha							
		(10) 31.07.2006: Mähdrusch (Getreide, Raps, Mais etc.),										
	(3) W.Weizen, Korn, 2007	(1) 25.09.2006: Egge, Kreisel,										
		(2) 25.09.2006: Saatbettkombination,										
		(3) 27.09.2006: Sämaschine,								WW Tommi	142,40	kg
		(4) 25.10.2006: Pflanzenschutzmittel ausbringen,				Malibu	4	L				
		(5) 08.03.2007: Dünger streuen,	ASS	80	kg N/ha							
		(6) 16.03.2007: Pflanzenschutzmittel ausbringen,				CCC 720	1	L				
		(7) 28.03.2007: Dünger streuen,	KAS	60	kg N/ha							
		(8) 02.04.2007: Pflanzenschutzmittel ausbringen,				Input	1	L				
	(9) 15.05.2007: Pflanzenschutzmittel ausbringen,				Champion Diamant	0,9	L					

Fruchtfolge	Fruchtart	agrotechnische Maßnahmen	Düngemittel	Aufwand		PSM	Aufwand		Saatgut	Menge		
8		(9) 15.05.2007: Pflanzenschutzmittel ausbringen,				Moddus	0,3	L				
		(10) 21.05.2007: Dünger streuen,	KAS	60	kg N/ha							
		(11) 02.08.2007: Mähdrusch (Getreide, Raps, Mais etc.),										
	(4) W.Weizen, Korn, 2008	(1) 22.09.2007: Fräse,										
		(2) 25.09.2007: Egge, Scheiben-,										
		(3) 25.09.2007: Pflügen OHNE Packer,										
		(4) 04.10.2007: Saatbettkombination,										
		(5) 04.10.2007: Sämaschine,								WW Toras	152,80	kg
		(6) 25.10.2007: Pflanzenschutzmittel ausbringen,					Malibu	4	L			
		(7) 11.03.2008: Dünger streuen,		ASS	80	kg N/ha						
		(8) 01.04.2008: Pflanzenschutzmittel ausbringen,					CCC 720	1,4	L			
		(9) 10.04.2008: Dünger streuen,		KAS	60	kg N/ha						
		(10) 16.04.2008: Pflanzenschutzmittel ausbringen,					Bravo 500	1	L			
						Input	1	L				

Fruchtfolge	Fruchtart	agrotechnische Maßnahmen	Düngemittel	Aufwand		PSM	Aufwand		Saatgut	Menge	
8		(11) 24.04.2008: Pflanzenschutzmittel ausbringen,				Moddus	0,3	L			
		(12) 20.05.2008: Pflanzenschutzmittel ausbringen,				Champion	0,9	L			
						Diamant	0,9	L			
		(13) 02.06.2008: Dünger streuen,	KAS	50	kg N/ha						
		(14) 31.07.2008: Mähdrusch (Getreide, Raps, Mais etc.),									

Tabelle A 3: Besonderheiten agrotechnischer Maßnahmen ausgewählter Kulturarten

Fruchtart	Agrotechnische Maßnahme
Mais Zweitkultur	Mulchsaat nach Winterroggenernte
Sorghumhirse Zweitkultur	2006 Round up vor Auflauf 2007 Mulchsaat mit PSM nach Auflauf

Tabelle A 4: Aufgangsbonituren Winterungen 2007

Fruchtfolge	Fruchtart	Standardausgleich	Wiederholung	Bestandesdichte			Mängelbonitur	
				Datum	Wert	Einheit	Wert	Einheit
1	WW	1	A	08.11.2007	294	Pfl./m ²	3	BSA Note
1	WW	1	B	08.11.2007	350	Pfl./m ²	2	BSA Note
1	WW	1	C	08.11.2007	321	Pfl./m ²	2	BSA Note
1	WW	1	D	08.11.2007	378	Pfl./m ²	1	BSA Note
1	WW	2	A	08.11.2007	328	Pfl./m ²	2	BSA Note
1	WW	2	B	08.11.2007	337	Pfl./m ²	2	BSA Note
1	WW	2	C	08.11.2007	306	Pfl./m ²	3	BSA Note
1	WW	2	D	08.11.2007	306	Pfl./m ²	3	BSA Note
1	WW	3	A	08.11.2007	253	Pfl./m ²	4	BSA Note
1	WW	3	B	08.11.2007	383	Pfl./m ²	1	BSA Note
1	WW	3	C	08.11.2007	374	Pfl./m ²	1	BSA Note
1	WW	3	D	08.11.2007	355	Pfl./m ²	2	BSA Note
1	WW	4	A	08.11.2007	104	Pfl./m ²	8	BSA Note
1	WW	4	B	08.11.2007	100	Pfl./m ²	8	BSA Note
1	WW	4	C	08.11.2007	293	Pfl./m ²	3	BSA Note
1	WW	4	D	08.11.2007	198	Pfl./m ²	5	BSA Note
2	WW	0	A	22.10.2007	313	Pfl./m ²	1	BSA Note
2	WW	0	B	22.10.2007	264	Pfl./m ²	2	BSA Note
2	WW	0	C	22.10.2007	284	Pfl./m ²	1	BSA Note
2	WW	0	D	22.10.2007	316	Pfl./m ²	1	BSA Note
3	WW	0	A	22.10.2007	240	Pfl./m ²	2	BSA Note
3	WW	0	B	22.10.2007	231	Pfl./m ²	3	BSA Note
3	WW	0	C	22.10.2007	232	Pfl./m ²	3	BSA Note
3	WW	0	D	22.10.2007	292	Pfl./m ²	1	BSA Note
4	WW	0	A	22.10.2007	310	Pfl./m ²	1	BSA Note
4	WW	0	B	22.10.2007	317	Pfl./m ²	1	BSA Note
4	WW	0	C	22.10.2007	251	Pfl./m ²	2	BSA Note
4	WW	0	D	22.10.2007	267	Pfl./m ²	2	BSA Note
5	WW	0	A	22.10.2007	294	Pfl./m ²	1	BSA Note
5	WW	0	B	22.10.2007	273	Pfl./m ²	1	BSA Note
5	WW	0	C	22.10.2007	278	Pfl./m ²	1	BSA Note
5	WW	0	D	22.10.2007	265	Pfl./m ²	2	BSA Note
6	WW	0	A	22.10.2007	303	Pfl./m ²	1	BSA Note
6	WW	0	B	22.10.2007	277	Pfl./m ²	1	BSA Note
6	WW	0	C	22.10.2007	295	Pfl./m ²	1	BSA Note
6	WW	0	D	22.10.2007	277	Pfl./m ²	1	BSA Note
7	WW	0	A	22.10.2007	311	Pfl./m ²	1	BSA Note

Fruchtfolge	Fruchtart	Standardausgleich	Wiederholung	Bestandesdichte			Mängelbonitur	
				Datum	Pfl./m ²	Pfl./m ²	2	BSA Note
7	WW	0	B	22.10.2007	244	Pfl./m ²	2	BSA Note
7	WW	0	C	22.10.2007	230	Pfl./m ²	3	BSA Note
7	WW	0	D	22.10.2007	259	Pfl./m ²	2	BSA Note
8	WW	0	A	22.10.2007	318	Pfl./m ²	1	BSA Note
8	WW	0	B	22.10.2007	287	Pfl./m ²	1	BSA Note
8	WW	0	C	22.10.2007	216	Pfl./m ²	3	BSA Note
8	WW	0	D	22.10.2007	249	Pfl./m ²	2	BSA Note

Tabelle A 5: Boniturzeitpunkte der unterschiedlichen Fruchtarten

Fruchtarten	Nutzungsart	Bestandesdichte BBCH-Stadium	Bodenbedeckung BBCH-Stadium	Unkrautbonitur BBCH-Stadium	Bestandeshöhen BBCH-Stadium
Wintergetreide	Körner	75	29; 55	29; 55; 85	31; 34; 37; 59
Wintergetreide	GPS	55	29; 55	29; 55; 85	31; 34; 37; 59
Sommergetreide	Körner	75	29; 55	29; 55	31; 34; 37; 59
Sommergetreide	GPS	55	29; 55	29; 55	31; 34; 37; 59
Wintergetreide-Mischungen	GPS	-	29; 55 (Hauptbestandbildner)	29; 55; 85	31; 34; 37; 59 (dom. Wintergetreideart)
Sommergetreide-Mischungen	GPS	-	29; 55 (Hauptbestandbildner)	29; 55	31; 34; 37; 59 (dom. Sommergetreideart)
Winterraps	Körner	35	33; 67	19; 36	19; 29; 33; 36; 59
Mais	GPS	33-39	33 vor Ernte	35; 59; 69	30; 35; 39; 59; 69
Sorghumhirsen	GPS	33-39	33 vor Ernte	35; 59; 69	30; 35; 39; 59
Ackerfutter, Gräser, Klee-gras	GPS	-	vor jeder Ernte	vor jeder Ernte	vor jeder Ernte
Sommer-zwischenfrucht		15	15	vor Ernte/ Umbruch	5 Laubblatt; +2 Wochen später; +2 Wochen später
Winter-zwischenfrucht		15	vor Winter; nach Winter;	vor Vegetationsende (Anfang Oktober)	Vegetationsende vor Winter; Vegetationsbeginn nach Winter; vor Ernte

Tabelle A 6: KEA Parameter zur Energiebilanzierung (LACKEMANN 2008)

Art	Ressource	Einheit	KEA	Anteil Nährstoff	KEA in
			MJ/kg Nährstoff		MJ/kg Ressource MJ/Einheit
Saatgut (inklusive Pillierung)	Winterraps	kg			6,7
	Winterweizen	kg			2,3
	Roggen, Gerste	kg			2,7
	Mais	kg			3,4
	Triticale	kg			2,5
	Gras	kg			10,1
	Hafer	kg			2,7
	Sorghumhirse	kg			3,4
	Klee	kg			10,1
Ölrettich	kg			6,7	
Diesel	Diesel	kg			49
N-Dünger:	KAS, 27% N	kg	41,20	0,27	11,12
	DAP, 18% N, 48% P2O5	kg			16,98
K-Dünger	Kaliumchlorid, 60% K2O	kg	5,0	0,60	3,00
			KEA in MJ/kg Produkt	Dichte in kg/l bei 20°C	
Herbizide	Gardo Gold	L	265	1,08	286,73
	Roundup Ultra	L	265	1,17	310,05
	Butisan Top	L	265	1,15	304,75
	Cantus	L	265	1,1	291,50
	Biscaya	L	265	1,04	275,60
	Fastac SC	L	265	1,01	267,65
	Herbizid	L	265	1,1	291,50
PSM					
Sonstige	Fungizide	L	173	1,1	190,30
	Insektizide	L	214	1,1	235,40
Maschinen	A1	kg			206,3
	A2	kg			176,8
	A3	kg			163,4
	B	kg			150,8
	C	kg			139,1

Tabelle A 7: Berechnungsgrundlagen zum Maschinen- und Dieserverbrauch (WILLMS ET AL. 2007)

Teilanbauverfahren	Ausgewählter Schlepper oder Selbstfahrer	Gesamtarbeitszeit	Dieserverbrauch	Gerätemasse	Lebensdauer	Lebensdauer
		h/ha	l/ha	kg	h	ha
Pflügen ohne Packer	Standardtraktor 177 kW	0,80	17,80	3650		4800
Pflügen mit Packer	Standardtraktor 199 kW	0,90	19,60	5500		4800
Kreiselegge	Standardtraktor 136 kW	0,40	8,70	2900		6000
Kurzscheibenegge	Standardtraktor 136 kW	0,30	5,00	4100		6000
Saatbettkombination	Standardtraktor 199 kW	0,26	5,27	2872		3000
Einzelkornsaat + Unterfußdüngung	Standardtraktor 110 kW	0,35	1,64	1334		1500
Einzelkornsaat	Standardtraktor 110 kW	0,46	3,02	1334		1500
Saatbettkombination und Sämaschine	Standardtraktor 110 kW	0,40	7,60	4600		2500
Sämaschine	Standardtraktor 110 kW	0,30	2,40	2900		4500
Dünger streuen ab Hof 320 kg/ha	Standardtraktor 110 kW	0,08	0,86	2200		20000
PSM ausbringen	Standardtraktor 110 kW	0,12	0,89	3380		20000
Wassertransport 200 - 300 l/ha	Standardtraktor 110 kW	0,00	0,20	4200		50000
GPS Ernte (Häckseln) 60 t/ha	Selbstfahrer 400 kW	0,5	27,7	11500	3000	
Transport Silomais 60 t/ha	Standardtraktor 177 kW	2,6	16,9	10000	3800	
Silomais Festfahren 60 t/ha	Standardtraktor 110 kW	1,7	7,3	700	5000	
GPS Ernte (Häckseln) 40 t/ha, Getreide	Selbstfahrer, 250 kW	0,4	19,5	15000	3000	
Transport GPS- 40 t/ha	Standardtraktor 177 kW	1,3	10,5	10000	3800	
GPS-Getreide Festfahren 40 t/ha	Standardtraktor 110 kW	0,9	4,8	700	5000	
Schwaden	Standardtraktor 136 kW	0,11	2,81	2200		6500
Kreiselmäherwerk	Standardtraktor 199 kW	0,15	4,08	2400		8000

Teilanbauverfahren	Ausgewählter Schlepper oder Selbstfahrer	Gesamtarbeitszeit	Dieserverbrauch	Gerätemasse	Lebensdauer	Lebensdauer
Standardtraktor 110 kW				5880	10000	
Standardtraktor 136 kW				7850	10000	
Standardtraktor 147 kW				7900	10000	
Standardtraktor 158 kW				10346	10000	
Standardtraktor 177 kW				10346	10000	
Standardtraktor 199 kW				10346	10000	

Tabelle A 8: Korrekturfaktoren zur Angleichung erzielter LSV- und EvA - Erträge an Praxiserträge

Fruchtart	EvA TM-Erträge (2005-2008) [dt/ha]	Korrekturfaktor [%]	Praxisangepasste EvA TM-Erträge [dt/ha]	BEE (2002-2007) [dt/ha]	Faktor Korn: Stroh	BEE GPS [dt/ha]	LSV langj. Mittel [dt/ha]	Praxisangepasste LSV TM-Erträge [dt/ha]
Mais HF	216	20	173			108	196	157
Mais ZF	198	20	158					
SudGr ZF	135	15	115					
SudGr HF	131	15	112					
ZH	14	15	12					
WT	133	15	113	57	0,9	107	141	120
SR/ST	97	15	82		0,9			
H	95	15	80	44	1,1	92	109	93
SG	92	15	78	47	0,8	84	88	75
W. Weidel. 2. Jahr	105	15	89			73		
Kleeg. 2. Jahr	98	15	84			72		
Kleeg. 3. Jahr	66	15	57					
WR	53	15	45		0,9		183	
W. Weidel. 1. Jahr	44	15	37					
E. Weidel.	24	15	20					
WR K							86	
WW K	101	15	86	71			93	79
WT K	96	15	81	57			74	63
WRa K	47	15	40	37			55	47

Tabelle A 9: Probenanzahl zur Mittelwertbestimmung der Erträge der Fruchtarten zur Biogasnutzung

Fruchtart	Probenanzahl
Mais HF	56
WT	48
SG	40
Ölr., ZH	32
WR, Klee 1. Nutzungsjahr	24
W.Weidel. 1. Nutzungsjahr	20
Klee 2. Nutzungsjahr, W. Weidel. Ansaatjahr	12
Mais ZF, E. Weidel., SudGr ZF, SudGr HF, SR/ST, H, G.Grass	8
Klee Ansaatjahr	4

Tabelle A 10: Temperatursumme am Standort Gülzow von Juli bis Oktober, (Basistemp. 10 °C)

Jahr	Temperatursumme Ist [°C]	Temperatursumme für Sorghumhirsen Soll [°C] (LEIBLE 1986)
2005	671,7 °C	> 2000 °C
2006	901,6 °C	> 2000 °C
2007	580,9 °C	> 2000 °C
2008	655,2 °C	> 2000 °C
2005-2008	702,3 °C	> 2000 °C

Tabelle A 11: Trockensubstanzgehalte einzelner Kulturarten (2005-2008)

Fruchtart	Fruchtfolgestellung	Nutzungsart	TS-Gehalt [%]
E.Weidel.	Ackerfutter	Biogas	23,8
Gerstgras	Ackerfutter	Biogas	25,1
Hafersortenmischung	Hauptfrucht	Biogas	34,4
Kleegrass	Ackerfutter	Biogas	18,9
Mais	Hauptfrucht	Biogas	29,3
Mais	Zweitfrucht	Biogas	26,5
Ölrettich	So.-Zw.Frucht	Gründüngung	8,6
Sommergerste	Hauptfrucht	Biogas	28,1
Sommerroggen/Sommertriticale	Hauptfrucht	Biogas	37,2
Sudangras	Hauptfrucht	Biogas	21,2
Sudangras	Zweitfrucht	Biogas	23,4
Winterroggen	Wi.-Zw.Frucht	Biogas	16,6
Wintertriticale	Hauptfrucht	Biogas	34,6
Welsches Weidelgras	Ackerfutter	Biogas	21,6
Zuckerhirse	Zweitfrucht	Biogas	20,6

Tabelle A 12: Anbauverhältnis der Fruchtarten am Standort Gülzow

Fruchtfolge	Verhältnis	
	Energiefruchtnutzung	Körnerfruchtnutzung
1	5	1
2	4	2
3	5	1
4	2	1
5	2	2
6	2	2
7	3	1
8	1	3

Tabelle A 13: Berechnung der Humussalden nach VDLUFA 2004

FF	Fruchtart	VDLUFA	VDLUFA	VDLUFA "un-	VDLUFA
		"untere Werte" ohne Gärreste	"untere Werte" mit Ausbringung von Gärresten	tere Werte" ohne Gärreste pro Jahr	"untere Werte" mit Ausbringung von Gärresten pro Jahr
		kg Humus- C /ha	kg Humus- C /ha	kg Humus- C /ha*a	kg Humus- C /ha*a
1	SG	-280	117		
	Ölr.	286	286		
	M	-560	103		
	WT	-280	306		
	ZH	-280	-213		
	WW*	263	263		
Σ Humusbedarf		-851	862	-213	215
2	Su.Gr	-280	212		
	WR WZF	120	269		
	M	-560	42		
	WT K*	458	458		
	WW*	110	110		
	Σ Humusbedarf		-152	1091	-38
3	M	-560	133		
	WR WZF	120	274		
	Su.Gr	-280	286		
	WT	-280	298		
	E.Weidel.	100	272		
	WW*	273	273		
Σ Humusbedarf		-627	1536	-157	384
4	SG (U)	-280	111		
	KleeG(U)	200	200		
	KLeeG	600	901		
	KLeeG	600	867		
	WW*	331	331		
	Σ Humusbedarf		1451	2410	363
5	H	-280	142		
	WT	-280	146		
	WRa*	440	440		
	WW*	368	368		
Σ Humusbedarf		248	1096	62	274

FF	Fruchtart	VDLUFA "untere Werte" ohne Gär- reste	VDLUFA "untere Werte" mit Ausbringung von Gärresten	VDLUFA "un- tere Werte" ohne Gärres- te pro Jahr	VDLUFA "untere Werte" mit Ausbringung von Gärresten pro Jahr
6	M	-560	106		
	G.Grass	-80	227		
	WRa*	528	528		
	WW*	327	327		
Σ Humusbedarf		215	1188	54	297
7	M	-560	109		
	WR WZF	120	261		
	W. Weidel	100	195		
	W.Weidel	600	1025		
	WW*	286	286		
Σ Humusbedarf		546	1876	137	469
8	SR/ST	-280	87		
	WRa*	246	246		
	WW*	275	275		
	WW*	290	290		
Σ Humusbedarf		531	898	133	225

* Stroh mit 80 kg C/t

Tabelle A 14: Berechnung der Energieaufwendungen pro Kulturart am Beispiel Sommergerste

	Betriebsmittel/ Ertrag	Einheit	Menge	Parameter	Mengenabh.	Silagen ertrag	spezif. KEA	KEA				
								Betriebsmittel	Diesel	Ma-schinen	Mineral-dünger	PSM
						t/ha	MJ/Einheit	MJ /ha				
Pflügen MIT Packer							0,0	97,13	337,42	0	0	0
Saatbettkombination+Sämaschine	Saatgut SG	kg	151				2,7	09,09	297,53	0	0	409
Dünger streuen ab Hof 320 kg/ha	KAS 27 %N	kg	370	320	1,1563		11,124	0,44	27,55	4115,88	0	0
PSM ausbringen	U 46M Fluid	l	1,5	1,12			296,8	36,20	35,98	0	445	0
Wassertransport 200 - 300 l/ha							0,0	8,13	12,10	0	0	0
GPS Ernte (Häckseln) 40 t/ha, Getreide		t/ha FM	30,7	40	0,7675	26,095	2392,9	608,68	250,82	0	0	0
Transport GPS-Getreide 40 t/ha			30,7	40	0,7675		0,0	327,75	547,73	0	0	0
GPS-Getreide Festfahren 40 t/ha			30,7	40	0,7675		0,0	149,83	87,61	0	0	0
Summe								2277,25	1596,74	4115,88	445,2	408,51

Tabelle A 15: Berechnung des Energieertrages [MJ/t FM] und des Hi [MJ/t FM]

Energiegehalte		Biogas = 21,8 MJ/Nm ³			Methan =36 MJ/Nm ³ Quelle: Bioenergie Basisdaten Deutschland FNR						
	TM Gehalt	Biogas	Methan- ertrag	Anteil oTM an TM	Methan- ertrag	Energie- ertrag	TM Gehalt	Ener- gieer- trag	Heizwert (Hi)	Hi (FM)	
	% der FM	m ³ /t FM	Nm ³ /t oTM	%	Nm ³ / t TM	MJ / t TM		MJ/t FM	MJ/tTM	MJ/tFM	
FF1											
SG	29,77		238,39	93,66	223	8038	0,30	2393	17,53	5,2187	
Mais	28,1		299,7	95,96	288	10353	0,28	2909	17,19	4,8304	
WT	35		251,07	91,43	230	8264	0,35	2892	16,28	5,6980	
ZH	19,6		247,32	85,63	212	7624	0,20	1494	15,90	3,1164	
WW K	88,8	590			0	0	0,89	12862	14,00	0	Quelle FNR
WW S	82,9				0	0	0,83	0	14,30	11,854 7	Quelle FNR
FF 2											
Su.Gr	17,215		246,48	93,7	231	8314	0,17	1431	17,68	3,0436	
WR	14,7		330,11	91,55	302	10880	0,15	1599	17,84	2,6225	
Mais	25,5		298,18	95,925	286	10297	0,26	2626	17,35	4,4243	
WT K	83,1	590			0	0	0,83	12862	14,00	11,634 0	Quelle FNR
WT S	68,8				0	0	0,69	0	14,30	9,8384 12,404	Quelle FNR
WW K	88,6	590			0	0	0,89	12862	14,00	0	Quelle FNR
WW S	86,9				0	0	0,87	0	14,30	12,426 7	Quelle FNR

Energiegehalte		Biogas = 21,8 MJ/Nm ³			Methan =36 MJ/Nm ³ Quelle: Bioenergie Basisdaten Deutschland FNR						
	TM Gehalt	Biogas	Methan- ertrag	Anteil oTM an TM	Methan- ertrag	Energie- ertrag	TM Gehalt	Ener- gieer- trag	Heizwert (Hi)	Hi (FM)	
	% der FM	m ³ /t FM	Nm ³ /t oTM	%	Nm ³ / t TM	MJ / t TM		MJ/t FM	MJ/tTM	MJ/tFM	
FF 3											
Mais	31,1525		296,4	96,6	286	10308	0,31	3211	17,30	5,3887	
WRo	16,6		328,3	92,05	302	10879	0,17	1806	17,64	2,9274	
Su.Gr	23,6		228,3	94,35	215	7754	0,24	1830	17,80	4,2003	
WT	37,5		251,6	92,5	233	8378	0,38	3142	16,35	6,1311	
E. Weidel.	30		238,2	91,25	217	7825	0,30	2347	16,57	4,9710	
WW K	88,8	590			0	0	0,89	12862	14,00	12,432	Quelle FNR
WW S	85,9						0,86	0	14,30	12,283	Quelle FNR
FF4											
SG (U)	30,475		245,55	93,25	229	8243	0,30	2512	17,83	5,4349	
Kleeg.	30		302,97	92,1	279	10045	0,30	3014	17,59	5,2777	
Kleeg.	30		278,34	90,7	252	9088	0,30	2727	16,91	5,0717	
Kleeg.	30		282,13	86,975	245	8834	0,30	2650	17,73	5,3201	
Kleeg.	30		340,57	92,625	315	11356	0,30	3407	16,36	4,9071	
Kleeg.	30		272,34	87,65	239	8593	0,30	2578	17,01	5,1033	
WW K	88,8	590			0	0	0,89	12862	14,00	12,432	Quelle FNR
WW S	84,4						0,84	0	14,30	12,069	Quelle FNR

Energiegehalte		Biogas = 21,8 MJ/Nm ³				Methan =36 MJ/Nm ³ Quelle: Bioenergie Basisdaten Deutschland FNR							
	TM Gehalt	FM Ertrag	Raps öl	Bio-gas	Me-thaner-trag	Anteil oTM an TM	Me-thaner-trag	Ener-gieer-trag	TM-Gehalt	Ener-gie-ertrag	Heiz-wert (Hi)	Hi (FM)	
	% der FM	t/ha	kg/ha	m ³ /t FM	Nm ³ /t oTM	%	Nm ³ / t TM	MJ/t TM		MJ/t FM	MJ/tT M	MJ/tFM	
FF5													
H	38,2025				247,25	93,875	232	8356	0,38	3192	17,86	6,8234	
WT	29,3				249,34	94,8	236	8509	0,29	2493	17,53	5,1369	
WRa K	88,4	1	400				0	0	0,30	14880	14,50	12,818	Quelle FNR
Rapskuchen		0,6		700						9156			Quelle FNR
WRa S	56,9						0	0	0,57	0	14,20	8,0798	Quelle FNR
WW K	88,8			590			0	0	0,89	12862	14,00	12,432	Quelle FNR
WW S	84,4								0,84	0	14,30	12,0692	Quelle FNR
FF6													
Mais	30,485				297,2	96,425	287	10317	0,30	3145	17,01	5,1845	
G.Grass	30				256,7	93,7	241	8659	0,30	2598	17,71	5,3145	
WRa K	88,4	1	400				0	0	0,30	14880	14,50	12,8180	Quelle FNR
Rapskuchen		0,6		700						9156			Quelle FNR
WRa S	53						0	0	0,53	0	14,20	7,526	Quelle FNR
WW K	89			590			0	0	0,89	12862	14,00	12,46	Quelle FNR
WW S	84								0,84	0	14,30	12,012	Quelle FNR

Energiegehalte		Biogas = 21,8 MJ/Nm ³				Methan =36 MJ/Nm ³ Quelle: Bioenergie Basisdaten Deutschland FNR							
	TM Gehalt	FM Ertrag	Raps öl	Bio-gas	Me-thaner-trag	Anteil oTM an TM	Me-thaner-trag	Ener-gieer-trag	TM-Gehalt	Ener-gieer-trag	Heizwert (Hi)	Hi (FM)	
	% der FM	t/ha	kg/ha	m ³ /t FM	Nm ³ /t oTM	%	Nm ³ / t TM	MJ/t TM		MJ/t FM	MJ/tT M	MJ/tFM	
FF7													
Mais	29,5775				297,78	96,27	287	10320	0,30	3052	16,51	4,8831	
WR	16,7				327,9	91,8	301	10836	0,17	1810	17,91	2,9914	
W. Weidel.	30				242,15	85,3	207	7436	0,30	2231	17,55	5,2645	
W. Weidel.	30				324,83	91,1	296	10653	0,30	3196	16,52	4,9574	
W. Weidel.	30				251,96	87,7	221	7955	0,30	2386	17,12	5,1374	
W. Weidel.	30				316,21	88,1	279	10029	0,30	3009	16,69	5,0057	
WW K	88,8			590			0	0	0,89	12862	14,00	12,432	Quelle FNR
WW S	82,6								0,83	0	14,30	11,8118	Quelle FNR
FF8													
SR/ST	37,7025				268,95	95,175	256	9215	0,38	3474	17,85	6,7317	
WRa K	87,9	1	400				0	0	0,79	14880	14,50	12,7455	Quelle FNR
Rapskuchen		0,6		700						9156			Quelle FNR
WRa S	44,3						0	0	0,44	0	14,20	6,2906	Quelle FNR
WW K	82,7			590			0	0	0,83	12862	14,00	11,578	Quelle FNR
WW S	50,6								0,51	0	14,30	7,2358	Quelle FNR
WW K	89			590			0	0	0,89	12862	14,00	12,46	Quelle FNR
WW S	78,7								0,79	0	14,30	11,2541	Quelle FNR

Tabelle A 16: Berechnung zum Deckungsbeitrag einzelner Fruchtarten

Frucht	N	TM-Ertrag	Methan	Erlös	Saatgut	Dünger	PSM	Arbeiterledigungskosten			Trocknungs-	DB
		dt/ha	m3/ha	€/ha	€/ha	€/ha	€/ha	€/ha	Ernte-	Gärrestaus-	kosten	
								€/ha	€/ha	€/ha	€/ha	€/ha
WRa	6	46,1		1329	37	243	144	318	117		0	751
Mais (HF)	8	228,1	6456	1937	160	178	84	859	446	229		581
WW	10	92,3		1392	62	276	188	371	138		11	533
Mais (Zweit.F)	2	198,0	5697	1709	160	159	78	810	438	228		502
WT	2	96,2		1368	52	270	189	352	139		9	497
WT (GPS)	6	128,2	3469	1041	54	107	49	594	302	113		251
SR/ST	2	96,6	2629	789	44	72	10	510	268	75		152
W. Weidel (2.Jahr)	2	94,2	2756	827		120	0	564	406	95		143
KleeG (2. Jahr)	2	59,8	1721	516		22	0	370	254	63		124
KleeG (1. Jahr)	2	88,6	2473	742		34	0	599	456	102		109
Su.Gr (Zweit.F)	2	134,8	3197	959	51	116	23	699	378	186		70
H	2	94,6	2314	694	57	87	10	543	273	84		-4
Su.Gr	2	131,3	3063	919	47	115	0	767	393	203		-10
SG (HF)	4	89,7	2204	661	69	83	5	561	289	101		-57
KleeG (Untersaat)	1	25,8	688	206	85	10	0	199	150	34		-89
Ölr	2	27,9	743	223	55	0	0	93	291	116		-147
W. Weidel. (1.Jahr)	2	39,5	1182	355	73	49	11	374	210	40		-153
G.Grass	2	76,2	1898	569	107	80	0	556	317	103		-173
E. Weidel.	2	22	680	204	98	31	0	287	179	20		-193
WR (WZF)	6	55,6	1665	500	60	66	0	568	291	108		-195
ZH (SZF)	2	13,3	350	105	13	16	29	308	198	21		-261

Tabelle A 17: Berechnungen zum Deckungsbeitrag der Fruchtfolgen

FF	FA	TM- Ertrag	Methan	Erlös	Saatgut	Dünger	PSM	Arbeits erledigungskosten			Trocknungs- kosten	DB
		dt/ha						m3/ha	€/ha	€/ha		
1	SG	90,5	2226	779	69	84	10	554	283	95		-49
1	Ölr	25,7	684	240	54	0		90	279	104		-144
1	Mais	200,6	5679	1988	160	157	78	763	427	216		546
1	WT	144,7	3916	1371	56	121	61	624	321	120		313
1	ZH	14,5	383	134	13	18		329	201	25		-245
1	WW	99,4		1500	84	298	194	434	139		0	491
2	Su.Gr	103,6	2418	725	43	91		754	387	203		-162
2	WR	48,7	1459	438	53	58		590	292	111		-264
2	Mais	180,2	5186	1556	160	145	78	766	423	217		407
2	WT	90,2		1283	56	253	196	332	138		18	428
2	WW	80,1		1208	63	240	194	419	131		0	293
3	Mais	213,2	6034	1810	160	167	78	819	416	202		587
3	WR	51,9	1557	467	62	62		565	285	103		-223
3	Su.Gr	143,4	3402	1021	51	123	23	720	389	196		103
3	WT	145,9	3949	1185	56	122	61	606	312	110		340
3	E.Weidel.	30,7	824	247	98	45		289	146	31		-185
3	WW	108,2		1633	63	324	194	438	143		0	614
4	SG (U)	89,5	2200	660	69	83		555	278	90		-47
4	KleeG	73,4	2057	617		28		554	430	89		35
4	KleeG	71,5	2019	606		27		415	312	70		164
4	WW	114,5		1728	63	343	194	442	146		0	686
5	H	96,0	2347	704	57	89	10	539	263	73		9
5	WT	111,3	3012	904	59	93		547	309	115		205
5	WRa	51,6		1488	37	272	131	333	120		0	715
5	WW	109,2		1647	63	327	194	438	143		0	625

FF	FA	TM- Ertrag	Methan	Erlös	Saatgut	Dünger	PSM	Arbeitserledigungskosten			Trocknungs- kosten	DB
		dt/ha						m3/ha	€/ha	€/ha		
6	Mais	205,9	5828	1748	160	161	78	813	414	201		536
6	G.Gras	73,2	1817	545	107	73		444	261	75		-79
6	WRa	54,7		1578	37	289	131	360	121		0	761
6	WW	106,1		1601	63	318	194	436	142		0	590
7	Mais	207,3	5867	1760	160	162	78	831	422	209		529
7	WR	47,6	1426	428	62	57		544	275	94		-235
7	W.Weidel.	24,2	741	222	84	29	23	269	128	19		-182
7	W.Weidel	109,7	3189	957		141		644	478	109		172
7	WW	106,8		1611	63	320	194	437	143		0	598
8	SR/ST	101,6	2765	830	28	76	10	518	270	76		198
8	WRa	37,2		1072	42	196	70	259	113		0	505
8	WW	82,3		1241	59	246	182	308	135		22	424
8	WW	103,2		1556	63	309	194	434	141		0	556

Tabelle A 18: Berechnung zum Gewinnbeitrag der Fruchtfolgen

Fruchtfolge	Deckungsbeitrag €/ha	Pacht €/ha	Gewinn €/ha
1	228	161	67
2	176	161	15
3	309	161	148
4	209	161	48
5	389	161	228
6	452	161	291
7	220	161	59
8	421	161	260

Tabelle A 19: Deckungsbeitragsrechnung der vorgegebenen Marktfruchtfolge

		WRaps D5/D6	WW D5/D6	WW D5/D6	Gerste D5/D6
Ertrag	dt/ha	46,1	92,9	103,2	70,7
Erzeugerpreis	€/dt	28,80	15,10	14,00	13,60
Gesamterlös	€/ha	1.328	1.403	1.445	961
Saatgut	€/ha	37	63	63	65
Düngung	€/ha	243	278	309	248
Pflanzenschutz	€/ha	144	194	194	103
Summe Direktkosten	€/ha	424	535	566	443
Variable Maschinenkosten	€/ha	318	416	434	142
Variable Kosten gesamt	€/ha	742	951	1.000	586
Deckungsbeitrag	€/ha	586	452	445	376

Abbildungen

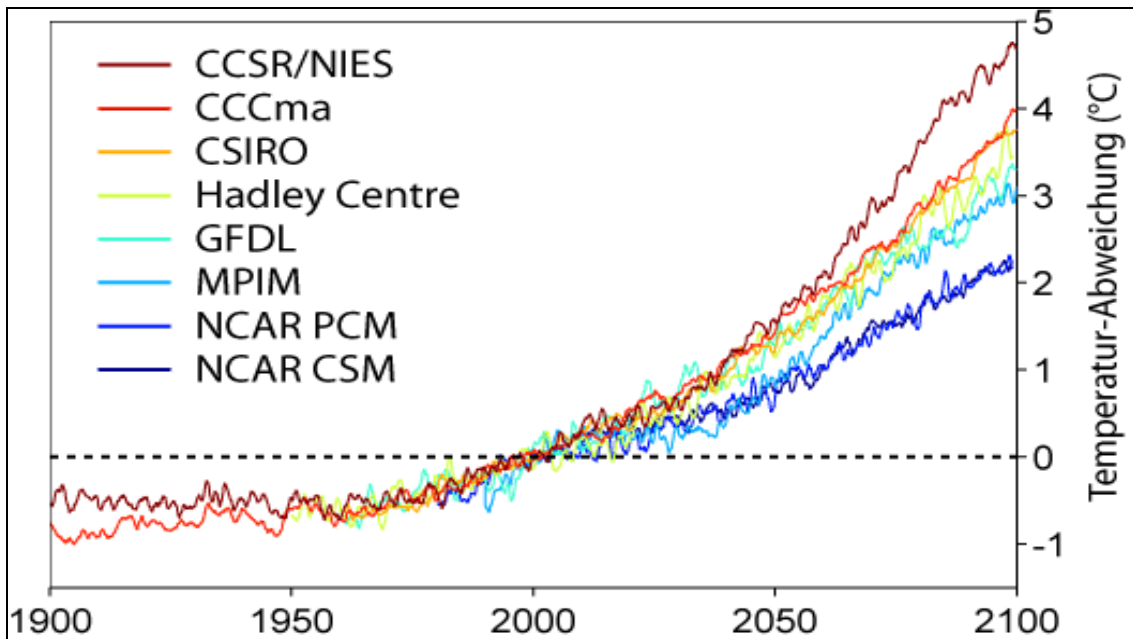


Abbildung A 1: Projektionen globaler Erwärmung (ROHDE 2006)

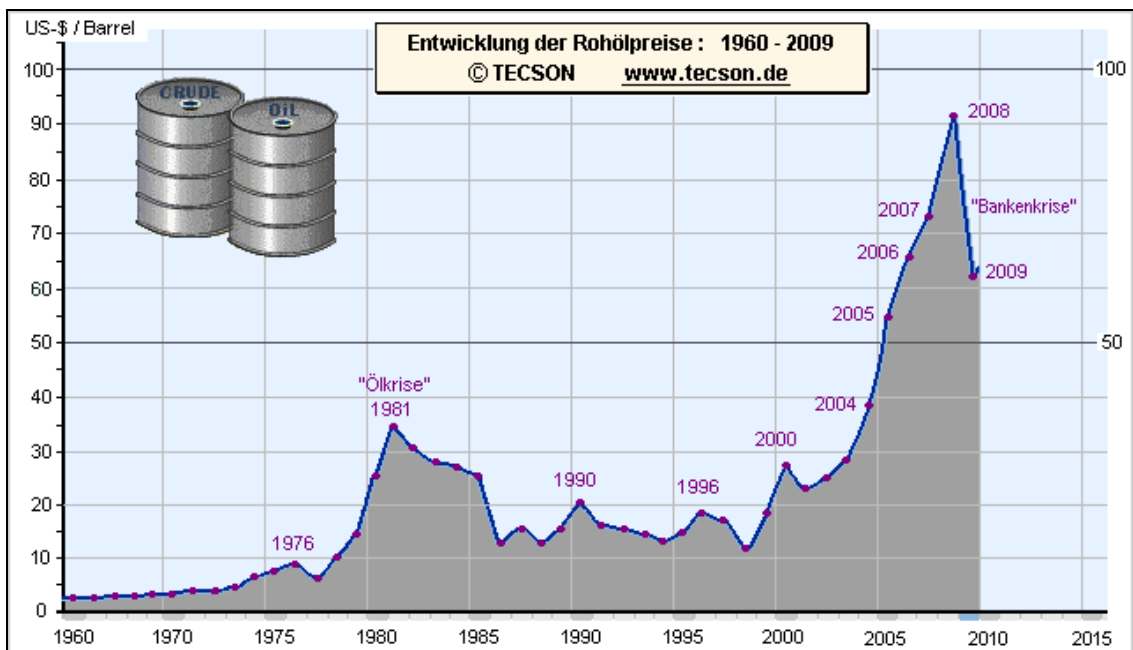


Abbildung A 2: Entwicklung der Rohölpreise (<http://www.tecson.de>)

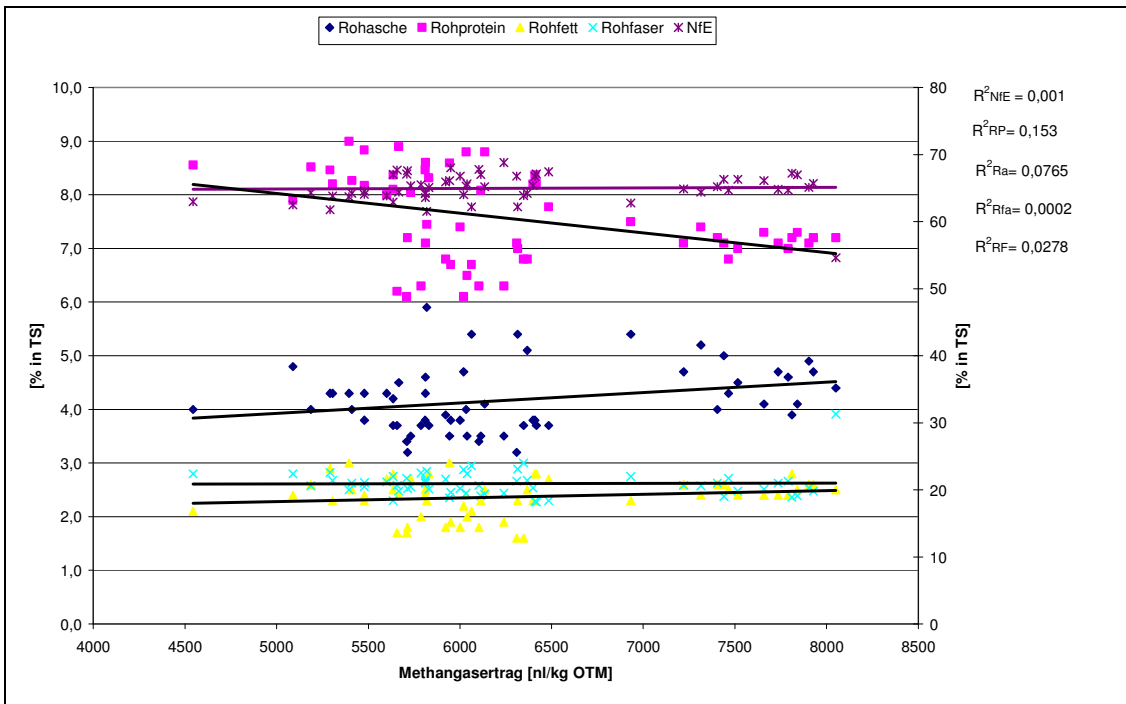


Abbildung A 3: Korrelation zwischen Inhaltsstoffen und theoretischer Methangasausbeute

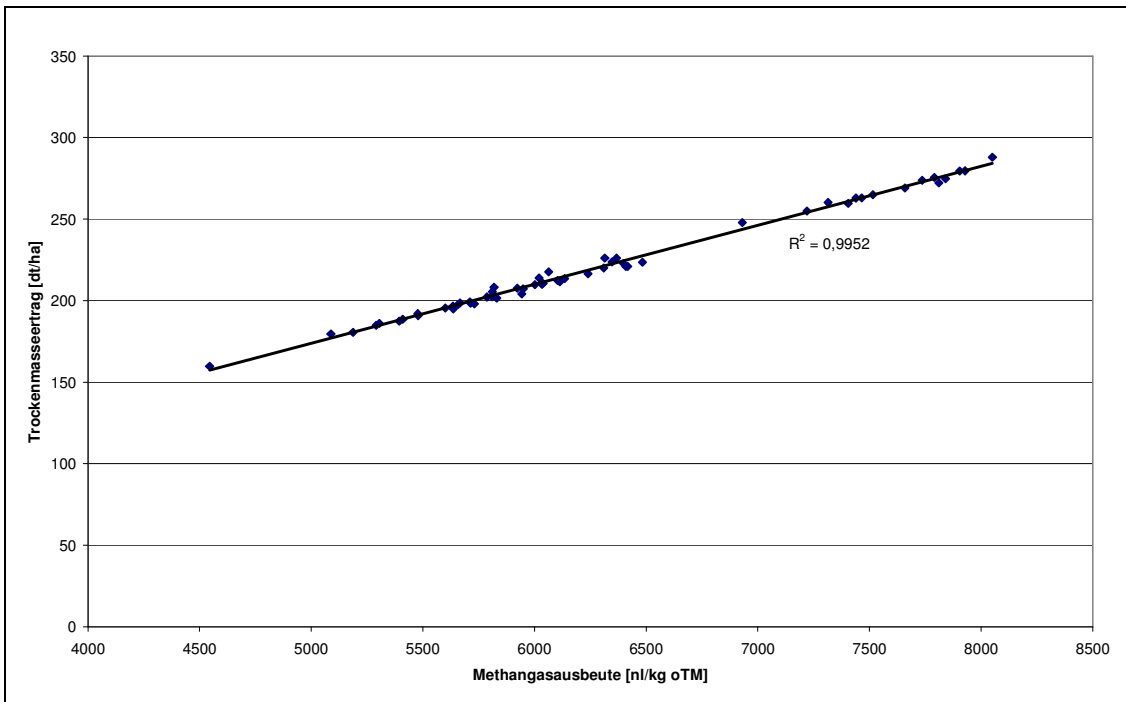


Abbildung A 4: Korrelation zwischen Trockenmasseertrag und theoretischer Methangasausbeute

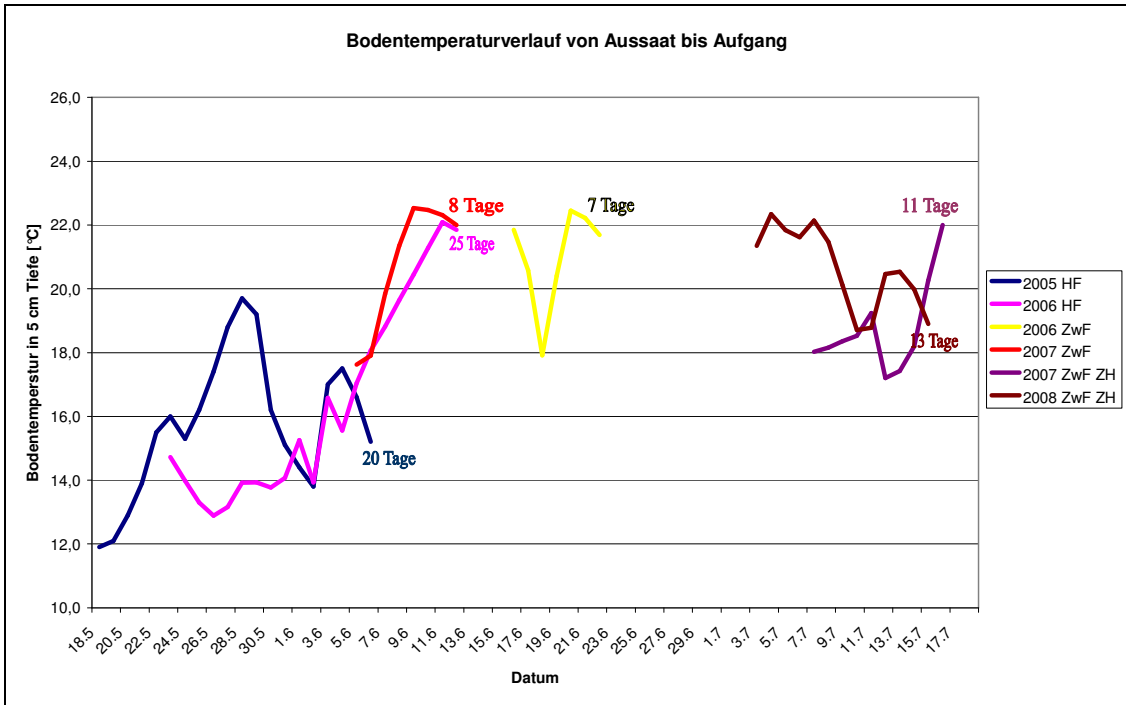


Abbildung A 5: Zusammenhang zwischen Bodentemperatur und Keimdauer bei Sorghumhirse am Standort Gölzow

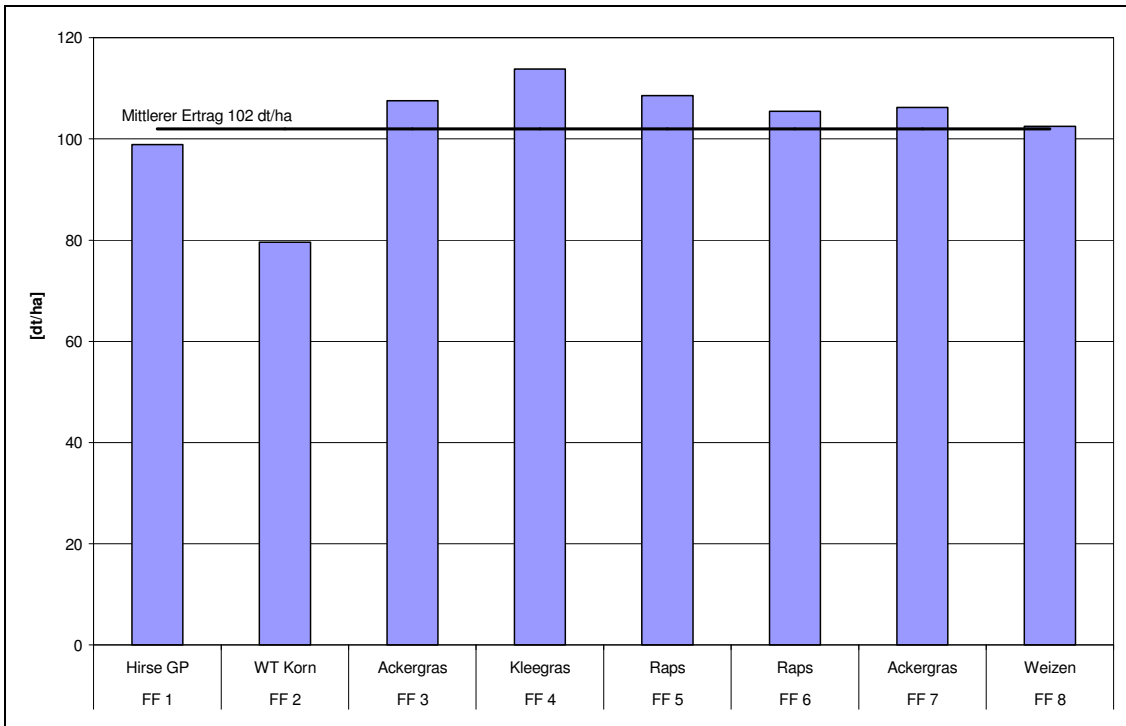


Abbildung A 6: Weizenerträge in Zusammenhang mit der Vorfrucht

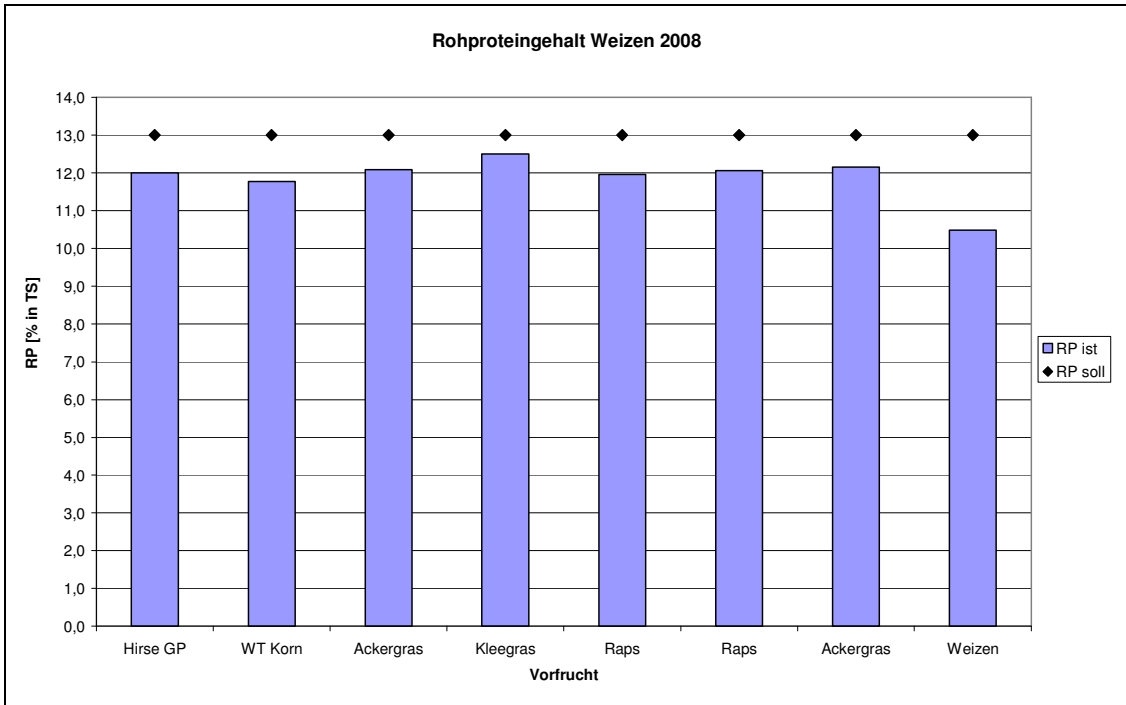


Abbildung A 7: Proteingehalte WW 2008 in Gülzow

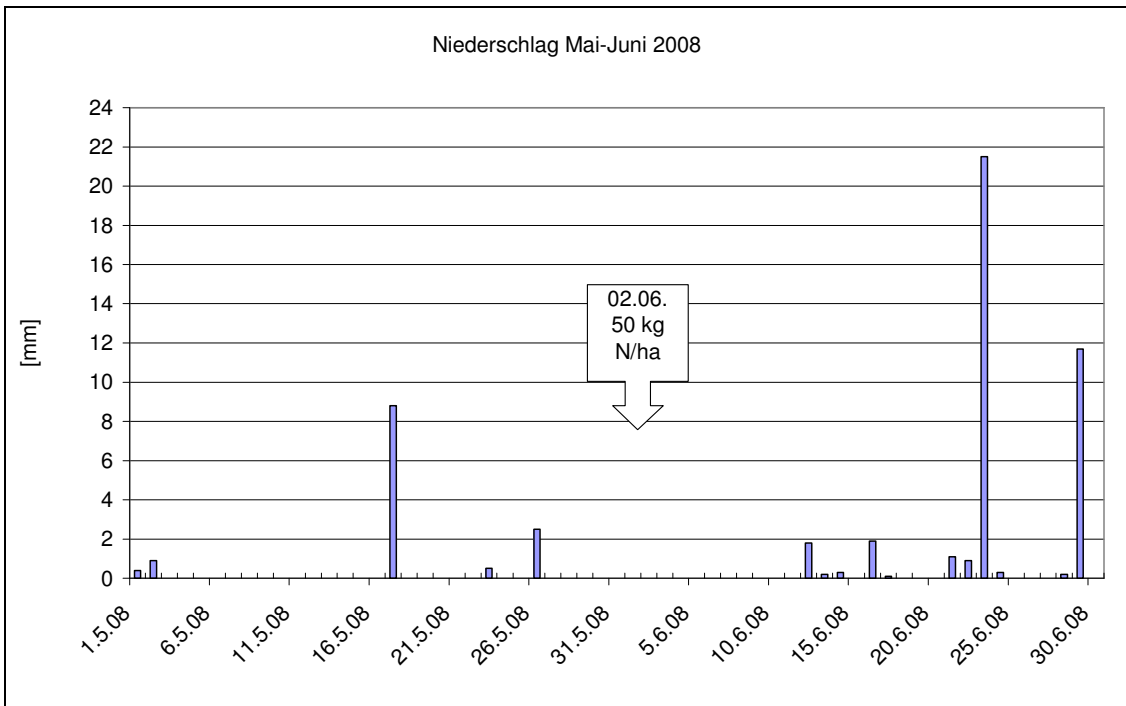


Abbildung A 8: Niederschlag im Zeitraum der dritten Düngegabe 2008

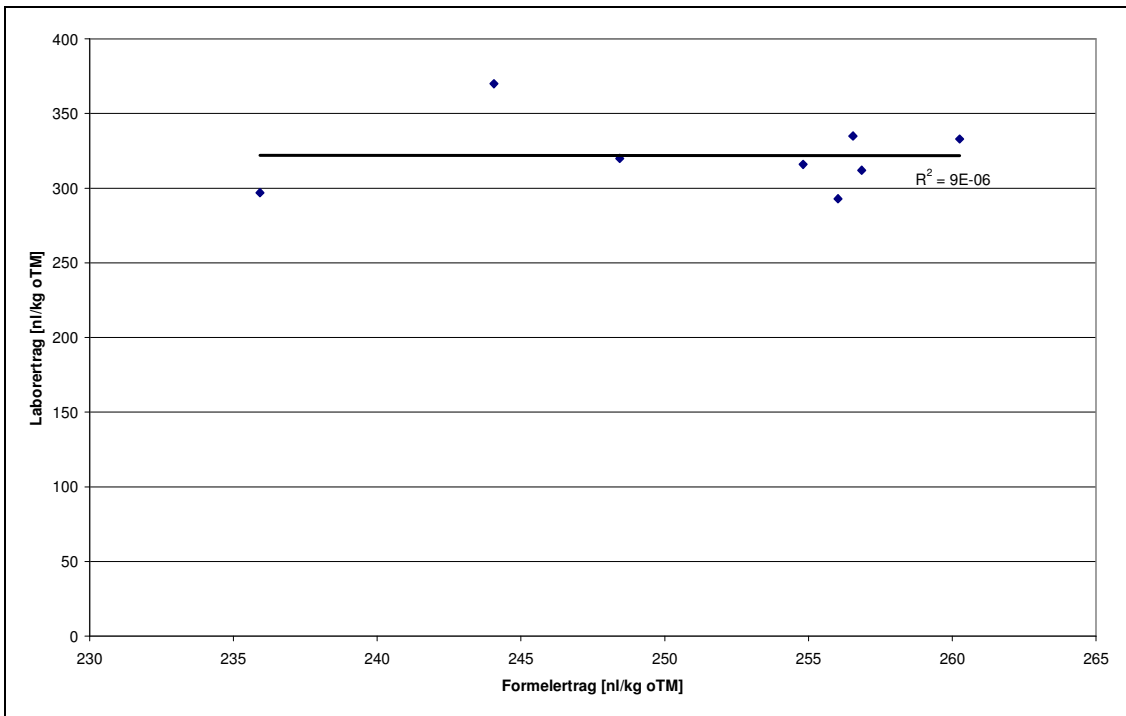


Abbildung A 9: Abhängigkeit der Methangaserträge beider Untersuchungsvarianten

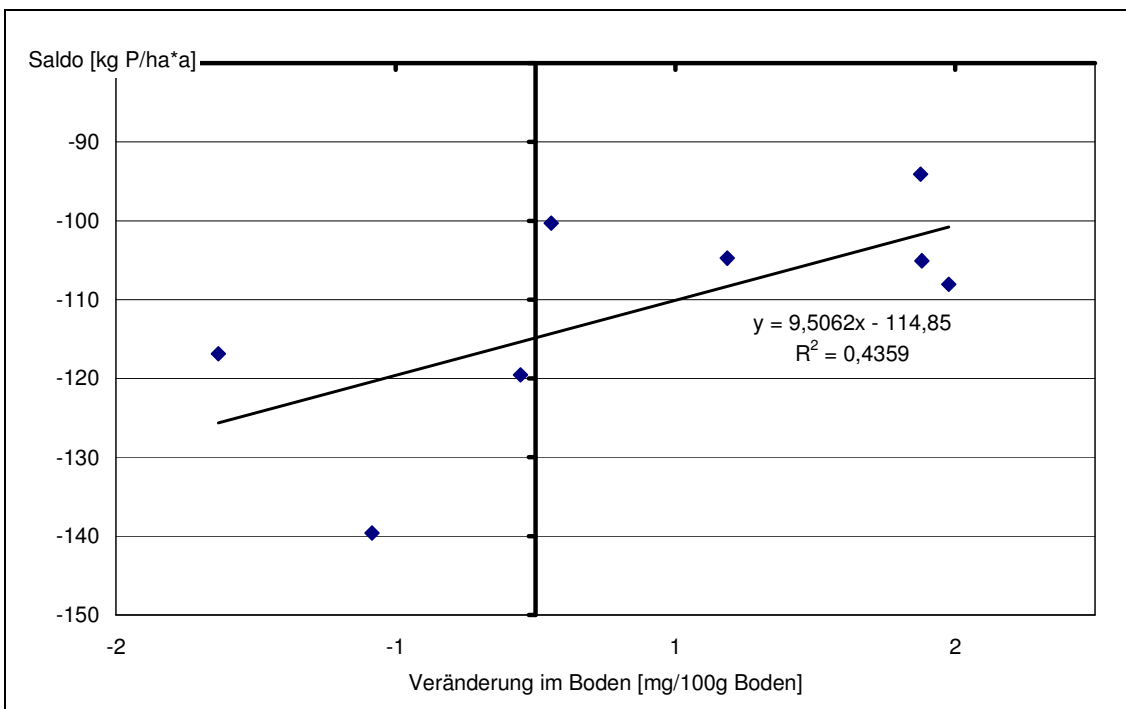


Abbildung A 10: Signifikanz zwischen Veränderungen des P-Gehaltes im Boden und der P-Salden (2005-2008)

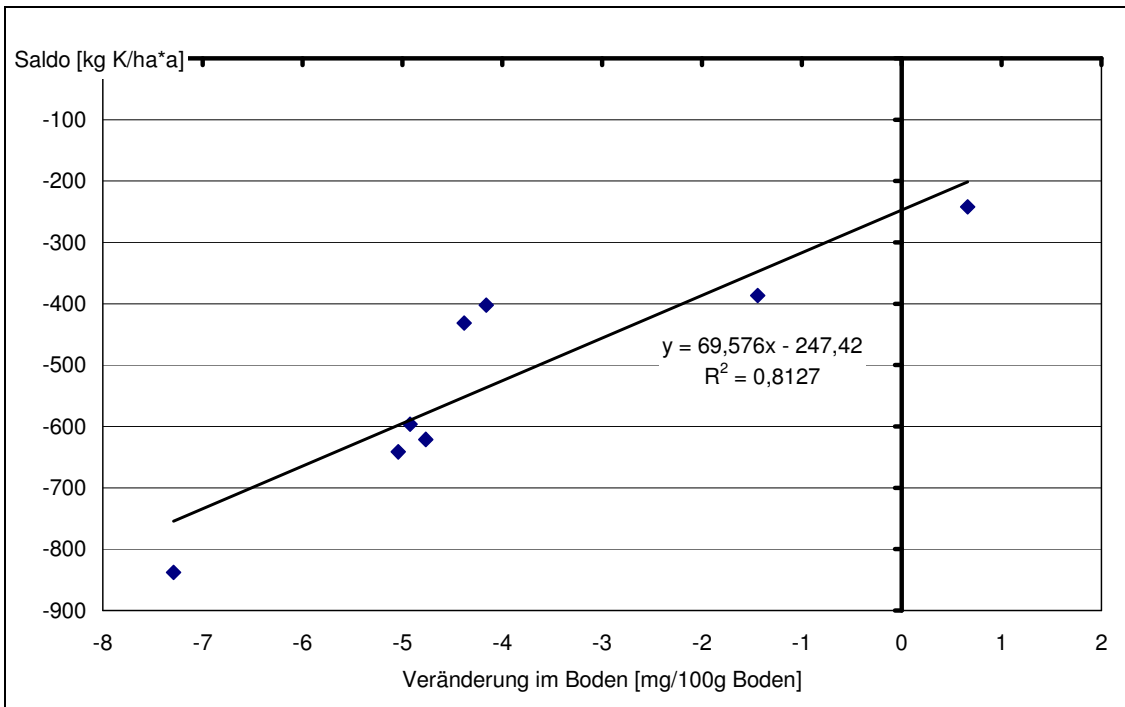


Abbildung A 11: Signifikanz zwischen Veränderungen des K-Gehaltes im Boden und der K-Salden (2005-2008)

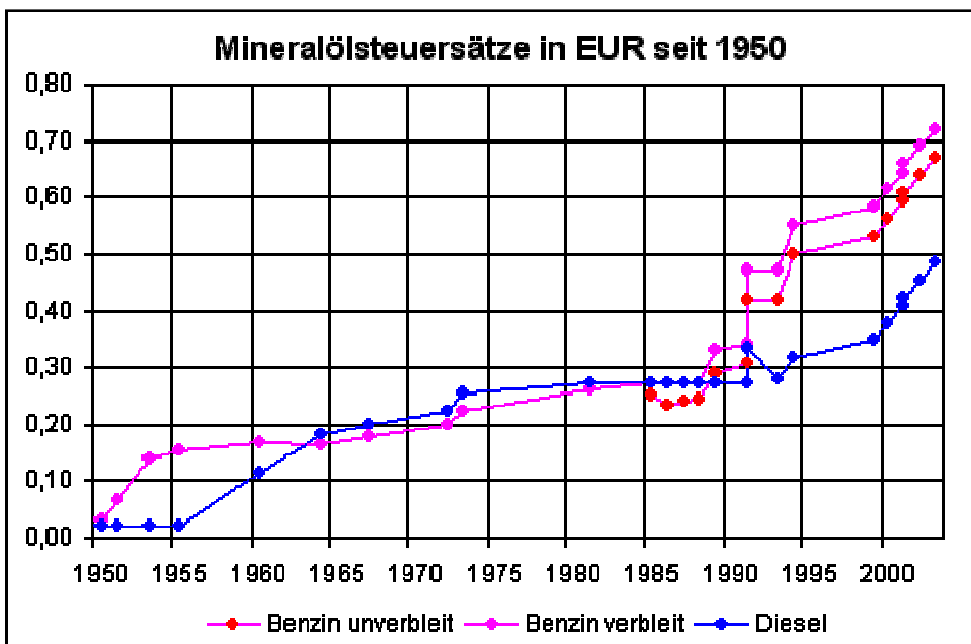


Abbildung A 12: Entwicklung der Mineralölsteuer (ZINGEL 2007)

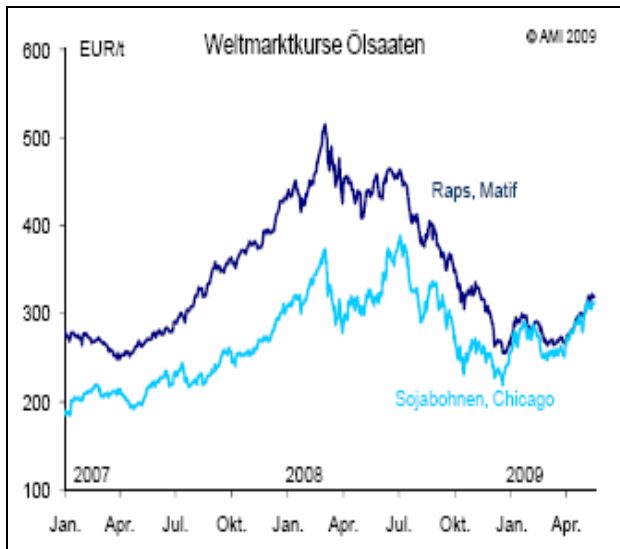


Abbildung A 13: Entwicklung der Preise für Ölsaaten von 2007 bis 2009
(http://www.smul.sachsen.de/lfl/publikationen/download/4145_35.pdf)

THESEN ZUR DISSERTATION

Beurteilung unterschiedlicher Energiefruchtfolgen hinsichtlich ihrer Nachhaltigkeit und Rentabilität bei der Rohstoffversorgung von Biogasan- lagen für die Region Mecklenburg – Vorpommern

vorgelegt von Dipl. agr. Ing. Jana Peters
geb. am 20.04.1975

Rostock 2010

Der Anstieg von Anzahl sowie Leistungen der Biogasanlagen und die dadurch veränderte Nutzung der Ackerfläche zur Rohstoffversorgung dieser Anlagen führen derzeit immer wieder zur Diskussion „Tank oder Teller“. Eine weitere Problematik wird von den Kritikern in der stark ertragsorientierten Produktion der benötigten Rohstoffe durch eine Erhöhung der Maisanbaukonzentration gesehen. Der Anbau abwechslungsreicher Energiefruchtfolgen soll deshalb zur nachhaltigen Lieferung von Rohstoffen für die Biogasanlagen dienen.

Acht unterschiedliche Energiefruchtfolgen wurden auf ihre Eignung als nachhaltige ertragreiche Rohstofflieferanten für die Region Mecklenburg Vorpommern untersucht. Schwerpunkte bildeten dabei der Ertrag, die Methangasausbeute, Auswirkungen auf den Humus- und Nährstoffhaushalt im Boden, die Energieeffizienz der Anbauverfahren und die Rentabilität für den Landwirt. Als Bewertungsmethoden dienten dazu:

- Berechnung der Methangasausbeute nach SCHATTAUER und WEILAND (2004)
- Nährstoffbilanzierungen in Zusammenhang mit Untersuchungen der Makronährstoffe im Boden nach VDLUFA Methoden
- Humusbilanzierungen nach VDLUFA und REPRO
- Energiebilanzierung
- Charakterisierung der Ackerflächenbindung anhand eines Modellbetriebes
- Rentabilitätsbestimmung durch Berechnung des Deckungsbeitrages, der Produktionsschwelle und der relativen Vorzüglichkeit.

Die Untersuchungen lassen folgende Thesen zu:

1. Ertragreiche Energiefruchtfolgen sind eine ökologisch sinnvolle Alternative zur Monokultur Mais. So können neben Mais auch die ertragreichen Kulturarten Sorghumhirsen und Wintergetreide als Ganzpflanzennutzung in die Fruchtfolgen eingeordnet werden. Es sollten agrarpolitische Anreize geschaffen werden, die im Vergleich zu Mais entstehenden monetären Nachteile der alternativen Fruchtarten zu kompensieren.

2. Die Modellierung nach der dynamischen Humuseinheiten-Methode Repro zeigt, dass ertragreiche Energiefruchtfolgen den standorttypisch erwünschten Humusgehalt nur bei gezielter Gärrestrückführung erhalten. In dem Gärrest enthaltene Makronährstoffe (P und K) müssen bei der Düngebedarfsermittlung mit berücksichtigt werden.
3. Der Anbau ertragreicher Energiefruchtfolgen vermeidet eine zu starke Ackerflächenbindung durch die Energiepflanzen und mildert somit das Konkurrenzverhalten zwischen Nahrungsmittel- und Energiepflanzenanbau.
4. Alle geprüften Energiefruchtfolgen können mit einem ausgewogenen Düngemanagement eine umweltverträgliche Stickstoffbilanz vorweisen.
5. Die Kaliumgabe sollte nicht als Vorratsdüngung durchgeführt werden, sondern direkt zu den Kulturarten appliziert werden, so dass ein Luxuskonsum einiger Kulturarten und daraus resultierende Unterversorgung der Folgefrüchte vermieden werden kann.
6. In der Energiebilanz wird der Input maßgeblich durch den Mineraldüngeinsatz bestimmt.
7. Hohe kumulierte Energieaufwendungen (KEA) anbauintensiver Fruchtfolgen werden durch dementsprechende Bruttofeldenergieerträge kompensiert.
8. Bedenken hinsichtlich energetischer Effizienzen sind demnach nicht relevant. Alle geprüften Fruchtfolgen produzieren das 8 bis 10 -fache der aufgewendeten Energie als Primärenergie.
9. Der Gleichgewichtspreis ist eine geeignete Maßzahl zur Festlegung betriebsspezifischer Verkaufspreise von Energiefruchtarten.
10. Bei der Entscheidungsfindung des Landwirtes sollten neben dem Deckungsbeitrag und dem Gleichgewichtspreis auch die Ackerflächenbindung berücksichtigt werden.
11. Alle geprüften Energiefruchtfolgen sind bei Einbezug der Anlageboni durch die stabile Vergütung des EEG den Marktfruchtfolgen überlegen.

Die Bewertung der Analysemethoden erbrachte folgende Erkenntnisse:

1. Bei der theoretischen Ermittlung der Methangaserträge nach SCHATTAUER und WEILAND (2004) finden unterschiedliche Erntegutqualitäten nur ungenügende Berücksichtigung.
2. Methodische Ungenauigkeiten mussten in der Bewertung des Humushaushaltes nach VDLUFA und Cross Compliance festgestellt werden. Daraus resultiert die Notwendigkeit einer Aktualisierung der VDLUFA-Richtwerte und somit auch der in der Praxis angewandten Cross Compliance Richtlinien. Wegen ihrer detaillierteren Vorgehensweise sollte die dynamische HE-Methode zur Erneuerung dieser VDLUFA-Richtwerte hinzugezogen werden.
3. Der Erntefaktor dient als kompakter Überblick über die Energieeffizienz von Fruchtarten und -folgen. Entstehende Differenzen bei einem Vergleich der Erntefaktoren ab Feld und Weiterverarbeitung bieten die Möglichkeit, Schwachstellen im Bereich der Konservierung und Konversion aufzudecken.
4. Eine Energiebilanzierung sollte zum Vergleich verschiedener Anbausysteme und –verfahren herangezogen werden. Es besteht jedoch derzeit noch die Notwendigkeit einer Standardisierung der Inputgrößen und des Festlegens von Bilanzierungsgrenzen, um Ergebnisse sachgerecht einordnen zu können.
5. Für alle in dieser Arbeit angewendeten ökologischen Bewertungsmodelle muss ein Anpassungsverfahren der Berechnungs- und Analysemethoden an die betriebsspezifisch unterschiedliche Qualität der Gärreste entwickelt werden.