

Aus dem Institut für Landnutzung
der Agrar- und Umweltwissenschaftlichen Fakultät

Leistungsfähigkeit ausgewählter Artenmischungen und Reinsaaten für die Nutzung als Biogassubstrat

Dissertation

zur Erlangung des akademischen Grades

Doktor der Agrarwissenschaften (doctor agriculturae)

an der Agrar- und Umweltwissenschaftlichen Fakultät

der Universität Rostock

vorgelegt von

Dipl.-Ing. agr. Matthias Dietze aus Rostock,

geb. am 05.02.1972 in Oberhausen

Rostock, den 14.07.2010

1. Gutachter: Prof. Dr. Köppen
2. Gutachter: PD Dr. habil. Bettina Eichler-Löbermann
3. Gutachter: Prof. Dr. Dr. habil. Christian Gienapp
4. Gutachter: Prof. Dr. Norbert Lütke Entrup

Tag der öffentlichen Verteidigung: 14.01.2011

Inhalt

1	Einleitung und Zielstellung	11
2	Stand des Wissens und der Erkenntnisse	14
2.1	Grundlagen des Misanbaus.....	14
2.2	Formen und Verbreitung des Mischfruchtanbaus.....	18
2.3	Entwicklung von Mischfruchtanbau und Reinsaat.....	20
2.4	Vorfruchtwert und Einordnung des Mischfruchtanbaus in die Fruchtfolge	21
2.5	Leistungsbeurteilung von Mischkulturen	24
2.6	Futterbaugemeinschaft mit Relevanz für den Energiepflanzenbau.....	27
2.6.1	Gemeinschaft in Hauptfruchtstellung	29
2.6.2	Gemeinschaft in Zweitfruchtstellung	31
2.6.3	Gemeinschaft in Winterzwischenfruchtstellung	32
2.6.4	Gemeinschaft in Sommerzwischenfruchtstellung	33
2.6.5	Untersaaten	34
3	Material und Methoden	36
3.1	Standortfaktoren	36
3.2	Witterung der Versuchsjahre	38
3.3	Parzellenversuche.....	41
3.3.1	Versuchsdurchführung Winterkulturen	41
3.3.2	Versuchsdurchführung Sommerkulturen	42
3.4	Ertragsfeststellung.....	42
3.4.1	Laboranalytik	43
3.5	Relativer Gesamtertrag.....	43
3.6	Ermittlung der Biogaserträge	44
3.6.1	Rechenmodell.....	44
3.6.2	Batchversuche.....	45
3.7	Mathematisch-statistische Auswertungsverfahren.....	45
3.8	Ökonomische Betrachtung	47
3.9	Energiebilanzen der untersuchten Prüfglieder	48

4	Ergebnisse des Mischfruchtanbaus.....	50
4.1	Winterkulturen	50
4.1.1	Futterroggen und Futterroggengemenge	53
4.1.1.1	Anbautechnik, Ernte und Konservierung.....	54
4.1.1.2	Ertragsleistungen.....	56
4.1.1.3	Ertragsanteile der Gemengepartner	58
4.1.1.4	Methanerträge	59
4.1.1.5	Energiebilanz	60
4.1.1.6	Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen	62
4.1.2	Wintergerste, Futterrüben und Gemenge	63
4.1.2.1	Anbautechnik.....	65
4.1.2.2	Ertragsleistungen.....	68
4.1.2.3	Ertragsanteile der Gemenge	70
4.1.2.4	Methanerträge	71
4.1.2.5	Energiebilanz	72
4.1.2.6	Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen	74
4.1.3	Ackergras und Klee grasgemenge.....	75
4.1.3.1	Anbautechnik.....	76
4.1.3.2	Ertragsleistung.....	78
4.1.3.3	Ertragsanteile der Gemenge	79
4.1.3.4	Methanerträge	80
4.1.3.5	Energiebilanz	81
4.1.3.6	Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen	83
4.2	Sommerkulturen.....	84
4.2.1	Sommergetreide und Sommergetreidegemenge.....	86
4.2.1.1	Anbautechniken.....	88
4.2.1.2	Ertragsleistungen.....	91
4.2.1.3	Ertragsanteile der Gemengepartner	92
4.2.1.4	Methanerträge	93
4.2.1.5	Energiebilanz	94
4.2.1.6	Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen	96

4.2.2	Bokharaklee, Mais, Hirse und Gemenge	97
4.2.2.1	Anbautechniken.....	102
4.2.2.2	Ertragsleistungen.....	107
4.2.2.3	Ertragsanteile der Gemengepartner	109
4.2.2.4	Methanerträge.....	110
4.2.2.5	Energiebilanz	111
4.2.2.6	Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen	113
4.2.3	Lupine und Lupinengemenge	114
4.2.3.1	Anbautechniken.....	115
4.2.3.2	Ertragsleistungen.....	118
4.2.3.3	Ertragsanteile	120
4.2.3.4	Methanerträge.....	121
4.2.3.5	Energiebilanz	122
4.2.3.6	Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen	123
5	Schlussfolgerungen.....	125
5.1	Für die Agrarforschung.....	127
5.1.1	Ausbreitung von Krankheiten und Schädlingen	127
5.1.2	Herbizide für den Mischfruchtanbau.....	127
5.1.3	Stickstofftransfer im Mischfruchtanbau.....	128
5.1.4	Standortspezifische Pflanzengemeinschaften	128
5.1.5	Wiedereinführung „verloren gegangener“ Pflanzen.....	129
5.2	Für die Agrarverwaltung.....	129
5.2.1	Förderung von Leguminosen.....	129
5.2.2	Förderung „verloren gegangener“ Feldfrüchte.....	130
5.3	Für die landwirtschaftliche Praxis	130
5.3.1	Winterzwischenfrüchte.....	130
5.3.2	Sommerkulturen.....	131
5.3.3	Unkrautbekämpfung	132
5.3.4	Methanerträge	133
5.3.5	Wirtschaftlichkeit.....	133

6	Zusammenfassung.....	135
7	Literatur.....	140
8	Danksagung	153
9	Erklärung.....	154
	Anhang.....	155

Anlagepläne der Parzellenversuche

Ergänzende Darstellungen zum Text

Thesen

Verzeichnis der Tabellen

Tab. 1	Von Reinsaaten abweichende Fruchtfolgewirkung von Sorten- und Artenmischungen in Körnerfruchtbeständen (nach AUFHAMMER, 1999).....	24
Tab. 2:	Futterpflanzen und Gemenge (nach HOF und RAUBER, 2003).....	28
Tab. 3:	Vorteile einzelner Aussaattermine bei Untersaaten (nach LÜTKE-ENTRUP, 2000).....	35
Tab. 4:	Kennzeichnung der Bedingungen an den Versuchsstandorten Gülzow und Bandow	36
Tab. 5:	Ausgewählte Standortfaktoren der Untersuchungsflächen.....	38
Tab. 6:	Mittlere monatliche Lufttemperaturen, Niederschläge und Abweichungen von den langjährigen Monatsmittelwerten (1971 – 2000) am Standort Gülzow.....	39
Tab. 7:	Laboranalytisch untersuchte Parameter und Methoden	43
Tab. 8:	Vor- und Nachteile von Batch-Versuchen und Rechenmodellen (nach KTBL-HEFT 50)	44
Tab. 9:	Spezifischer Biogasertrag und Methangehalt (nach SCHATTAUER und WEILAND; 2005)	45
Tab. 10:	Kumulierte Energieaufwendungen	49
Tab. 11:	Signifikanztabelle der über die Jahre und Standorte (Gülzow und Bandow) gemittelten Ertragsergebnisse der Prüfglieder in Reinsaat und Gemenge in Winterfruchtstellung.....	52
Tab. 12:	Sorten, Saatstärke und N-Düngung beim Winterroggen und den Winterroggengemengen.....	55
Tab. 13:	Signifikanztabelle der einzelnen Versuchsjahre und –standorte: Futterroggenmischungen und Reinsaaten.....	58
Tab. 14:	Energieertrag, kumulierter Energieaufwand und Ertragsfaktor der Futterroggenmischungen und Reinsaaten (Datengrundlage siehe Anhang)	61
Tab. 15:	Sorten, Saatstärke und N-Düngung der Wintergerste und des Winterrübens in Reinsaat und Gemenge.....	67
Tab. 16:	Signifikanztabelle der Ertragsleistung der der einzelnen Versuchsjahre und –standorte: Wintergerste, Futterrüben und Mischungen	70
Tab. 17:	Energieertrag, kumulierter Energieaufwand und Ertragsfaktor Wintergerste, Futterrüben und Mischungen (Datengrundlage siehe Anhang)	74
Tab. 18:	Sorten, Saatstärke und N-Düngung der Ackergras und Klee-grasgemenge	76
Tab. 19:	Signifikanztabelle der Ertragsleistung Klee-gras, Landsberger Gemenge und Reinsaaten der einzelnen Versuchsjahre und –standorte.....	79
Tab. 20:	Energieertrag, kumulierter Energieaufwand und Ertragsfaktor Klee-gras, Landsberger Gemenge und Reinsaaten (Datengrundlage siehe Anhang)	83
Tab. 21:	Signifikanztabelle der über die Jahre und Standorte (AZ 25 und AZ 30) gemittelten Ertragsergebnisse der Prüfglieder in Reinsaat und Gemenge in Sommerfruchtstellung.....	86
Tab. 22:	Sorten, Saatstärke und N-Düngung von Sommergetreide in Reinsaat und Gemenge	89
Tab. 23:	Richtwerte zur Düngung von Sommergetreide* (nach SCHILLING, 2000)	90
Tab. 24:	Signifikanztabelle der Ertragsleistungen der Sommergetreidemischungen und Reinsaaten der einzelnen Versuchsjahre und -standorte.....	92
Tab. 25:	Energieertrag, kumulierter Energieaufwand und Ertragsfaktor der Sommergetreidemischungen und Reinsaaten (Datengrundlage siehe Anhang)	96

Tab. 26:	Auflaufraten und –dauer bei Steinkleesaaten in Abhängigkeit von der Aussaattiefe (nach MEYER, 2005)	103
Tab. 27:	Überwinterungsrate in Abhängigkeit vom Erntezeitpunkt im Ansaatjahr beim Steinklee in Ohio (nach SMITH und GORZ, 1965).....	103
Tab. 28:	Sorten, Saatstärke und N-Düngung von Bokharaklee, Mais und Sudangras in Reinsaat und Gemenge.....	104
Tab. 29:	Signifikanztabelle der Ertragsleistungen Mais-, Sudangrasmischungen und Reinsaat der einzelnen Versuchsjahre und -standorte.....	109
Tab. 30:	Energieertrag, kumulierter Energieaufwand und Ertragsfaktor Mais-, Sudangrasmischungen und Reinsaat (Datengrundlage siehe Anhang).....	112
Tab. 31:	Unterscheidungsmerkmale und Standortansprüche von Lupinen (verändert nach FRAUEN, 1996 und erweitert nach EGLE, 2002)	114
Tab. 32:	Sorten, Saatstärke und N-Düngung von Lupine, Bokharaklee, Saflor und Sommergetreide in Reinsaat und im Gemenge.....	116
Tab. 33:	Signifikanztabelle der Ertragsleistungen der Prüfglieder Lupine, Saflor, und den Gemengen aus Lupine und Sommergerste mit Beimengungen von Saflor bzw. Bokharaklee der einzelnen Versuchsjahre und -standorte.....	119
Tab. 34:	Energieertrag, kumulierter Energieaufwand und Ertragsfaktor Lupinenmischungen und Reinsaat (Datengrundlage siehe Anhang).....	123
Tab. 35:	Rechnerische Methanflächenenerträge der untersuchten Varianten.....	133
Tab. 36:	Bereinigte Stückkosten der untersuchten Varianten	134

Verzeichnis der Abbildungen

Abb. 1:	Kosten der Biomasseproduktion zur energetischen Nutzung (nach LEHMANN, 2006).....	48
Abb. 2:	Adjustierte Mittelwerte (n = 4) für die Erträge der Winterkulturen aus den Erntejahren 2006 und 2007 der Standorte in Gülzow und Bandow sowie die Standardfehler	51
Abb. 3:	Adjustierte Mittelwerte (n = 4) für die Erträge der Futterroggenmischungen und Reinsaaten der einzelnen Versuchsjahre und -standorte sowie die Standardfehler	57
Abb. 4:	Relativer Gesamtertrag (RYT) des Wickroggens gegenüber den jeweiligen Reinsaaten der Standorte und Versuchsjahre	59
Abb. 5:	Adjustierte Mittelwerte (n = 4) für die Methanerträge der Futterroggenmischungen und Reinsaaten (m ³ /ha) sowie die spezifischen Methanausbeuten (Nl/kg oTM)	60
Abb. 6:	Kumulierter Energieaufwand der Futterroggenmischungen und Reinsaaten (Datengrundlage siehe Anhang).....	61
Abb. 7:	Produktionsschwelle inklusive Lohnanspruch und Energiepflanzenprämie der Futterroggenmischungen und Reinsaaten.....	62
Abb. 8:	Adjustierte Mittelwerte (n = 4) für die Erträge Wintergerste, Futterrüben und Mischungen der einzelnen Versuchsjahre und -standorte sowie die Standardfehler	69
Abb. 9:	Relativer Gesamtertrag (RYT) der Wintergerste/Winterrüben-Mischungen gegenüber den jeweiligen Reinsaaten der Standorte und Versuchsjahre	71
Abb. 10:	Adjustierte Mittelwerte (n = 4) für die Methanerträge (m ³ /ha) Wintergerste, Futterrüben und Mischungen sowie die spezifischen Methanausbeuten (Nl/kg oTM)	72
Abb. 11:	Kumulierter Energieaufwand Wintergerste, Futterrüben und Mischungen (Datengrundlage siehe Anhang).....	73
Abb. 12:	Produktionsschwelle inklusive Nutzungskosten, Lohnanspruch und Energiepflanzenprämie Wintergerste, Futterrüben und Mischungen.....	75
Abb. 13:	Adjustierte Mittelwerte (n = 4) für die Erträge Klee gras, Landsberger Gemenge und Reinsaaten der einzelnen Versuchsjahre und -standorte sowie die Standardfehler	79
Abb. 14:	Relativer Gesamtertrag (RYT) des Landsberger Gemenges und des Klee grasses gegenüber den jeweiligen Reinsaaten der Standorte und Versuchsjahre	80
Abb. 15:	Adjustierte Mittelwerte (n = 4) für die Methanerträge (m ³ /ha) Klee gras, Landsberger Gemenge und Reinsaaten sowie die spezifischen Methanausbeuten (Nl/kg oTM)	81
Abb. 16:	Kumulierter Energieaufwand Klee gras, Landsberger Gemenge und Reinsaaten (Datengrundlage siehe Anhang).....	82
Abb. 17:	Produktionsschwelle inklusive Lohnanspruch und Energiepflanzenprämie Klee gras, Landsberger Gemenge und Reinsaaten.....	84
Abb. 18:	Adjustierte Mittelwerte (n = 4) für die Erträge der Sommerkulturen aus den Erntejahren 2006 und 2007 der Versuchsstandorte Gülzow und Bandow sowie die Standardfehler	85
Abb. 19:	Wurzelbild von Sommerhafer (links) und Sommergerste nach KUTSCHERA (1960; in SEIFFERT, 1968)	87

Abb. 20:	Adjustierte Mittelwerte (n = 4) für die Erträge der Sommergetreidemischungen und Reinsaatensowie die Standardfehler.....	92
Abb. 21:	Relativer Gesamtertrag (RYT) des Sommergetreidegemenges gegenüber den jeweiligen Reinsaatens der Standorte und Versuchsjahre.....	93
Abb. 22:	Adjustierte Mittelwerte (n = 4) für die Methanerträge (m ³ /ha) der Sommergetreidemischungen und Reinsaatensowie die spezifischen Methanausbeuten (Nl/kg oTM).....	94
Abb. 23:	Kumulierter Energieaufwand der Prüfglieder der Sommergetreidemischungen und Reinsaatens (Datengrundlage siehe Anhang).....	95
Abb. 24:	Produktionsschwelle inklusive Nutzungskosten, Lohnanspruch und Energiepflanzenprämie der Sommergetreidemischungen und Reinsaatens.....	96
Abb. 25:	Wachstumsverlauf eines Silomaises (SM) und eines Energiemaises (EM) (KWS, 2005 „Energiepflanzenentagungs“ der FNR in Berlin).....	101
Abb. 26:	Adjustierte Mittelwerte (n = 4) für die Erträge Mais-, Sudangrasmischungen und Reinsaatens der einzelnen Versuchsjahre und -standorte sowie die Standardfehler.....	108
Abb. 27:	Relativer Gesamtertrag (RYT) der Gemenge aus Bokharaklee und Mais bzw. Sudangras gegenüber den jeweiligen Reinsaatens der Standorte und Versuchsjahre.....	110
Abb. 28:	Adjustierte Mittelwerte (n = 4) für die Methanerträge (m ³ /ha) Mais-, Sudangrasmischungen und Reinsaatensowie die spezifischen Methanausbeuten (Nl/kg oTM).....	111
Abb. 29:	Kumulierter Energieaufwand Mais-, Sudangrasmischungen und Reinsaatens (Datengrundlage siehe Anhang).....	112
Abb. 30:	Produktionsschwelle inklusive Nutzungskosten, Lohnanspruch und Energiepflanzenprämie Mais-, Sudangrasmischungen und Reinsaatens.....	113
Abb. 31:	Adjustierte Mittelwerte (n = 4) für die Erträge der Lupinenmischungen und Reinsaatens der einzelnen Versuchsjahre und -standorte sowie die Standardfehler.....	119
Abb. 32:	Relativer Gesamtertrag (RYT) der Gemenge aus Lupine und Sommergerste mit Beimengungen von Saflor bzw. Bokharaklee gegenüber den jeweiligen Reinsaatens der Standorte und Versuchsjahre.....	120
Abb. 33:	Adjustierte Mittelwerte (n = 4) für die Methanerträge (m ³ /ha) Lupinenmischungen und Reinsaatensowie die spezifischen Methanausbeuten (Nl/kg oTM).....	121
Abb. 34:	Kumulierter Energieaufwand der Lupinenmischungen und Reinsaatens (Datengrundlage siehe Anhang).....	122
Abb. 35:	Produktionsschwelle inklusive Nutzungskosten, Lohnanspruch und Energiepflanzenprämie Lupinenmischungen und Reinsaatens.....	124

Verzeichnis der Abkürzungen

AFA	Absetzung für Abnutzung
BMELV	Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz
CH ₄	Methan
EEG	Erneuerbare-Energien-Gesetz
EVA	Entwicklung und Optimierung standortangepasster Anbausysteme für Energiepflanzen
FNR	Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V.
GJ	Gigajoule
K ₂ O	Kaliumoxid
L.	Linné
LFA	Landesforschungsanstalt für Landwirtschaft und Fischerei Mecklenburg-Vorpommern
MgO	Magnesiumoxid
MJ	Megajoule
NI	Normliter
OBS	organische Bodensubstanz
oTM	organische Trockenmasse
P ₂ O ₅	Phosphorpentoxid
PIAF	Planungs-, Informations- und Auswertungssystem für das Feldversuchswesen
PSM	Pflanzenschutzmittel
RYT	relativ yield total, relativer Gesamtertrag

1 Einleitung und Zielstellung

Die Gestaltung der Pflanzenproduktion in Europa ist aus marktwirtschaftlichen Gründen durch eine hohe Spezialisierung und Konzentration von nur wenigen Feldfrüchten charakterisiert. In Deutschland zählen dazu vor allem die attraktiven Marktfrüchte Winterraps und Winterweizen. Die geringe Artenanzahl gestattet in einer Vielzahl von landwirtschaftlichen Betrieben keine phytosanitär stabilen Fruchtfolgen und auch keine ausreichenden Anbaupausen (DIERKS und HEITEFUSS, 1994; MAKOWSKI, 2009; SCHILLING, 2000). Aus der Körnerfruchtproduktion ist bekannt, dass die einseitige Produktionsweise zu einer erheblichen Vermehrung und Ausbreitung von Krankheiten und Schädlingen geführt hat. Davon sind besonders die reinen Ackerbaubetriebe ohne Tierhaltung betroffen (BAEUMER, 1994). Den negativen Auswirkungen von Fruchtfolgemängeln wird in der Praxis durch einen erhöhten Einsatz von Agrochemikalien begegnet (KÖPKE, 1989; BUCHNER, 2001). Neben den Pflanzenschutzmitteln sind in dem Zusammenhang auch die synthetischen Stickstoffdünger zu nennen. Die sehr häufig zu hohen N-Gaben belasten die Umwelt, und begründen sich nicht zuletzt auch mit den nicht vertretbaren EU-Regelungen zum Leguminosenanbau (LÜTKE-ENTRUP und OEHMICHEN, 2000).

Die Erfordernisse zum Schutz des Klimas und zur Sicherung der Energieversorgung stellen neben der Versorgung mit Lebensmitteln eine weitere Herausforderung für die Landwirtschaft dar (GURGEL und PETERS, 2009). Eine hohe Biomasseproduktion trägt zu einer Verringerung der Flächenkonkurrenz bei. Die jüngste Entwicklung zeigt, dass fast ausschließlich der Silomais als Basis für die Biomasseproduktion zur Energiegewinnung dient (VOGEL und AHLHAUS, 2009). Ein umfangreicher Maisanbau stellt keine fruchtfolgemäßige Entlastung dar. Im Gegenteil, es ist eher mit weiteren Beeinträchtigungen zu rechnen, insbesondere im Qualitätsweizenanbau, wie erste Ergebnisse aus der Praxis belegen (MAKOWSKI et al., 2009, 2009a). Ein längerfristiger Maisanbau dürfte auch aus anderen Gründen nicht unproblematisch sein. Er bedingt eine negative Humusbilanz, auch wenn die Gärreste den Flächen wieder zugeführt werden. Seine Selbstfolge ist unter unseren Standortbedingungen bisher wissenschaftlich nicht geprüft worden und somit fraglich. Die beginnende Verbreitung von einigen Schädlingen, wie die des Maiszünslers und des Westlichen Maiswurzelbohrers sind auch für den Nordosten Deutschlands belegt (SCHRÖDER, 2010). Hinzu kommt die geringe Ertragssicherheit von Mais auf den trockenen Sandböden. Wegen der starken Verunkrautungsgefahr und seines Stickstoffbedarfes wird in den Betrieben des ökologischen Landbaus kaum Mais angebaut, da es hier an Alternativen fehlt (LÜTKE ENTRUP, 2000).

Die vorliegende Arbeit hat das Ziel, durch den Misanbau verschiedener Arten eine nachhaltige Biomasseproduktion bei erheblich reduziertem Einsatz von Agrochemikalien zu ermöglichen. Es

sollen ökonomische Alternativen mit ökologischen Vorteilen gegenüber der hoch intensiven Produktion aufgezeigt werden. Neben der stärkeren Ökologisierung der konventionellen Produktion sollen auch für den ökologischen Landbau Grundlagen für Energiefruchtfolgen erarbeitet werden. Das Konzept basiert auf Ergebnissen älterer wissenschaftlicher Arbeiten und auf vor Jahrzehnten erfolgreich praktizierten Produktionsverfahren.

Bereits 1889 schreibt BLOMEYER: *„Mischsaaten können gegenüber Reinsaaten Vorteile aufweisen, wenn Blattpflanzen mit Halmfrüchten, Tiefwurzler mit Flachwurzlern, wenn Pflanzen mit recht unterschiedlichem Nährstoffbedürfnis miteinander gemengt werden, so kann eine vollere, vielseitigere Ausnutzung des Bodens statthaben, die Ernten werden durch die Mischsaat reicher, größer.“*

Bei den Untersuchungen des „Mischfruchtanbau zur energetischen Nutzung“ an der Landesforschungsanstalt für Landwirtschaft und Fischerei Mecklenburg-Vorpommern (LFA) stehen folgende Aufgaben im Vordergrund:

- Prüfung verschiedener Pflanzarten auf ihre Eignung für den Mischanbau,
- Einbeziehung „verloren gegangener“ Feldfrüchte in die Untersuchung,
- Ermittlung und Vergleich der Leistung der Feldfrüchte in Misch- und Reinsaat,
- Darstellung des relativen Gesamtertrages der Mischung,
- Untersuchung der Methanertragspotentiale aller Varianten und Auswirkung gemischter Substrate auf die Methanausbeute,
- Berechnung und Vergleich der Energiebilanzen von Reinsaaten und Mischkulturen,
- Untersuchungen zur Wirtschaftlichkeit von Reinsaaten und Mischfrüchten und Ableitungen von Produktionsstrategien.

In den Versuchen wird der Ansatz verfolgt, mit Reinsaaten und mit Gemengen aus Getreide, Leguminosen und Ölpflanzen Biomasse für die Biogasproduktion zu erzeugen.

Die Ertrags- und Ertragsanteilsermittlungen der Rein- und Mischsaaten bilden den Schwerpunkt der Versuchsanstellung. Über eine Analyse der Inhaltsstoffe und Verdaulichkeit der Einzelkomponenten (DLG-Futterwerttabelle, 1997) werden rechnerisch die Biogaspotentiale ermittelt (SCHATTAUER und WEILAND, 2005). Zusätzlich durchgeführte Batchversuche ermöglichen einen Vergleich des Biogaspotentials der einzelnen Prüfglieder. Außerdem werden Daten zur Begleitflora, Bestandesstruktur sowie zum Standort, Witterung und Boden erhoben. Eine ökonomische

Bewertung des Produktionsverfahrens „Mischfruchtanbau zur Biomasseproduktion“ erfolgt anhand der Produktionsschwelle.

Inhaltlich ist die Arbeit Bestandteil einer Fördermaßnahme. Bundesweit wird mit Mitteln des BMELV ein Projekt zur Entwicklung und Optimierung von standortangepassten Anbausystemen für Energiepflanzen gefördert und von der Fachagentur für Nachwachsende Rohstoffe betreut. Im Rahmen dieses Verbundvorhabens werden an der Landesforschungsanstalt für Landwirtschaft und Fischerei Mecklenburg-Vorpommern in einem Teilprojekt Untersuchungen zur Biomasseproduktion im alternativen Anbausystem „Mischfruchtanbau“ durchgeführt. Die Untersuchungen erstrecken sich über den Zeitraum von 2005 bis 2008 auf dem Versuchsstandort Gülzow bei Güstrow.

2 Stand des Wissens und der Erkenntnisse

2.1 Grundlagen des Mischanbaus

Der Mischanbau, auch Mischfruchtanbau oder Gemengebau, bezeichnet den gleichzeitigen Anbau verschiedener Fruchtarten bzw. Sorten einer Kulturpflanzenart auf einem Feld. Gegenüber Reinbeständen haben Mischbestände in Abhängigkeit von der „Unterschiedlichkeit der Mischungspartner“ (AUFHAMMER, 1999) eine höhere genotypische und phänotypische Diversität. Mischbestände stellen somit eine Annäherung an natürliche, standortangepasste Pflanzenbestände dar, die eine relative raum-zeitliche Stabilität aufweisen.

Der Idee, mehrere Kulturpflanzen nebeneinander auf der gleichen Fläche anzubauen, liegt der Gedanken zugrunde, Ertragsausfälle bei Reinsaaten bei nicht optimalen Anbaubedingungen durch den Gemengebau verschiedener Pflanzen mit unterschiedlichen Ansprüchen zu kompensieren, um eine höhere Ertragssicherheit zu erreichen (GRÜMMER, 1955).

In Reinbeständen sind die Kulturpflanzen anderen Bedingungen ausgesetzt, als in Mischbeständen. Neben veränderten Lichtverhältnissen in einem Mischbestand ist die Einzelpflanze gegenüber Reinbeständen abweichenden mikroklimatischen Gegebenheiten, einer veränderten Nährstoffverfügbarkeit, durch Mischungspartner gebildeten hemmenden oder fördernden Substanzen sowie in veränderter Dichte auftretenden Schad- und Nutzorganismen ausgesetzt (AUFHAMMER, 1999). In Abhängigkeit von der Bestandesentwicklung nehmen der Einfluss der genannten Faktoren bzw. die Interaktionen zwischen den Einzelpflanzen zu.

Die Wachstumsfaktoren Nährstoffe, Wasser und Licht können von Gemengen dann effektiver genutzt werden, wenn sie zeitlich und/oder räumlich unterschiedlich beansprucht werden (HOF und RAUBER, 2003). So wird durch den Anbau einer flach- und einer tiefwurzelnden Pflanze eine höhere Ausnutzung des Bodenvolumens erreicht, als das in der jeweiligen Reinsaat möglich ist. Nach Ansicht dieser Autoren kann es zu einem Stickstofftransfer in einem Gemenge aus Leguminose und Nichtleguminose nur über die Ausscheidung löslicher N-Verbindungen aus den Blättern und Wurzeln der Leguminose oder durch die Mineralisierung abgestorbener Pflanzenteile kommen. DAHLMANN et al. (2007) vermuten im Gemenge aus Sommergerste und Körnererbsen, dass in Abhängigkeit von unterschiedlichen Aussaatmodellen während der Kornfüllungsphase der Sommergerste ein Stickstofftransfer möglich ist. Des Weiteren entnehmen diese Autoren ihren Versuchsergebnissen, dass die Standraumzuteilung Einfluss auf die N_2 -Fixierungsleistung hat. SCHMIDTKE (2004) misst

einem Stickstofftransfer in einem Hafer-Erbse-Gemenge keine große Bedeutung zu, auch wenn er gegenüber der Reinsaat eine Stickstoffaufnahme des Hafers im Gemenge registriert.

Ebenso wie das Bodenvolumen durch die Pflanzenwurzeln unterschiedlicher Pflanzen besser genutzt werden kann, ist es vorstellbar, dass die oberirdischen Sprosssteile eines Mischbestandes das Sonnenlicht besser nutzen können, wenn die Vegetationsorgane der Mischungspartner in unterschiedlicher Höhe angeordnet sind. Extreme Formen dieses „Mischfruchtanbaus in Etagen“ stellen Agroforestalsysteme dar.

Ein abweichender Entwicklungsrhythmus verschiedenartiger Pflanzen in einem Gemenge ermöglicht eine bessere Ausnutzung der Vegetationsperiode. Auch ist bekannt, dass Pflanzen über einen unterschiedlichen Lichtkompensationspunkt verfügen. Damit ist das Maß an Lichtintensität gemeint, dass nötig ist, damit Pflanzen in der Nettophotosynthese Biomasse produzieren können (DAUMER und SCHUSTER, 1988).

Pflanzen mit gleichen Ansprüchen bezüglich der Wachstumsbedingungen werden ähnlich auf Witterungseinflüsse reagieren und um Wachstumsfaktoren konkurrieren. Mischungspartner mit unterschiedlichen Standortansprüchen reagieren auf entscheidende Einflussfaktoren ebenfalls unterschiedlich (MAKOWSKI, 2005), was eine komplementäre Ressourcennutzung erlaubt. HOF und RAUBER (2003) halten die Koexistenz zweier Arten für möglich, „wenn ihre interspezifische Konkurrenz kleiner ist als ihre jeweilige intraspezifische Konkurrenz (...)“. AARSEN (1983) und JOKINEN (1991) nennen unterschiedliche Definitionen für den Begriff „Konkurrenz“. Demnach bezieht sich die Erschöpfungskonkurrenz auf den Wettbewerb um Wachstumsfaktoren, während die Beeinträchtigungskonkurrenz physikalische und allelopathische Wechselwirkungen zwischen höheren Pflanzen beschreibt. Die Begriffsbestimmungen für die reale und apparente, also scheinbare, Konkurrenz unterscheiden nicht zwischen der Konkurrenz um Wachstumsbedingungen und der gegenseitigen Beeinträchtigung der Mischungspartner.

Wechselseitige Förderung bzw. Hemmung durch Wurzel- und Blattausscheidungen ist besonders aus dem Gartenbau bekannt. MOLISCH (1937), der den Begriff „Allelopathie“ geprägt hat, entdeckte, dass Möhren Äthylen ausscheiden, was SCHILLING (1951) veranlasste, das gute Gedeihen des Majorans im Mischanbau mit Möhren damit in Verbindung zu bringen. Auch WIRTH (1942) nennt Beispiele für die Förderung durch allelopathische Wechselwirkungen, die in einer kritischen Untersuchung von SCHUPHAN (1948) ebenso widerlegt wurden. ROSCHE (1987) weist im Laborversuch den hemmenden Einfluss wässriger Extrakte aus Luzernegrün und –wurzeln auf die Keimung des Winterweizens nach.

Desgleichen wurden mögliche Antagonismen zwischen Kulturpflanze und Unkraut umfangreich von verschiedenen Autoren (UJVAROSI, 1952; BUCHLI, 1936; RADEMACHER, 1941) untersucht, aber auch hier warnt PETERSEN (1951) vor „grobe(n) Fehlschlüsse(n) aufgrund mangelnder Kenntnis.“ Jedoch ist bekannt, dass bei der richtigen Partnerwahl in Gemengen eine stärkere Unkrautunterdrückung erreicht wird als in Reinbeständen. MAKOWSKI (2005) führt den Effekt in Getreidegemengen auf dichtere Bestände zurück, die eine stärkere Konkurrenz um Wachstumsfaktoren auslösen. Die günstige Wirkung kann jedoch auch mit physikalischen und/oder allelopathische Faktoren begründet werden.

Zu diesem Schluss kommen auch PAULSEN und SCHOCHOW (2007), die nach Untersuchungen von Mischanbausystemen mit Ölpflanzen im ökologischen Landbau festhalten, dass sich geringere Unkrautdeckungsgrade in der Regel mit höheren Kulturpflanzendeckungsgraden erklären lassen. Alle Mischungen wiesen dabei ein im Vergleich zu mindestens einer an dem Gemenge beteiligten Kulturpflanze in Reinsaat höheres Unkrautunterdrückungsvermögen auf. Höhere Werte von Blattflächenindices in Reinkultur in Verbindung mit höherem Unkrautbesatz gegenüber der Mischkultur veranlassten die Autoren zu der Vermutung, dass neben der Unkrautunterdrückung durch höhere Bestandesdichten herbeigeführte Lichtkonkurrenz im Mischfruchtanbau auch ein Wettbewerb um andere Wachstumsfaktoren besteht. Eine indirekte Beeinflussung der Gemengepartner kann auch dadurch entstehen, dass der Befall durch Schädlinge und Krankheitserreger in Mischkulturen geringer als in der Reinsaat ist.

Da die meisten Pflanzenkrankheiten artspezifisch sind, werden nicht alle Mischungspartner befallen und in ihrer Ertragbildung beeinflusst. Die Partnerpflanzen werden aber nicht nur weniger befallen, sondern bilden auch eine natürliche Barriere bei der Ausbreitung der Krankheitserreger. MAKOWSKI (2005) unterstreicht aus diesem Grund die Bedeutung dieses Anbauverfahrens für den ökologischen Anbau, da der Mischfruchtanbau neben der Fruchtfolgegestaltung die einzige Möglichkeit zur Einschränkung von Pilzkrankheiten darstellt. Er sieht hier aber auch einen Ansatz zur Ökologisierung der konventionellen Produktion, da die Sorten einer Kulturpflanzenart unterschiedliche Resistenzen gegenüber Krankheitserregern besitzen. Die Reduzierung von Blattkrankheiten wie Mehltau und Roste im Gemengebau konnten in Untersuchungen nach HOF und RAUBER (2003) deshalb so eindeutig nachgewiesen werden (GIEFFERS und HESSELBACH, 1988; TRÄNKNER und WELTZIEN, 1989; GACEK et al., 1996), da es sich um luftbürtige Erreger handelt, bei denen die räumliche Distanz der Wirtspflanzen im Gemenge gegenüber der Reinsaat besonders zum Tragen kommt.

Der Befall mit tierischen Schädlingen im Mischfruchtanbau muss differenzierter bewertet werden. Nach den Untersuchungen von RISCH et al. (1983) erfolgt im Gemenge grundsätzlich eine Reduktion

von Schädlingen, wenn diese stark spezialisiert und an einen Wirt gebunden sind. Auch ANDOW (1991) nennt Beispiele, die belegen, dass besonders spezialisierte Arten in alternativen Anbausystemen nicht so gehäuft auftreten. Als Gründe für diesen Effekt führen ULBER und KÜHNE (2007) eine „Maskierung“ der Wirtspflanze durch den Gemegepartner und höhere „Antagonistendichten“ in Mischbeständen an. Bei Rapsschädlingen wird von Parasitisierungsraten von bis zu über 80 % berichtet (NILSSON, 2003; ULBER, 2003; WILLIAMS, 2004). Bei der Untersuchung des Schädlingbefalls an Raps in Rein- und Mischfruchtanbau an verschiedenen Standorten konnten ULBER und KÜHNE (2007) jedoch keine gesicherte Reduzierung des Schädlingbefalls feststellen. Artunspezifische Schädlinge können in Gemengen durchaus häufiger auftreten als in den entsprechenden Reinsaaten (MAKOWSKI, 2005).

Das gezielte Mischen von Leguminosen und Stützfrüchten hat im ökologischen Anbau im letzten Jahrzehnt regional an Bedeutung gewonnen. Das Lagern der Erbsenbestände wird durch die abiotischen Einflussfaktoren Wind und Niederschlag verursacht. Besonders in Gebieten mit hohen Sommerniederschlägen, wie z. B. in einigen Regionen Bayerns und Österreichs, können die Ertragsausfälle beträchtlich sein (MAKOWSKI und BRAND, 2000). Als Stützfrüchte kommen dort Getreide und Leindotter in Frage, da, abgesehen von der gut zueinander passenden Pflanzenentwicklung, die unterschiedlichen Korngrößen der Kulturarten eine leichte Separierung des Ernteguts nach dem Drusch erlauben.

Die Bodenerosion wird durch Wind und Niederschlag bedingt. Nährstoffverluste durch Bodenabtrag bedeuten für den Landwirt ökonomische Verluste, langfristige Standortdegradation und darüber hinaus eine Umweltgefährdung und sind deshalb zu vermeiden. Ebenso sollte auch der Auswaschung der im Bodenwasser gelösten Nährstoffe begegnet werden. HOF und RAUBER (2003) nennen die Untersaat (spezielle Form des Mischfruchtanbaus) und Gemenge in Form von Zwischenfrüchten als Maßnahmen gegen Erosion und Nährstoffauswaschung. Aber auch Zwischenfrüchte in Reinsaat, die richtige Wahl des Umbruchzeitpunktes und Saatverfahrens (Mulchsaatverfahren) können wirkungsvoll als Erosions- und Auswaschungsschutz dienen.

Der Gemegebau als Schutz vor Kälte und Vertrocknung ist in extremen Lagen denkbar. Über sortenspezifische Unterschiede können Ertragsausfälle der auf den jeweiligen Einflussfaktor anfällig reagierenden Sorte gegenüber der Reinsaat kompensiert werden. Bei der Wassernutzung im Gemenge wurde bereits auf die Möglichkeit der besseren Wurzelraumnutzung hingewiesen. Darüber hinaus ist ein Verdunstungsschutz durch Bestandesschichtung und Bodenbedeckung denkbar (HOF und RAUBER, 2003).

Die Saatzeit sollte nach Möglichkeit für beide Partner gleich sein. Dieses Erfordernis hat einen arbeitswirtschaftlichen Grund. Sollten z.B. erhebliche Unterschiede in der Keimtemperatur oder in der Frostgefährdung bestehen, ist ein zweiter Arbeitsgang notwendig. Es ist auch möglich, die spätere Aussaat des zweiten oder dritten Partners mit einer mechanischen Pflegemaßnahme zu verbinden, die im ökologischen Landbau die Regel ist.

Große Differenzen im Entwicklungsrhythmus der Partner können nicht nur die Pflegearbeiten während der Vegetationszeit erheblich beeinträchtigen, sondern auch zur Unterdrückung des anderen Mischungspartners führen. Dieser wirkt dann als Konkurrent um Wasser, Licht und Nährstoffe und bedingt so einen niedrigeren Ertrag.

Bei näher verwandten Arten besteht die Gefahr, dass Krankheiten und Schädlinge bei den Mischungspartnern gleiche Schäden hervorrufen. Um diesen Schädwirkungen zu begegnen, sollte grundsätzlich auf unterschiedliche Arten orientiert werden, denn gerade der Mischanbau zum Schutz vor Krankheiten und Schädlingen ist von weitreichender Bedeutung. Das gilt sowohl für den ökologischen als auch für den konventionellen Landbau.

Die gleichzeitige optimale Reife ist das wichtigste Kriterium für eine erfolgreiche Gemengezusammenstellung. Es ist eine Gesetzmäßigkeit, dass Pflanzen, die in einer Gesellschaft zusammenleben sich auch gegenseitig anpassen. Diese Angleichung ist aber nur in begrenztem Umfang möglich, insbesondere bei der Abreife. Aus praktischer Sicht besteht die Möglichkeit, mit Hilfe von Sorten unterschiedlicher Reife zu variieren, so z.B. von einer frühen Art eine späte Sorte und von einer späten Art eine frühe Sorte zur Partnerschaft auszuwählen, um den Gemengebestand zum gleichen Zeitpunkt ernten zu können.

2.2 Formen und Verbreitung des Mischfruchtanbaus

AUFHAMMER (1999) fasst zusammen, dass der Mischfruchtanbau besonders dort verbreitet ist, wo arbeitsintensive und betriebsmittelarme Produktionsverfahren aufeinandertreffen. Hingegen ist er in hochtechnisierten Produktionssystemen mit einer großen Verfügbarkeit von Produktionsmitteln nur wenig verbreitet.

Ausgehend von der Saatedichte wird im Mischfruchtanbau zwischen substitutiven und additiven Gemengen unterschieden. Bei substitutiven Gemengen bedeutet dies, dass der relative Anteil eines Mischungspartners in Reinsaat durch den relativen Anteil des anderen Mischungspartners ersetzt wird. Entsprechend wird bei additiven Gemengen mit deutlich höheren Aussaatstärken gearbeitet. Für den Mischanbau von Körnerfrüchten empfehlen DAHLMANN et al. (2007) grundsätzlich additive

Aussaatverhältnisse, da sie eine höhere Ertragssicherheit gewährleisten. Untersuchungen von Sommergerste und Körnererbsen mit additiven und substitutiven Mischungen belegen diese Aussage.

Das übliche Aussaatverfahren erfolgt ohne spezielle Anordnung der Mischungspartner, wenn die Tausendkorngewichte nicht so stark differieren, dass eine Entmischung im Saatkasten zu befürchten ist und ein Kompromiss bezüglich der Ablagetiefe eingegangen werden kann (HOF und RAUBER, 2003). Ansonsten muss in einem zweiten Arbeitsgang der feinkörnige Mischungspartner in einem absätzigen Verfahren in Breitsaat und Striegel bzw. in Drillsaat mit einer zweiten Überfahrt gesät werden (PAULSEN und PSCHIEDL, 2007). Ebenso wie bei dem Verfahren der einfachen Saatgutmischung sind die absätzigen Verfahren mit herkömmlicher Technik durchführbar. Durch mindestens einen zusätzlichen Arbeitsgang kann die Aussaattiefe bei Drillsaat mit zwei Überfahrten exakt vorgenommen, bei der Breitsaat kann zumindest ein Mischungspartner optimal abgelegt werden. Die Saattiefe kann bei der Einarbeitung der Breitsaat mit dem Striegel nicht exakt eingehalten werden. Wird die Breitsaat mit Striegel zeitlich auf die Aussaat des ersten Mischungspartners richtig abgestimmt, erfüllt dieser Arbeitsgang auch zusätzlich die Funktion einer Unkrautbekämpfung (PIETSCH et al., 2006; FREYER et al., 2005). Eine optimale Saatgutverteilung ist mit beiden absätzigen Verfahren nicht möglich, zudem nennen PAULSEN und PSCHIEDL (2007) die Gefahr der Bodenverdichtung bei dem Verfahren der Drillsaat mit zwei Überfahrten als weiteren Nachteil. Mittlerweile ist die Drilltechnik zur Etablierung von Mischfruchtssystemen jedoch so weit entwickelt, dass mit Hilfe von getrennten Säkästen, Leitungen und Scharen, die eine unterschiedlich tiefe Kornablage garantieren, eine optimale Aussaat mit den für den Mischungspartner gewünschten Standraumbedingungen erreicht wird. Dieses kombinierte Verfahren führt je nach Reihenabstand zu einer Reihen- bzw. Reihen-Streifenanordnung. PAULSEN und SCHOCHOW (2007) stellen bei einer Gegenüberstellung der Saatverfahren „Breitsaat“ und „alternierende Reihen“ am Beispiel eines Gemenges aus Erbsen und Leindotter fest, dass im Vergleich zur Reinsaat in der Summe der Erträge im Mischfruchtanbau mit beiden Verfahren höhere Erträge erzielt werden. Die höchsten Gesamterträge werden mit dem Verfahren „Breitsaat“, höhere Leindottererträge im Gemenge mit dem Verfahren „alternierende Reihen“ erzielt. Für ein Gemenge aus Sommergerste und Körnererbse in alternierenden Reihen und „ohne spezielle Anordnung“ können DAHLMANN et al. (2007) keinen Einfluss der Standraumzuteilung auf den Kornertrag ableiten.

Reihenkulturen wie „row intercropping“ (Reihenordnung), „strip intercropping“ (Streifenanordnung) und „relay planting“ haben unter den sozioökonomischen Verhältnissen von sogenannten Entwicklungsländern eine große Bedeutung. Neben dem Erosionsschutz, einer besseren

Nährstoffnutzung und einer höheren Agrobiodiversität wird die Bereitstellung von pflanzlichem Eiweiß für die menschliche Ernährung in der Subsistenzwirtschaft angestrebt.

Im weiteren Sinne können auch Agroforestal-Systeme dem Misanbau zugeordnet werden („alley cropping“). Dieses Verfahren kombiniert den Anbau landwirtschaftlicher Kulturen mit mehrjährigen Gehölzen. Über die Einbindung der Gehölze werden verschiedene Ziele verfolgt:

- Bodenschutz (Erosion)
- Bodenverbesserung
- Wind- und Sonnenschutz
- Grundwasserabsenkungen entgegenwirkend
- energetische Nutzung.

Daher wird in der agroforstwirtschaftlichen Literatur auch von „Mehrzweckbäumen“ gesprochen. Ein bekanntes Beispiel für ein Agroforestalsystem ist die extensive Kaffeeproduktion unter Schattenbäumen. Die Beschattung schützt die junge Pflanze vor zu hoher Transpiration und vor extremen Temperaturunterschieden in den Höhenlagen und vermindert so den Bedarf an mineralischen Düngemitteln. Allerdings werden in diesem System auch keine Höchstserträge erzielt (REHM und ESPIG, 1995).

Mit Ausnahme des „Relay Planting“, das zur Nährstoffbindung und zum Erosionsschutz mit unterschiedlichen Erfolgen auch im Maisanbau versucht wurde (LÜTKE-ENTRUP, 1989), sind diese Anbausysteme auf die Verhältnisse einer intensivierten Landwirtschaft nicht übertragbar. Das Anbausystem „Relay Planting“ ist durch die spätere Einsaat eines zweiten Mischungspartners in die etablierte bzw. abreifende Hauptfrucht gekennzeichnet.

2.3 Entwicklung von Mischfruchtanbau und Reinsaat

Der Misanbau hatte bis in die Mitte des 19. Jahrhunderts eine weite Verbreitung. Seine Verdrängung durch die Reinsaat war eine Konsequenz der Forschungs- und Entwicklungsbemühungen der Landtechnik, der Pflanzenzüchtung sowie der Dünge- und Pflanzenschutzmittelherstellung. Durch die Nutzung dieser Intensivierungsfaktoren war es möglich, sich weniger von den Naturgegebenheiten und –einflüssen abhängig zu machen und die Erträge deutlich zu steigern. Welche Ertragssteigerungen in den letzten 50 Jahren erzielt wurden, kann ein Beispiel aus Mecklenburg-Vorpommern belegen. 1954 belief sich der Weizenertrag auf 26,2 dt/ha, 2004 waren es 78,9 dt/ha, was einer Verdreifachung entspricht. Im diesem Zeitraum vervielfältigte

sich auch die Anwendung von synthetischem Stickstoff und von Pflanzenschutzmitteln (BACKHAUS, 2001).

Aus marktwirtschaftlichen Gründen geht in Europa die Entwicklung in Richtung weiterer Spezialisierung und Konzentration auf bestimmte Feldfrüchte (BUCHNER, 2001). Dieser anhaltende Trend hat zu einer Massenvermehrung von Schädlingen und Krankheitserregern geführt. Die wenigen Gewinn versprechenden Feldfrüchte lassen keine geregelte Fruchtfolge mit längeren Rotationszeiten zu. Fruchtfolgemängel werden heute mit entsprechenden Agrochemikalien abgefangen. Obgleich ihr umfangreicher Einsatz immer mit Mehraufwand, höheren Kosten und Belastungen der Umwelt verbunden ist, wird aus wirtschaftlichen Gründen weiterhin die hochintensive Produktionsweise verfolgt (BAEUMER, 1994).

In der Grünland- und Forstwirtschaft sind in Deutschland Mischungen verschiedener Arten bis heute - auch bei einer zum Teil hohen Intensitätsstufe der Produktion - praxisüblich. Grundsätzlich anders ist es im Ackerbau. Der Anbau von Getreidegemengen von 0,5 % an der Getreideanbaufläche ist bedeutungslos (ANONYMUS, 2002 bis 2006).

Der Gemengebau von Körnerfrüchten ist auf bestimmte Nischen beschränkt. AUFHAMMER (1999) berichtet von Weizensortenmischungen für die Produktion von Futtergetreide, aber auch als Rohstoff für die Brot- und Gebäckherstellung. Ein weiteres, wohl auch bekannteres Beispiel sind die Sortenmischungen von Braugerste zur Minderung möglicher Ertragsausfälle durch Mehltau in der DDR (HARTLEB und SKADOW, 1990). Bei diesem Verfahren konnten durch die Sortenmischungen deutliche Mehrerträge erzielt werden. Die Verbreitung in der Praxis begründete sich auch mit dem Fehlen von Fungiziden. Die Körnerfruchtgemenge haben im ökologischen Anbau zwar eine größere Bedeutung als in der konventionellen Produktion, jedoch ist auch hier der Anteil gering. In erster Linie werden Körnerleguminosen mit Getreidearten oder Ölpflanzen gemengt.

2.4 Vorfruchtwert und Einordnung des Mischfruchtanbaus in die Fruchtfolge

Erfahrungsberichte aus der landwirtschaftlichen Praxis, die Mischsaaten eine höhere und nachhaltigere Beeinflussung der Bodenfruchtbarkeit zusprachen, veranlassten MÜLLER (1965), bodenbiologische Prüfungen bei Rein- und Mischsaaten durchzuführen. Zur Beurteilung der bodenbiologischen Wertigkeit unterschiedlicher Kulturpflanzenbestände wurden klimatische, biologische (Bakterien, Pilze, Tiere, Pflanzenertrag), physikalische und chemische Prüffaktoren untersucht. Der Autor konnte nachweisen, dass im Vergleich zu einem unbestellten Prüfglied

pflanzenartspezifische Unterschiede in den Prüfmerkmalen auftraten. Auch die empirischen Beobachtungen bestätigten, dass Mischsaaten gegenüber Reinsaaten eine höhere biologische Wertigkeit besitzen.

Der Begriff Bodenfruchtbarkeit kann je nach Definition auf den Boden an sich, oder auch auf die Gesamtheit der Standortfaktoren einschließlich ökonomischer Aspekte bezogen werden (KÖNNECKE, 1966). BOSCH (1991) rät, den Begriff „Bodenfruchtbarkeit“ in der landwirtschaftlich-bodenkundlichen Literatur zu vermeiden, da er nur unzureichend definiert sei. BOGUSLAWSKI (1965) unterscheidet physikalische, anorganisch-chemische, organisch-biologische und den Wasserhaushalt der Böden betreffende Bodenfruchtbarkeitskennziffern, deren Wechselwirkungen derart komplex sind, dass die Verwendung des Begriffs „Bodenfruchtbarkeit“ im landwirtschaftlichen Kontext zur Beschreibung des Standortes gerade wegen ihrer umfassenden Bedeutung praktikabel erscheint. EHWALD (1963) stellt fest, dass die Fruchtbarkeit bestimmenden Eigenschaften der Böden durch ackerbauliche Tätigkeit größtenteils steuerbar sind, allerdings ist die Textur, als ein die Bodenfruchtbarkeit beeinflussendes Element, agrotechnisch nicht leitbar (KÖPPEN, 2004). Dieser Autor hebt den „Systemaspekt“ hervor:

- Bodenfruchtbarkeit als wesentlicher Bestandteil des Agrarökosystems
- Bodenfruchtbarkeit als Fundament der Landbewirtschaftung
- die Bedeutung der Bodenfruchtbarkeit für die Entsorgungsleistung des Bodens
- Wechselwirkung der Bodenfruchtbarkeit mit dem jeweiligen Bodennutzungssystem.

Eine wesentliche Einflussgröße auf die Bodenfruchtbarkeit hat der Humus als Synonym für die organische Bodensubstanz (OBS). Die OBS dient den Pflanzen als Nährstoffquelle, hat eine Filter- und Pufferfunktion, begünstigt stabile Aggregatgefüge, hat eine hohe Wasserspeicherkapazität, hat Einfluss auf die Trockenrohdichte und fördert die biologische Aktivität der Böden (SCHEFFER u. SCHACHTSCHABEL, 2002). Der Ausweitung der Landwirtschaft und veränderten Landnutzung seit der Industrialisierung wird eine wesentliche Bedeutung des globalen CO₂-Anstiegs in der Atmosphäre infolge abnehmender Humusgehalte in den Böden zugeschrieben (HAIDER, 1996; REUTER et al., 2007). Zu den wichtigsten, die OBS beeinflussenden Intensivierungsfaktoren in der Landwirtschaft gehören die Bodenbearbeitung, die Düngung und die Auswahl der Feldfrüchte und ihre Stellung in der Fruchtfolge (SCHEFFER, 2002).

BAEUMER (1994) unterscheidet mit der Lockerboden-, der Festboden-Mulchwirtschaft und einer Kombination beider Verfahren verschiedene Systeme der Bodenbearbeitung. Der Lockerbodenwirtschaft wird zwar ein wichtiger Beitrag zur Unkraut-, Schädlings- und

Krankheitsbekämpfung zugebilligt, allerdings verbindet sich mit der wendenden Bodenbearbeitung auch ein schnellerer Abbau organischer Substanz infolge zerstörter Mikroaggregate (BALESDENT et al., 2000) und Bodenverdichtungen mit verminderter Luft- und Wasserleitfähigkeit und einem erhöhten Eindringungswiderstand für die Pflanzenwurzel (BAEUMER, 1994).

Die Düngung ist eine weitere, wichtige Einflussgröße auf die OBS. Mit der Wirkung der Düngung auf die OBS haben sich zahlreiche Wissenschaftler beschäftigt (KÖHNLEIN und VETTER, 1953; MÜLLER, 1965; EICH und FREYTAG, 1984; RAUHE, 1960; BAEUMER, 1994). Organische Düngemittel sind in der Regel Nebenprodukte der landwirtschaftlichen Produktion; die Nährstoffe sind an Kohlenstoff gebunden (WIKIPEDIA, 2008a). In der modernen Landwirtschaft gehört die Strohdüngung, in viehhaltenden Betrieben in Kombination mit der Gülledüngung, zu den gebräuchlichsten Wirtschaftsdüngern. Anorganische, d. h. mineralische Düngemittel sind bezüglich ihrer Nährstoffgehalte und Wirkungsweise genau definiert. Mit organischer Düngung, besser noch in Verbindung mit mineralischer Düngung kann der Humusgehalt erhalten bzw. erhöht werden (ASMUS, 1992; Sauerbeck, 1992).

Die Menge und Zusammensetzung der Ernte- und Wurzelrückstände, die aus pflanzenbaulicher Sicht den Vorfruchtwert bestimmen (PÄTZOLD, 1963), werden u. a. von den abiotischen Faktoren Klima, Boden und Wasser, aber auch von der Pflanzenart und dem Zeitpunkt der Nutzung bestimmt (KUNTZE, 1964). Unterschiede bezüglich der Bodenbiologie im vitalen Pflanzenbestand bleiben nach Untersuchungen von MÜLLER (1965) im ersten und zweiten Nachbaujahr nicht nur bestehen, sondern werden noch gesteigert, was zu einer Überdeckung der Effekte in einer Fruchtfolge führt. Die Dynamik der Bodenbakterien, -pilze und -tiere unterschiedlicher physiologischer Gruppen, die auf verschiedene Abbaustadien spezialisiert sind, ist abhängig von der Menge der anfallenden Ernte- und Wurzelrückstände, also der Höhe des Kohlenstoffangebots, und der qualitativen Zusammensetzung der Pflanzenreste. Gegenüber Monokulturen konnte in Böden mit einer Fruchtfolgegestaltung ein höheres Verhältnis des mikrobiell gebundenen Kohlenstoffs zum organischen Kohlenstoff festgestellt werden, was mit einer besseren Nutzung des differenzierten Substratangebots durch die Mikroorganismen erklärt werden kann (ANDERSON und DOMSCH, 1989; BECK, 1990; HAIDER und GRÖBLINGHOFF, 1990). Die Bedeutung der organischen Substanz für die biologische Aktivität der Böden wird durch die Bemühungen zum Erhalt biologischer Vielfalt unterstrichen. Bezüglich der Einschätzung der Vorfruchtwirkung eines Mischbestandes ist AUFHAMMER (1999) der Ansicht, dass für Mischbestände grundsätzlich keine klar definierten Nutzeffekte prognostizierbar sind, und dass zwischen Sortenmischungen und Artenmischungen differenziert werden muss. Im Vergleich zu Artenmischungen ergibt sich bei Sortenmischungen eine

gleichmäßiger verteilte und stofflich homogenere Hinterlassenschaft auf dem Feld. Dieser Effekt hängt allerdings auch stark vom Aussaatverfahren und der damit verbundenen Verteilung der Sorten bzw. Arten ab. Unterschiedliche Abreife, Kornverluste und Keimruhe sowie sorten- und artenspezifische Erntereste können ein differenziertes Schaderregerpotential innerhalb einer Fruchtfolge aufrechterhalten. Im Hinblick auf Nährstoffflüsse weichen Misch- von Reinbeständen ebenso ab. Während die Menge und Wirkung der Ernte- und Wurzelrückstände bei Sortenmischungen kalkulierbar bleibt, ist die Vorfruchtwirkung eines artengemischten Bestandes schwerer vorhersagbar, da die Mineralisierungsprozesse von denen der jeweiligen Reinsaat besonders dann abweichen dürften, wenn Leguminosen Komponenten des Gemenges sind. Für die Entfaltung bodenbiologischer Vielfalt sind diese Bedingungen, wie eingangs erwähnt, vorteilhaft.

Tab. 1 Von Reinsaat abweichende Fruchtfolgewirkung von Sorten- und Artenmischungen in Körnerfruchtbeständen (nach AUFHAMMER, 1999)

Sortenmischungen	Artenmischungen
• Auflauf von Ausfallkörnern in Abhängigkeit sorteneigener Ausfallneigung und Keimruhe • Krankheits- und Schädlingsbefall der Erntereste sortenspezifisch – keine Durchbrechung der Schaderregerkette	• Artenspezifischer Ausfall und Auslauf der Ausfallkörner • Befall der Erntereste mit spezialisierten Krankheiten und Schädlingen • Nährstoffentzug und –rückfluss artenabhängig • Gegenüber der jeweiligen Reinsaat abweichende Rückstandmineralisierung • Arteigene „Wurzelbilder“ mit horizontal und vertikal abweichender Einmischung organischer Substanz

2.5 Leistungsbeurteilung von Mischkulturen

Untersuchungen zur Ertragsstruktur und Ertragskomponentenentwicklung im Gemengebau beziehen sich in der Regel auf Körnerfruchtarten. Diente der Mischfruchtanbau von Körnerfrüchten in früheren Zeiten vorrangig der Ertragsstabilisierung, kommen heute ökologische Aspekte und bestimmte Qualitätseigenschaften spezieller Rohstoffe hinzu. Neben der Ertragsstabilität verbindet sich mit dem Mischfruchtanbau im Feldfutterbau die Erwartung, ein an Inhaltsstoffen reiches und vielseitiges Futter produzieren zu können (SIEBOLD, 1957). Die Beurteilung der Leistungsfähigkeit von Mischbeständen erfolgt anhand der Kenngrößen Ertrag, Ertragsqualität und Ertragsstabilität im

Vergleich zur jeweiligen Reinsaat der Mischungspartner. Bei der Leistungsbeurteilung müssen allerdings auch das Anbauverfahren und das Anbauziel berücksichtigt werden. Für den Mischfruchtanbau von Druschfrüchten sind dem Bericht der Interessensgemeinschaft Mischfruchtanbau (2006/2007) folgende Produktionsziele zu entnehmen:

- Mischungen zur zusätzlichen Erzeugung von Pflanzenöl,
- Mischungen zur Produktion von Saatgut,
- Mischungen zur Verbesserung von Qualitätskriterien,
- Mischungen zum Anbau von Sonderkulturen,
- Mischungen zur Kraftfuttererzeugung und
- Mischungen zur Verbesserung der Bodenfruchtbarkeit.

Dabei wird offensichtlich, dass beispielsweise die zusätzliche Erzeugung von Pflanzenöl mit dem Leindotter als Stützfrucht der Leguminosen Erbse, Ackerbohne und Linse erfolgt. Der Wert des Leindotters besteht darin, dass er in Gebieten mit hohen Sommerniederschlägen das Lagerungsrisiko des Mischungspartners herabsetzt, in Verbindung mit dem Mischungspartner zu einer besseren Unkrautunterdrückung beiträgt und zusätzlich einen Ölertrag liefert, der ausreicht, um den Kraftstoffbedarf für das Produktionsverfahren zu decken (PAULSEN, 2003).

Die hohen qualitativen Ansprüche der Nahrungsmittelerzeugung werden beim Energiepflanzenanbau Masse betonten Ertragsansprüchen untergeordnet (BUTTLAR und DIETZE, 2006). Zudem wird von der „Bioenergieerzeugung“ erwartet, dass diese sich am Prinzip der Nachhaltigkeit orientiert, was ebenfalls ein Leistungskriterium darstellt. Von Seiten des Naturschutzbunds Deutschland wird befürchtet, dass der Energiepflanzenanbau zu einer weiteren Intensivierung der Produktion führt, die die ökologischen Folgewirkungen in der Landwirtschaft verschärft und zu einschneidenden Veränderungen des Kulturlandschaftsbilds führt (SCHÖNE, 2007).

Ziel des Mischfruchtanbaus muss es sein, höhere und stabilere Erträge zu erreichen als mit Reinsaat. Anhand verschiedener Gleichungen ist es möglich, Aussagen über die Leistungsfähigkeit von Misch- gegenüber Reinbeständen, aber auch über die Konkurrenzsituation in den Mischbeständen zu treffen. Nach HOF und RAUBER (2003) ist ein Mehrertrag erreicht, wenn der Ertrag der Hauptfrucht im Gemenge dem der Reinsaat entspricht und über die Mischungspartner zusätzliche Erträge realisiert werden oder die Summe der Erträge der Mischungspartner höher liegt als der höchste Ertrag der einzelnen Mischungspartner in Reinsaat. VANDERMEER (1989) umschreibt in seiner Definition den Begriff „Mehrertrag“ mit „Nutzungseffizienz der Wachstumsfaktoren“.

Entsprechend erreicht ein Gemenge eine höhere „Nutzungseffizienz der Wachstumsfaktoren“, wenn die Mischungspartner in der Summe höhere Trockenmasseerträge erreichen als die jeweilige Reinsaat bzw. ein Mischungspartner im Gemenge sogar höhere Erträge bildet als in dem entsprechenden Reinbestand.

Von dem Erwartungswert des Gemenges wird gesprochen, wenn die gemittelten Werte der zu vergleichenden Merkmale der Mischungspartner in Reinsaat von den entsprechenden Werten im Verfahren Mischfruchtanbau übertroffen werden. Bei der Berechnung des Erwartungswertes müssen nach AUFHAMMER (1999) die Saatkichten der einzelnen Komponenten im Gemenge zur Saatkichte der jeweiligen Reinsaat ins Verhältnis gesetzt, besser noch, die Pflanzenzahlen nach Feldaufgang berücksichtigt werden. Der Erwartungswert ist neben der leistungsfähigsten Reinsaat eine Bezugsgröße zur Ermittlung des Mischungseffektes als Differenz zum Erwartungswert bzw. zur Ermittlung des Mischungskoeffizienten.

Die relativen Ertragsparameter Flächenäquivalenzverhältnis (Land Equivalent Ratio, LER) und Relativer Gesamtertrag (Relativ Yield Total, RYT) als Verhältnis des Ertrages jeder einzelnen Mischungskomponente im Gemenge (M_k) und in Reinsaat (R) unterscheiden sich in ihrer Berechnung nicht, bieten allerdings unterschiedliche Möglichkeiten der Interpretation (DE WIT, 1960; MEAD und WILLEY, 1980):

$$RYT=LER=(M_{k1}/R_1)+(M_{k2}/R_2)+...(M_{kn}/R_n).$$

Der LER-Wert drückt aus, wie hoch die Flächenbeanspruchung des Gemenges gegenüber der Reinsaat ist. Ein LER-Wert größer 1 wird als Ertragsvorteil, ein LER-Wert kleiner 1 als Ertragsnachteil des Gemenges gegenüber der Reinsaat interpretiert. Dargestellt als RYT-Wert können die Konkurrenzverhältnisse bzw. der Grad der komplementären Nutzung der Wachstumsfaktoren durch die Mischungspartner im Gemenge eingeschätzt werden. Ist der RYT-Wert, der nach AUFHAMMER (1999) nur für ein nach dem Additionsprinzip erstelltes Gemenge korrekt angewendet werden kann, größer 1, kann eine komplementäre Nutzung der Wachstumsfaktoren durch die Gemengepartner angenommen werden, während bei RYT-Werten gleich oder kleiner 1 von einer vollständigen Konkurrenzsituation der Gemengepartner um die Wachstumsfaktoren ausgegangen werden muss. Nach AUFHAMMER (1999) kann eine komplementäre Nutzung auch als Kompensation erfolgen, d. h., wenn der Ertragsabfall einer Mischungskomponente aufgrund der für sie ungünstigen Umweltbedingungen durch die andere Mischungskomponente ausgeglichen wird. Auf bestimmten Standorten, beispielsweise in trockenen oder frostgefährdeten Lagen, dient der Mischfruchtanbau zur Risikominimierung. WILSON (1988) versucht über den Konkurrenz-Balance-Index bzw. den Konkurrenz-Intensitätsindex die Konkurrenzsituation in dem Gemenge genauer zu beschreiben. Der

Konkurrenz-Balance-Index drückt die Konkurrenzfähigkeit der Mischungspartner untereinander aus; der Konkurrenz-Intensitäts-Index bildet den bei abnehmenden Standraum zunehmenden Wettbewerb der Gemegepartner um die Wachstumsfaktoren ab.

2.6 Futterbaugemeinde mit Relevanz für den Energiepflanzenbau

Im ökologischen Landbau sind Futterbaugemeinde üblich. Bei dieser Wirtschaftsweise haben besonders Klee-gras-gemeinde mit fast 15 % der Anbaufläche (AGÖL, 2003) für die Humusreproduktion und den Stickstoffeintrag eine zentrale Stellung. Klee-gras-gemeinde sind im ökologischen Landbau ebenso wie Luzernegras-gemeinde als mehrjährige Futterbaugemeinde angelegt, aber auch in Winterzwischenfruchtstellung (Landsberger Gemeinde) oder in Hauptfruchtstellung (Persischer bzw. Alexandriner Klee/Einjähriges Weidelgras) zu finden.

Die Bandbreite bekannter Mischungen ist, wie Tab. 2 zeigt, für den Futterbau nahezu unerschöpflich. Im Gegensatz zu Körnerfrucht-gemeinden ist das Kriterium der gleichzeitigen Abreife für Futterbaugemeinde nicht zwingend. Neben dem Futterbau spielen Gemeinde auch für die Nutzungsrichtungen Gründüngung und Bienenweide eine Rolle. Im Folgenden werden ausgewählte Gemeinde nach ihrer Stellung in der Fruchtfolge besprochen. Grundsätzlich liegt die vorrangige Schwierigkeit bei Artenmischungen für die Biomasseproduktion im Energiepflanzenbau in der Ausnutzung des Ertragspotenzials der einzelnen Art. Unabhängig vom Standort sind die Erträge leistungsfähiger, züchterisch stark bearbeiteter Sorten in Reinsaat, deren Ertragskomponenten durch die Düngung gezielt beeinflusst werden, bei gleichzeitigem Schutz vor Schaderregern und Unkräutern durch Gemeinde nicht zu erreichen. Insbesondere bei der Mischung dikotyler und monokotyler Kulturpflanzen ist die Herbizidwahl stark eingeschränkt. Außerdem muss berücksichtigt werden, dass die Mischungspartner eines Gemeindes zum Teil sehr unterschiedliche Ansprüche an Düngungsmaßnahmen haben. Diese wirken sich entscheidend auf die Etablierung der Einzelpflanze im Gemeinde aus und haben somit starken Einfluss auf das Gelingen des Mischfruchtanbaus. Trotzdem könnten die aus dem ökologischen Landbau bekannt gewordenen Vorteile des Mischfruchtanbaus genutzt werden, um unter bestimmten Standort- und Produktionsbedingungen höhere Naturalerträge bei deutlich reduziertem Aufwand von Agrochemikalien zu erzielen (MAKOWSKI, 2006).

Tab. 2: Futterpflanzen und Gemenge (nach HOF und RAUBER, 2003)

Nr.	Art	botanischer Name	Rein- saat- stärke kg/ha	Tausend- korn- masse g (TKM)	Nutzungs- zeit So = nicht winter- hart Wi = winter- hart A = aus- dauernd	Standort, bevorzugt	Eignung zur Untersaat ++ sehr gut + gut - schlecht -- sehr schlecht	Nutzungsart Fu = Futter GD = Grün- düngung Bi = Bienen- weide	Eignung im Gemenge insbesondere mit Nr.
Leguminosen									
1	Rotklee	Trifolium pratense L.	15-20	1,7-2,2	A	alle, feucht, kühl	+	Fu	2,3,4,5,24,25,26,27,28,29,30
2	Luzerne	Medicago spp.	18-35	1,8-2,7	A	tiefgründig, kalkhaltig, trocken	+	Fu	1,3,6,7,24,25,26,27,28,29,30
3	Weißklee	Trifolium repens L.	10	0,5-0,8	A	alle feucht	++	Fu	1,2,24,25,26,27,28,29,30
4	Gelbklee	Medicago lupulina L.	15-20	1,2-2,3	A	alle	++	Fu, GD	1,29,30,25,3,6,10,8,27,28
5	Schwedenklee	Trifolium hybridum L.	8-15	0,6-0,9	A	alle, feucht, kühl	+	Fu, GD, Bi	1,27,28,25,30,3,4,6
6	Homklee	Lotus comiculatus L.	10-20	1-1,3	A	kalkhaltig, trocken	+	Fu, GD, Bi	2,1,3,25,27,28,29,30,4,40,41
7	Gelber Steinklee	Mellilotus officinalis (L.) Pall.	15-30	1,8-2,3	A	alle	+	(Fu), GD, Bi	2,30,4,Kräuter
8	Erdklee	Trifolium subterraneum L.	20-30	5-10	So	alle, warm	++	Fu, GD	16,18,39,11,40,1,5,27,25
9	Esparssette	Onobrychis viciifolia Scop.	120-130	20-25	A	kalkhaltig, trocken	+	Fu, GD, Bi	6,30,29,4,24,2
10	Persischer Klee	Trifolium resupinatum L.	16-30	0,8-1,5	So	leicht-mittel, warm, feucht		Fu, GD, Bi	11,31,25,38,39,33,40,41,37
11	Alexandrin Klee	Trifolium alexandrinum L.	25-40	2,6-3,2	So	leicht-mittel, warm, feucht		Fu, GD, Bi	10,31,25,16,1,37,39,18,3,40,38
12	Serradella	Ornithopus sativus Brot.	25-50	4-7	Wi	leicht, feucht	+	Fu, GD	23,1,4,3,5,31,40,36,Roggen
13	Inkamatklee	Trifolium incarnatum L.	25-40	3-4	Wi	mittel, kalkhaltig		Fu, GD	14,25,31,24,8,18,39,1,3,21,22
14	Winterwicke	Vicia villosa Roth	80-140	30-60	Wi	leicht-mittel, feucht	+	Fu, GD	13,25,33,35,26,30,40,Roggen
15	Pannonische Wicke	Vicia pannonica Crantz	80-100	30-60	Wi	alle, trocken, kalkhaltig	+	Fu, GD	13,25,Roggen
16	Sommerwicke	Vicia sativa L.	70-125	30-90	So	mittel-besser, kalkhaltig, feucht, kühl	+	Fu, GD	8,19,20,21,22,31,32,34,35,36, 39,40,41,42
17	Linse	Lens culinaris Medik.	60-110	20-80	So	kalkhaltig, trocken	+	Fu, GD	16,18,19,Sommergerste
18	Saat-Platterbse	Lathyrus sativus L.	100	60-120	So	mittel, kalkhaltig, feucht, warm	+/-	Fu, GD	14,10,11,38,39,13,1,2,24,25,30,4 0,16,Roggen
19	Futtererbse	Pisum sativum L., ssp. speciosum, früher P. arvense	120-180	80-200	So 1 ¹	leicht-mittel, feucht, warm	+/-	Fu, GD	16,20,1,2,25,30,31,34,38,21, Getreide
20	Ackerbohne	Vicia faba L. var. minor	180-240	200-650	So 1 ¹	mittel, kalkhaltig	+/-	Fu, GD	16,19,20,24,25,32,34,35,36
21	Blaue Lupine	Lupinus angustifolius L.	100-180	100-200	So	leicht-mittel, warm	-	Fu, GD	19,20,13,16,32,36,Getreide
22	Weiß Lupine	Lupinus albus L.	120-230	200-800	So	leicht-mittel		Fu, GD	19,38,12,16,31,32,Mais
23	Gelbe Lupine	Lupinus luteus L.	100-190	50-180	So	leicht, sauer	+/-	Fu, GD	19,16,12,31,38,39,36,34
Grasarten									
24	Deutsches Weidelgras	Lolium perenne L.	25-40	2,0	A	gut, feucht	+	Fu	1,2,3,20
25	Welsches Weidelgras	Lolium multiflorum Lam.	40	2,3-3,8	Wi	fast alle, feucht	+	Fu	1,2,3,4,5,6,8,10,11,20,21,33,35
26	Bastardweidelgras	Lolium hybridum Hausskn.	35-40	2,0	Wi	fast alle, feucht	+	Fu	1,2,3
27	Wiesenschwingel	Festuca pratensis Huds.	35	1,8-2,0	A	mittel-gut, feucht	+	Fu	1,2,3,5,6,8
28	Wiesenlieschgras	Phleum pratense L.	15-18	0,5	A	mittel-gut, feucht	++	Fu	1,2,3,5,6
29	Glatthafer	Arrhenatherum elatius (L.) P. Beauv.	25-40	2,8-3,5	A	mittel-gut, warm, feucht	+/-	Fu	3,4,6,24,27,28,30,1
30	Knaulgras	Dactylus glomerata L.	20	1,0-1,3	A	alle	++	Fu	1,2,3,4,5,6,7,24,25,26
31	Einjähriges Weidelgras	Lolium multiflorum Lam., ssp. Westerwoldicum	40	2,0-3,0	So	gut, feucht	+	Fu, GD	10,11,32,34
Kreuzblütler									
32	Sommerraps	Brassica napus L. ssp. oleifera	4-6 10 6	2,5-4,5 4,0-6,5	So Wi	mittel-gut gut	 +/-	(Fu), GD 25,14	19,20,31,16 25,14
34	Sommerrübsen	Brassica campestris L.	8	1,5-3,5	So	mittel, feucht	-	(Fu), GD	19,20,40,23,38,31,16
35	Winterrübsen	ssp. oleifera	15	2,0-4,0	Wi	mittel, kühl	+/-	Bi	25,14
36	Gelbsenf	Sinapis alba L.	20	5-10	So	alle, leicht-mittel	+	GD, Bi	12,21,22,14,16,18,19,20
37	Ölrettich	Rhaphanus sativus L. var. oleiformis	18-24	8-20	So	alle, leicht-mittel		Fu, GD, Bi	38,20,16,19,40,39,12,21,31,36,42 ,18
sonstige									
38	Sonnenblume	Helianthus annuus L.	10-40	30-180	So	mittel, warm	-/+	(Fu), GD, Bi	41,39,40,10,11,37,19,34,8,21, 12
39	Buchweizen	Fagopyrum esculentum Moench	40-90	15-20	So	leicht, sauer	-/+	(Fu), GD, Bi	40,37,41,38,11,16,19,18,20,21,22 ,Hafer
40	Phacelia/Büschelschön	Phacelia tanacetifolia Benth	10	2-3	So	mittel, warm	-	(Fu), GD, Bi	16,19,34,39,37,12,23,10,11,31,13 ,41,38
41	Malve	Malva meluca Graebn., Malva sylvestris L.	5-20	7	Wi	mittel	-	(Fu), (GD), Bi	40,39,37,38,10,6,11,16,18,19, 20,Hafer
42	Ackerspörgel	Spergula arvensis L.	15-25	0,4-1,0	So	leicht, feucht	+	Fu, GD	39,16,19,12,38,37,40

1) auch winterharte Erbsen- und Ackerbohnsensorten

2.6.1 Gemenge in Hauptfruchtstellung

Geht es um die Biomasseproduktion zur energetischen Nutzung, ist Mais aufgrund hoher Gasausbeuten, hoher Methanerträge und seiner günstigen produktionstechnischen Eigenschaften die Pflanze der Wahl, da er sowohl in Hauptfrucht als auch in Zweitfruchtstellung nach den frühräumenden Winterzwischenfrüchten Futterroggen und Winterrüben hohe Erträge verspricht. Auf den trockenen Sandböden treten beim Anbau von Mais allerdings sehr erhebliche Ertragsschwankungen auf. In Gebieten mit weniger als 500 mm Niederschlag im Jahr ist der Mais auf Sandböden nicht mehr anbauwürdig.

Zeitnah zur Novellierung des EEG im Jahre 2005 kursierte die Angst, Mais in Monokultur würde das Erscheinungsbild unserer Kulturlandschaft verändern. Umso dringlicher wurde nach alternativen Pflanzen und Anbauverfahren gesucht. Dabei wurden auch der Mischfruchtanbau und besonders die massewüchsigen Gemenge ins Auge gefasst. Einem Züchter ist es gelungen, mit der resistenten Maissorte *ES UltraStar* die Hirsenbekämpfung im Misanbau von Mais und Sonnenblume auch im Nachauflaufverfahren zu ermöglichen. Die Vorteile dieses Gemenges werden im geringeren Lagerraumbedarf im Silo bei gleichzeitig höheren Biogasausbeuten durch die höhere Energiedichte des Substrates gesehen (EURALIS SAATEN, 2005). Darüber hinaus wurden mit den Misanbau-Prüfgliedern Mais/Futterhirse und Futterhirse/Sonnenblume weitere vielversprechende Pflanzengemenge mit hohen Biomasseleistungen – zumindest in Reinsaat – untersucht (SYNGENTA SEEDS, 2005). Allerdings kann man dort zu der Auffassung gelangen, dass das Ertragspotenzial dieser Kulturen in Reinsaat, ohne Kompromisse an den Gemengepartner machen zu müssen, besser ausgeschöpft werden kann. Fraglich und bisher nicht untersucht, ist, ob mit den genannten Mischungen gegenüber dem reinen Maisanbau auf den Sandböden eine Risikominimierung erreicht werden kann.

Als Alternative zum Mais werden immer wieder Futterhirse (*Sorghum bicolor*) und Sudangras (*Sorghum sudanense* x *Sorghum bicolor*) genannt. Der Anbau von Sudangras und Futterhirse ist auf sehr unterschiedlichen Böden möglich. Es wird eingeschätzt, dass diese sehr Wärme liebenden Kulturen bevorzugt in Zweitfruchtstellung anzubauen sind. Aufgrund der den Hirsen nachgesagten höheren Trockentoleranz (LERCH, 1991) scheint ein Gemenge aus Hirse und Mais für die Grenzstandorte interessant. Neben dem bereits genannten Gemenge mit Mais sind aus der älteren Literatur auch Mischungen mit Felderbsen bzw. Mais und Felderbsen, Sudangras/Lupine und Mischungen aus Hirse, Erbsen und Wicken bekannt (SEIFFERT, 1968; BECKER und NEHRING, 1969). Während das Mais/Futterhirse Gemenge einheitliche Düngungs- und Herbizidmaßnahmen erlaubt, ist ein Herbizideinsatz in den Hirse/Leguminosen Gemengen nicht möglich, und auch die

Düngungsmaßnahmen sind wegen der stark unterschiedlichen Stickstoffansprüche schwierig zu bemessen.

Bezüglich der Verwendbarkeit als Substrat für die Biogasanlage ist die Sonnenblume weitaus weniger bearbeitet worden als der Mais. SEIFFERT (1968) bevorzugt die nicht mehr maisfähigen Sandböden für den Sonnenblumenanbau in Zweit- und Stoppelfruchtstellung. Neben ihrer Verwendung im Resele Gemenge (Ackerbohne/Sonnenblume/Futtererbse/Hafer, teilweise auch mit Mais angegeben) wird die Sonnenblume als Mischungspartner in Leguminosengemenge genannt.

Neben Sonnenblume, Mais und Hirsen werden ebenso Hanf und Topinambur als massewüchsige Pflanzen für die Energieerzeugung in Betracht gezogen. Der Vorteil dieser Pflanzen ist in den gegenüber Mais relativ geringen Düngungsansprüchen und der schnellen Jugendentwicklung, die den Verzicht auf Herbizide erlaubt, zu sehen (TFZ, 2008). Für die Futternutzung ist für den Hanf eine Mischung mit Sommerwicken bekannt (BECKER und NEHRING, 1969), darüber hinaus allerdings nicht vorstellbar, welcher andere Mischungspartner sich unbeschadet der schnellen Bestandesbildung erwehren könnte. Produktionstechnisch wurde im Versuchsanbau über Probleme bei der Ernte des Futterhanfs berichtet, die durch die faserhaltigen Stängel verursacht wurden und das Häckseln des Aufwuchses sehr erschwerten.

SEIFFERT (1968) ist zu entnehmen, dass vor einigen Jahrzehnten, um der Verunkrautung der Ackerschläge mit Topinambur zu begegnen, sogenannte „Löschungsfruchtfolgen“ mit wiederholtem Anbau von Grünfutterpflanzen angelegt wurden. Mit Herbiziden auf Wuchsstoffbasis ist heutzutage der Durchwuchs von Topinambur in der Fruchtfolge lösbar. Interessant erscheint jedoch die Frage, wie eine „Löschungsfruchtfolge“, die durchaus als Mischfruchtanbau bezeichnet werden kann, für den Energiepflanzenanbau genutzt werden könnte.

Teigreifes Silogetreide bezeichnet SIMON (1993) als „Analogon“ zu kolbenreichem Silomais, da ein großer Teil der Energiemenge im Korn gebunden ist. Neben Futtertriticale und Wintergerste in Reinsaat verweist der Autor auch auf verschiedene Getreide- und Getreidegrasgemenge, namentlich Gerstgras (Welsches Weidelgras bzw. Wiesenschweidel), Gerstkleegras (Rotklee) und Hafer- und Wintergerstengemenge mit Gras. Der Grasanteil begründet sich mit besseren Siliereigenschaften gegenüber dem reinen Silogetreide, einer Ertrags- und Qualitätssteigerung sowie einer stärkeren Reaktion auf die Intensivierungsfaktoren Wasser und Stickstoff. Den Nährstoff- und Wasserbedarf für die „Doppelnutzung“ dieser Silogetreide(gras)-Gemenge nimmt nach SIMON (1993) in folgender Reihenfolge zu: Wintergerste/Wintertriticale/Winterweizen – Triticalegras – Gerstkleegras –

Gerstgras. Auf reinen Sandstandorten hingegen sind in Hauptfruchtstellung weniger anspruchsvolle Mischungen aus Serradella und Gras oder Lupine bzw. als Untersaat zu Roggen geeignet.

Innerhalb des 2005 aufgelegten Verbundprojektes „Entwicklung und Optimierung standortangepasster Anbausysteme für Energiepflanzen“ (EVA) werden im Teilprojekt „Mischfruchtanbau“ an der Landesforschungsanstalt für Landwirtschaft und Fischerei Mecklenburg-Vorpommern (LFA) und am Technologie- und Förderzentrum Straubing in Bayern weitere Sommerkulturen in Rein- und Mischsaat verglichen, auf die im einzelnen bei der Ergebnisdarstellung eingegangen werden soll.

2.6.2 Gemenge in Zweitfruchtstellung

Der Zweitfruchtfutterbau erfolgt nach einer Winterzwischenfrucht mit Pflanzen, die als spätsaatverträgliche Hauptfrüchte auch in der dann verkürzten Vegetationszeit noch befriedigende Erträge garantieren. LÜTKE-ENTRUP (2000) verweist auf das größere Risiko des Zweitfruchtfutterbaus gegenüber dem Hauptfruchtfutterbau, das nur auf jederzeit bearbeitbaren Böden mit hoher Wasserspeicherkapazität oder in Gebieten mit ausreichenden Niederschlägen eingegangen werden sollte, wenn aufgrund geringer Flächenausstattung eine höhere Flächenproduktivität angestrebt werden soll. Der Autor schätzt ein, dass unter optimalen Bedingungen bis zu 30.000 MJ NEL/ha mehr produziert werden können. Die Notwendigkeit einer höheren Flächenproduktivität sieht STÜLPNAGEL (2008) durch die Biomasseproduktion zur energetischen Nutzung gegeben. Ausgehend von der klassischen Futterbaufolge Grünschnittroggen – Mais wird im Zweikultur-Nutzungssystem das Konzept verfolgt, über die Wahl des optimalen Erntezeitpunkts der Erst- und Zweitfrucht, bei weitestgehendem Verzicht auf chemische Pflanzenschutzmittel und unter Verwendung einer Vielzahl unterschiedlicher Kulturpflanzen ein ökonomisch tragbares und gleichzeitig ökologisch nachhaltiges Verfahren zu etablieren. Im Zweikultur-Nutzungssystem geprüfte Gemenge in Zweitfruchtstellung sind die Mischungen aus Sonnenblume und Mais bzw. Sonnenblume-Mais und Amarant. MAKOWSKI und LEHMANN (2007) sprechen sich gegen das Zweikultur-Nutzungssystem aus. Mit den möglichen Varianten des Systems werden zwar höhere Naturalerträge erreicht, sie wiegen die deutlich höheren Verfahrenskosten aber nicht auf. Süßlupinengemenge mit Mais und/oder Sonnenblumen werden in der älteren Literatur empfohlen (BECKER und NEHRING, 1969; SEIFFERT, 1968). VOIGTLÄNDER und JACOB (1987) nennen Leguminosengemenge aus Felderbsen und Sommerwicken, die je nach Bodengüte und Aussaatzeitpunkt beispielsweise mit Ackerbohne, Hafer, Hirse, Mais, Sonnenblume, Raps oder Rüben nennenswerte Erträge bringen, allerdings als hochwertiges und schmackhaftes Eiweißfutter, dessen Silierfähigkeit nicht immer gewährleistet ist. Ebenso wie für die Hauptfruchtstellung dürften sich Hirsen für eine Zweitfruchtstellung anbieten. KLOSTERMANN (2008)

hält eine Saat unter den Klimaverhältnissen Mecklenburg-Vorpommerns aufgrund hoher Ansprüche der Hirse bezüglich Keimtemperatur und geringer Kältetoleranz Ende Mai für optimal. Nach spät räumenden Erstfrüchten sollten Arten des Sommerzwischenfruchtanbaus der Vorzug vor Mais und Hybridsorghum gegeben werden (LÜTKE-ENTRUP, 2000).

2.6.3 Gemenge in Winterzwischenfruchtstellung

Winterzwischenfrüchte, die im Zusammenhang mit dem Energiepflanzenbau auch Erstfrüchte genannt werden, stehen vor der Zweitfrucht. Aus ökonomischer Sicht ergibt sich eine unterschiedliche Bewertung der Winterzwischenfrüchte und Hauptfrüchte, da der Zwischenfruchtanbau im Gegensatz zur Hauptfruchtstellung zeitlich die Nachfolge einer Zweitkultur ermöglicht.

Die von SEIFFERT (1968) formulierte Forderung, die Hauptfutterflächen durch den Zwischenfruchtfutterbau auf ein Minimum zu reduzieren, ist auf die heutige Landwirtschaft nicht übertragbar, da u. a. der Tierbesatz sehr gering ist und die Energiedichte im Futter bei heutiger Leistungsanforderung sehr hoch sein muss. Die ackerbauliche Bedeutung des Zwischenfruchtanbaus ist jedoch durch:

- die Verbesserung der Bodenstruktur,
- eine Anreicherung des Bodens mit organischer Substanz,
- eine Stickstofffixierung durch den Leguminosenanbau,
- die Verhinderung von Nährstoffverlusten durch Auswaschung,
- eine Auflockerung der Fruchtfolgen,
- eine Verminderte Bodenerosion und
- die Unkrautbekämpfung durch Fruchtfolgemaßnahmen

umso aktueller.

Bezüglich des Erntetermins der Winterzwischenfrüchte zur energetischen Nutzung bestehen verschiedene Ansätze. Der Winterrübsen kann früh zum Blühbeginn, aber auch zu einem späteren Termin geerntet werden. Entsprechend steht die Folgefrucht in Zweitfrucht- bzw. Sommerzwischenfruchtstellung. In der älteren Literatur (BECKER und NEHRING, 1969) wurden bei Winterzwischenfrüchten grundsätzlich frühe Erntetermine angestrebt. Erstens sinkt die Verdaulichkeit der Rohnährstoffe im Vegetationsverlauf, zweitens soll die Hauptfrucht (Zweitfrucht)

möglichst wenig beeinträchtigt werden. Die zu erwartenden Massenerträge sind bei einem späteren Erntetermin der Winterzwischenfrucht natürlich höher.

Zu den klassischen Winterzwischenfruchtgemengen gehören der Wickroggen und das Landsberger Gemenge (Welsches Weidelgras, Winterwicke, Inkarnatklees).

Der Wickroggen hat, zum Grannenspitzen geerntet, eine gegenüber dem Landsberger Gemenge frühe Feldräumung. Dagegen verfügt das Landsberger Gemenge über eine längere Nutzungsdauer. Diese Feststellung kann im gleichen Maße natürlich auch für die Reinsaat Futterroggen und Welsches Weidelgras getroffen werden. Ökonomisch betrachtet, werden beide Gemenge gegenüber der Reinsaat durch die hohen Saatgutkosten für Winterwicken belastet, wobei zwischen den beiden Wickenarten Zottelwicke und Pannonische Wicke noch ausschöpfbare Unterschiede bestehen. Bezüglich des Winterwickenanteils in der Mischung gibt es sehr unterschiedliche Empfehlungen. Während KLITSCH (1962) den aus pflanzenbaulicher Sicht richtigen Vorschlag macht, die Aussaat von 70 kg/ha Winterwicke zum 25. August mit doppelter Getreidereihenentfernung zu legen, um den Roggen in der letzten Septemberdekade in einem zweiten Arbeitsgang dazwischen zu drillen, fordert SPECHT (1955) aus arbeitswirtschaftlichen Gründen eine gemeinsame Aussaat Anfang September mit einem Wickenanteil von 100 bis 120 kg/ha vor. DUBSLAFF (1960) wiederum empfiehlt für die Futternutzung einen Winterwickenanteil von 60 kg/ha und 100 kg/ha für ein zweischnittiges Prüfglied. SEIFFERT (1968) zieht für die besseren Böden dem Wickroggen Wickweizen vor, da der Entwicklungsrhythmus der beiden Pflanzen besser angepasst sei. Der empfohlene Anteil der Winterwicke in diesem Gemenge liegt zwischen 60 und 80 kg/ha.

HOF und RAUBER (2003) berichten darüber hinaus von dem weniger bekannten Gemenge aus Winterwicke (40 kg/ha) und Welschem Weidelgras, das bei SEIFFERT (1968) als eine Abwandlung des Landsberger Gemenges beschrieben wird, da der Inkarnatklees stark frostempfindlich ist. Der Winterwickenanteil in diesem Gemenge liegt zwischen 50 und 100 kg/ha, während er im Landsberger Gemenge mit 20 (HOF und RAUBER, 2003) und 40 kg/ha (SEIFFERT, 1968) angegeben wird.

2.6.4 Gemenge in Sommerzwischenfruchtstellung

Der Sommerzwischenfruchtanbau oder auch Stoppelfruchtanbau ist risikoreicher als der Winterzwischenfruchtanbau, da das Wärme- und Lichtangebot im Spätsommer in der Regel nachlässt. Hinzu kommt, dass Wasser durch den Entzug der Vorfrucht und fehlende Sommerniederschläge knapp wird. Eine schnelle Saatbettbereitung, schnellwirkende Dünger und z. T. höhere Aussaatmengen sind für einen erfolgreichen Sommerzwischenfruchtanbau erforderlich.

Aufgrund der schnellen Feldräumung auf sandigen Böden, hat der Stoppelfruchtanbau auf diesen Standorten und besonders Süßlupinen/Serradella Gemenge mit Sonnenblume oder Einjährigen Weidelgras die größte Bedeutung (DUBSLAFF, 1960). Für die Trockengebiete wird Sonnenblume in Reinsaat empfohlen, der mit zunehmender Niederschlagsmenge Leguminosen beigemennt werden (SEIFFERT, 1968). Die Wachstumszeit ist für Mais und Hirsen nicht ausreichend (KLOSTERMANN, 2008). Für frostgefährdete Lagen hat das Leguminosengemenge Erbsen/Wicke/ Ackerbohne eine gewisse Bedeutung. Senf ist spätsaatverträglich und sollte aufgrund seines Langtagcharakters nicht vor Mitte August gesät werden. Spätsaat- und frostverträgliche Mischungspartner sind Phacelia, Sommerraps und auch Spörgel (SEIFFERT, 1968). Außer mit Senf und Phacelia kommen auch Mischungen des Spörgels mit Serradella und Sommerwicke in Frage. Für den Sommerzwischenfruchtanbau auf Sandböden ebenfalls geeignet ist der schnellwüchsige Buchweizen, der auch im Gemenge mit Sonnenblume, Phacelia und Sommerwicke empfohlen wird. Die Aussaat sollte vor Ende Juli erfolgen.

Die Konservierung der Sommerzwischenfrüchte und deren Gemenge wird als problematisch gesehen, da aufgrund der Witterung zur Erntezeit ein Anwelken auf dem Feld nicht möglich ist. Die hohe Sickersaftbildung verbietet daher die Silageherstellung in Ballen und auf nicht gegen Abfluss gesicherten Flächen (TITZE, 2005).

2.6.5 Untersaaten

Untersaaten können als Herbseinsaat oder Frühjahrseinsaat in Winter- und Sommergetreide und als Frühsommereinsaat in einen Maisbestand erfolgen. Alle Verfahren haben auch eine Relevanz für den Energiepflanzenanbau, da es sich bei den Untersaaten in der Regel um Futterpflanzen handelt (ausdauernde bzw. einjährige Gräser, Klee, Luzerne) oder aber ein positiver Umwelteffekt erwartet wird, wie etwa die Nitratabschöpfung mit Weidelgraseinsaaten in Mais oder Ackerbohnenbeständen (WIKIPEDIA, 2008b).

Den Vorteil von Untersaaten sieht LÜTKE-ENTRUP (2000) in einem Entwicklungsvorsprung und niedrigeren Verfahrenskosten gegenüber Stoppelsaaten. Eine Ertragsdepression durch Wasserkonkurrenz und Erschwernisse der Ernte bei der Deckfrucht hält der Autor für unbegründet, wenn die Wahl der Untersaat und des Aussaattermins in Abhängigkeit von den Sorteneigenschaften der Deckfrucht getroffen wird. Das Konkurrenzverhalten von Untersaat und Deckfrucht muss bekannt und abgestimmt sein. Entsprechend der Ertragserwartung muss die Nährstoffversorgung der Untersaaten erfolgen.

Tab. 3: Vorteile einzelner Aussaattermine bei Untersaaten (nach LÜTKE-ENTRUP, 2000)

Herbstuntersaaten	Frühjahrsuntersaaten
schnellere Entwicklung	bessere Anpassung der Untersaat an die Deckfrucht
bessere Bestockung	variable Aussaattermine
intensivere Bodendurchwurzelung	Kleeuntersaaten sind möglich
schnellere Bodenbedeckung nach Ernte der Deckfrucht	Untersaaten in Winter- und Sommerbestände
	flexible Pflanzenschutzstrategien

3 Material und Methoden

3.1 Standortfaktoren

Die Untersuchungen zum Mischfruchtanbau werden an zwei Standorten in Mecklenburg-Vorpommern durchgeführt.

Sowohl das Versuchsfeld der Landesforschungsanstalt für Landwirtschaft und Fischerei Mecklenburg-Vorpommern in Gülzow (Kreis Güstrow) als auch der ca. 20 km nördlich von Güstrow gelegene Standort in Bandow befinden sich in der jungpleistozänen Grundmoränenlandschaft mit Geschiebemergel bzw. Geschiebesanden als Ausgangssubstrat für die Bodenbildung.

Tab. 4: Kennzeichnung der Bedingungen an den Versuchsstandorten Gülzow und Bandow

	Gülzow	Bandow
Höhenlage	5 bis 10 m über NN	4 bis 14 m über NN
Bodentypen	Fahlerde, Regosol Parabraunerde, Kolluvisol	Braunerde, Parabraunerde,
Bodenarten des Oberbodens	schwach-lehmige- bzw. schwach-schluffige Sande	lehmige Sande, sandige Lehme
verbreitete Substrate und Substratgruppen	Sand, Sandlehm, Sandtieflehm	Lehmsand, Sandlehm
Ackerzahl	25 bis 30	25 bis 30
Porenvolumina	36 bis 45 %	nicht bekannt

nach MENNING und SCHEIL (1995); GRUBER et al. (2004)

Untersuchungen zur Charakterisierung der Bodendecke durch MENNING und SCHEIL (1995) in Gülzow spiegeln die für die jungpleistozäne Landschaft Mecklenburg-Vorpommerns typische Substratheterogenität mit höchsten Flächenanteilen von Substrattypen aus sandigen Auflagen und tiefer liegenden lehmigen Substraten wider. Zwischen der Substratverteilung und der Reliefgestaltung bestehen Abhängigkeiten.

Sie sind in Bandow stärker ausgeprägt als in Gülzow. Infolge der Bodenerosion wechseln kleinräumig lehmige Kuppen mit sandigen Kolluvien. Diese Standortbedingungen erschweren nicht nur die Bearbeitung der Flächen, sondern auch ihre Nutzung.

Im Bereich des Oberbodens sind überwiegend schwach lehmige Sande mit einem hohen Anteil an Feinsand festgestellt worden; im Unterboden kann von zunehmenden Tonanteilen ausgegangen werden. Aufgrund der Ungleichheit des Bodensubstrates mit einem Porenvolumen zwischen 36 und 46 % ist der Boden stark verdichtbar.

Der Standort Gülzow befindet sich im Einzugsgebiet der Nebel, sodass der Unterboden anders als der Standort Bandow vom Grundwasser bzw. Stauwasser beeinflusst wird. MENNING und SCHEIL (1995) haben trotz Dränung auf einem Teil des Versuchsfeldes in Gülzow eine Frühjahrsfeuchte oberhalb der Feldkapazität festgestellt.

Im Rahmen des Verbundprojektes „Entwicklung und Optimierung standortangepasster Anbausysteme für Energiepflanzen im Fruchtfolgeregime“ wurden vom Leibniz-Zentrum für Agrarlandschafts- und Landnutzungsforschung alle beteiligten Untersuchungsflächen untersucht. Für die Probenahme wurde in Gülzow eine Rammkernsonde verwendet, die eine Bohrung bis zu zwei Meter Tiefe ermöglicht. Die Probenentnahme und –behandlung wurde anhand der BODENKUNDLICHEN KARTIERANLEITUNG (1994) sowie unter Beachtung unterschiedlicher Normen (DIN ISO 11464, 2006; 11277, 1998; 10694, 1995; 13878, 1998) und Richtlinien (VD LUFA, 1991) vorgenommen. DEUMLICH (2008) stellt für den Standort Gülzow sehr heterogene Bodenverhältnisse fest. Es handelt sich um sandige Regosole über reinen Sanden. Im Bereich der Versuchsstandorte verschießt der Boden stark, sodass entlang des Reliefs ebenso karbonathaltige Fahlerde-Haftpseudogleye und Normparabraunerden über Lehmsanden sowie karbonatfreie Kolluvisole über Lehmsand angesprochen wurden (DEUMLICH, 2008). In Tabelle 5 sind wichtige Kennziffern der Versuchsstandorte festgehalten. Der Standort Bandow, auf dem die Winterkulturen des Versuchsjahres 2005/2006 standen, wurde nicht so eingehend untersucht. Die Standortkriterien entsprechen „Schlag 4“ (siehe Tabelle 5) in Gülzow.

Die nutzbare Feldkapazität des effektiven Wurzelraumes wird nach der Bodenkundlichen Kartiereinleitung (1994) für beide Standorte als „gering“ eingestuft. Für den „Bbt-ilCv“-Horizont des Standortes E 4/5 (im folgenden AZ25) wurde eine nutzbare Feldkapazität des effektiven Wurzelraumes von nur 19,6 mm festgestellt; für den „Ael-Cv“-Horizont des Standortes Schlag 4 (im folgenden AZ30) 42,5 mm. Durch die Ackerzahl soll die abweichende Bodengüte der Standorte zum Ausdruck gebracht werden.

Der Oberboden beider Standorte hat einen Gehalt an organischer Bodensubstanz von 1,1 bzw 1,3 % und wird damit als „schwach humos“ eingeschätzt. Werte kleiner 1 % führen zu der Kategorie „sehr schwach humos“ (h1).

Tab. 5: Ausgewählte Standortfaktoren der Untersuchungsflächen

Bezeichn.	Horizonte	Boden- art	org. Substanz des Bodens (KA 4** Tab. 10)	AZ- Klasse*	nFKWE-Klasse des Profils (KA 4** Tab. 80)
AZ 25 E 4/5	Ap	Su2	h2	1	nFKWe2
	Bbt-ilCv	Ss	h1		
	ilCv	Ss	h1		
AZ 30 Schlag 4	Ap	Sl2	h2	1	nFKWe2
	(Ael)-Cv	Su2	h1		
	Cv	Su2	h1		

*entspricht Ackerzahlbereich 23-31; **Bodenkundliche Kartieranleitung (1994)

3.2 Witterung der Versuchsjahre

Beide Versuchsstandorte befinden sich im Bützow-Güstrower Becken, das dem Einfluss des mecklenburgisch-brandenburgischen Übergangsklima unterliegt. Typisch für diese Region sind die Abnahme des ozeanischen und die Zunahme des kontinentalen Klimas. Das bedeutet Abnahme der Niederschläge und Erhöhung der Temperaturunterschiede. Das langjährige Mittel der jährlichen Niederschlagssumme beträgt 542 mm, die mittlere Lufttemperatur liegt bei 8,3°C. Die Monate Juni und Juli weisen im Durchschnitt die höchsten Niederschlagssummen auf.

Das Untersuchungsjahr 2005 war dadurch gekennzeichnet, dass die Durchschnittstemperaturen in den Monaten April bis Oktober, außer im August, durchgehend über dem langjährigen Mittel lagen. Trotz der im Mittel um 1,7 °C höheren Temperaturen hatte auch noch der späte April bemerkenswerte Tagestiefsttemperaturen bis -7°C.

Die Niederschlagssumme der Monate Januar bis November wich im Vergleich zum langjährigen Mittel kaum ab, wohl aber die Niederschlagsverteilung. Die Monate März, April, Juni und August 2005 wiesen Niederschlagsdefizite bis zu 38 mm auf, während es demgegenüber im Mai, Juni und September und im Vergleich zum langjährigen Mittel deutlich mehr regnete. Dabei ist zu beachten, dass es im April 2005 nur einen nennenswerten Niederschlag (12,1 mm) gab. Ebenso war die zweite Junihälfte bis in den Juli hinein sehr trocken. Die Abweichungen zum langjährigen Mittel im Juli ergeben sich aus zwei Niederschlagsereignissen. Entsprechend negativ war die klimatische Wasserbilanz zwischen März und August mit Ausnahme des Monats Juli (+1,1 mm). Im Juni wurde mit -77,1 mm das höchste Defizit der klimatischen Wasserbilanz verzeichnet.

Tab. 6: Mittlere monatliche Lufttemperaturen, Niederschläge und Abweichungen von den langjährigen Monatsmittelwerten (1971 – 2000) am Standort Gülzow

Gülzow		
	Lufttemperatur (°C)	Niederschlag (mm)
2005		
August	16,3 (-0,7)	39,9 (-11,9)
September	15,4 (+2,3)	77,1 (+28,0)
Oktober	11,1 (+2,5)	44,9 (+4,8)
November	4,4 (+0,4)	32,8 (-8,3)
Dezember	1,4 (±0,0)	59,1 (+9,9)
2006		
Januar	-2,5 (-2,4)	14,4 (-24,8)
Februar	0,3 (-0,2)	28,1 (+4,1)
März	0,7 (-2,7)	42,6 (+6,1)
April	7,7 (+0,7)	49,0 (+13,9)
Mai	12,8 (+0,7)	68,3 (+21,4)
Juni	17,1 (+2,0)	56,5 (-10,3)
Juli	22,3 (+5,0)	28,7 (-33,1)
August	17,1 (+0,1)	202,8 (+151,0)
September	17,3 (+4,2)	35,6 (-13,5)
Oktober	12,5 (+3,9)	46,0 (+5,9)
November	7,3 (+3,3)	50,4 (+9,3)
Dezember	6,1 (+4,7)	28,3 (-20,9)
2007		
Januar	5,0 (+5,1)	89,9 (+5,0)
Februar	2,9 (+2,4)	46,1 (+18,3)
März	6,9 (+3,5)	37,5 (+0,3)
April	10,4 (+3,4)	1,8 (-35,6)
Mai	14,0 (+1,7)	80,4 (+31,7)
Juni	17,3 (+2,0)	154,2 (+84,1)
Juli	17,3 (-0,1)	94,2 (+34,2)
August	17,6 (+0,5)	169,7 (+108,5)
September	13,5 (+0,1)	65,5 (+13,5)

Die Aussaat der Winterkulturen erfolgte in Gülzow Anfang September. In Bandow wurde die erste Aussaat durch starke Stürme verweht, sodass sich Mitte September eine erneute Versuchsanlage erforderlich machte. Da die Monate September und Oktober mit Temperaturen von 2,3 °C bzw. 2,5 °C über dem langjährigen Mittel als ausgesprochen mild eingeschätzt werden können und zudem ausreichend Regen fiel, waren die Bedingungen für die Entwicklung der Pflanzen gut.

Die Vegetationsperiode 2005/06 war zunächst durch die überdurchschnittlich warmen Monate September und Oktober gekennzeichnet. Entsprechend üppig gingen die Winterkulturen in die Vegetationsruhe, die Mitte November bei sich dem langjährigen Mittel langsam annähernden Temperaturen einsetzte. Die Dezembertemperaturen entsprachen dem Durchschnitt. Erste Nachtfröste härteten die Kulturen ab, die zum Jahresausklang durch eine Schneedecke geschützt wurden.

Die mittleren monatlichen Niederschläge des letzten Jahresdrittel 2005 bewegten sich mit Ausnahme des Septembers, der die im Vergleich zum langjährigen Mittel 1,5-fache Niederschlagsmenge brachte, in gewohntem Rahmen. Die gemessenen Temperaturen des ersten Quartals 2006 lagen unter denen des langjährigen Mittels. Die Vegetationsruhe wurde zwischen Dezember und Februar nicht unterbrochen. Der Januar war vergleichsweise trocken. Die ersten beiden Aprildekaden brachten kühle und unbeständige Witterung, die zum Monatswechsel durch frühlingshafte Temperaturen abgelöst wurde. Die phänologische Entwicklung zu diesem Zeitpunkt kann, gemessen an langjährigen Beobachtungen, als normal eingestuft werden. Ausgehend vom langjährigen Mittel können die Maitemperaturen ebenfalls als durchschnittlich eingeschätzt werden, jedoch folgte der ersten, sommerlich warmen Monatshälfte, eine zweite, sehr kühle und auch feuchte Hälfte. Die Niederschlagssumme der Monate April und Mai wich im Vergleich zum langjährigen Mittel nach oben ab. Die erste Junidekade war weiterhin kühl, danach folgte ein überdurchschnittliches Wärmeangebot mit deutlich zu geringen Niederschlagssummen bis Ende Juli. Die Augusttemperaturen glichen sich bei fast täglichen, teilweise schauerartigen Regen dem langjährigen Mittel an. Die für den August typischen Niederschlagsmengen von durchschnittlich 50 mm lagen 2006 viermal so hoch.

Die Vegetationsperiode 2006/07 war zur Herbstsaat bis einschließlich Dezember ebenfalls durch im Vergleich zum langjährigen Mittel höhere durchschnittliche Monatstemperaturen gekennzeichnet. Bis Ende November lag die Tagesdurchschnittstemperatur nur zweimal unter 5 °C. Entsprechend üppig entwickelt gingen die Winterkulturen in die Mitte November einsetzende Vegetationsruhe, die in den warmen Wintermonaten Dezember und Januar immer wieder durchbrochen wurde. Die mittleren monatlichen Niederschläge des letzten Jahresdrittel 2006

bewegten sich mit Ausnahme des Septembers und Dezembers, die die im Vergleich zum langjährigen Mittel etwa 75 % der Niederschlagsmenge brachten, in gewohntem Rahmen.

Die gemessenen Temperaturen des ersten Quartals 2007 lagen deutlich über denen des langjährigen Mittels, sodass der Vegetationsbeginn bereits Mitte März einsetzte und die Sommerkulturen gedrillt werden konnten. Die Monate Januar und Februar verzeichneten mit fast 90 bzw. über 40 mm im Vergleich sehr hohe Niederschläge. Der April und die ersten Maiwochen waren durchweg trocken, sodass die Saat verzögert und nur unvollständig auf lief, während für die Winterkulturen aufgrund des ausreichenden Bodenwassers und immer noch überdurchschnittlicher Temperaturen gute Wachstumsbedingungen herrschten.

In der Summe brachte der Mai jedoch deutlich mehr Regenwasser als der langjährige Durchschnitt und in der Folge stärkeren Rost- und Mehltaubefall. Auch in den Monaten Juni bis August fielen außergewöhnlich hohe Niederschlagssummen, sodass die Ernte immer wieder unterbrochen wurde.

Im September glich sich die Temperatur dem langjährigen Mittel an, die Niederschlagssumme hingegen lag ca. 20 % über dem durchschnittlichen Wert.

3.3 Parzellenversuche

Im Mischfruchtanbau soll geprüft werden, ob sich sowohl über eine höhere Ertragsstabilität, Nutzungselastizität und Unkrauttoleranz als auch eine optimierte Zusammensetzung der Inhaltsstoffe im Vergleich zu Reinkulturen Vorteile für den Energiepflanzenanbau ergeben. Die Artenmischungen sind weder strikt additiv noch substitutiv aufgebaut, sondern wurden, um den Anforderungen der einzelnen Mischungspartner Rechnung zu tragen, individuell modular zusammengestellt.

Die Versuchsanlage ist eine einfaktorielle Blockanlage mit vier Wiederholungen (ZIMMERMANN, 1955). Die Zusammenfassung bestimmter Kulturen und deren Gemenge zu Gruppen haben den Hintergrund, weitestgehend Randeffekte ausschließen zu können (siehe Anhang). Die wesentlichen Informationen zu Sorten, Saatstärken, Nutzungsform und Düngung der Prüfglieder sind in Tabellenform im Ergebnisteil dargestellt.

3.3.1 Versuchsdurchführung Winterkulturen

Beim Winterroggen und bei der Wintergerste wurde jeweils ein Prüfglied mit und ohne Herbizid angelegt. Mit Ausnahme des Welschen Weidelgrases liegen für die geprüften Varianten keine

Zulassungen vor. Bacara wurde im Getreide mit 0,8 l/ha appliziert. Die Aussaat erfolgte in Gülzow auf beiden Standorten in der ersten Septemberdekade. Der Aussaattermin stellte einen Kompromiss an die unterschiedlichen Ansprüche der geprüften Kulturen dar und ist für die Reinsaaten nicht optimal. Die Ernte des Winterroggens und Gemenge erfolgte zum Grannenspitzen. Auf dem Versuchsstandort Gülzow wurden über Biomasseschnitte der genannten Prüfglieder zur Blüte und Teigreife des Winterroggens weitere Ertragsschätzungen vorgenommen. Die Leguminosen wurden in Reinsaat zu Blühbeginn geerntet; die Ernte der Leguminosen im Mischfruchtanbau richtete sich nach den Mischungspartnern. Die Tabellen 12, 15 und 18 im Ergebnisteil geben einen Überblick über Mischungen, Sorten, Saatstärken und der Düngung.

3.3.2 Versuchsdurchführung Sommerkulturen

Die wesentlichen Informationen zu Sorten, Saatstärken, Nutzungsform und Düngung der Sommerungen sind in den Tabellen 22, 28 und 32 dargestellt. Für die Ganzpflanzennutzung der Lupine wurde die großwüchsige Sorte Borlu gewählt. Bei der Ernte des Mais und der Mais/Bokharaklee-Mischung wurde der Erntetermin auf die Siloreife des Mais gelegt, beim Sudangras und den Sudangrasmengen war das Ziel, einen Trockensubstanzgehalt von 28 % im Erntegut zu erreichen. Die Getreidearten und die Getreidegemenge wurden zum BBCH 77-83 bei der Ganzpflanzennutzung und zur Körnerreife bei der Körnernutzung geerntet. Der Erntezeitpunkt der Lupine und Saflor in den Mischungen richtete sich nach den Mischungspartnern; die Ernte der Reinsaaten wurde ebenfalls an den jeweiligen Mischungspartnern ausgerichtet. Der Bokharaklee hingegen wurde in Reinsaat erst im September geschnitten, da vorher weder Trockensubstanzgehalt noch Erntemengen für einen früheren Zeitpunkt gesprochen hätten. Zur Ernte der Hafer/Bokharaklee-Mischung wurde jedoch zur Einschätzung der relativen Gesamterträge der Mischungen gegenüber den Reinsaaten ein Biomasseschnitt vorgenommen.

3.4 Ertragsfeststellung

Der Ernteschnitt der Prüfglieder erfolgte zu definierten Vegetationsstadien mit einem Schwadmäher. Für die Maisernte stand auch ein gezogener Maishäcksler zur Verfügung. Der Frischmasseertrag der einzelnen Prüfglieder wurde parzellenweise ausgewogen und beprobt, um den Trockensubstanzgehalt feststellen zu können. Aus den gewonnenen Daten konnte der Trockenmasseertrag in dt pro ha errechnet werden.

Aus den vier Wiederholungen eines Prüfgliedes wurde für die weiteren laboranalytischen Untersuchungen eine Mischprobe genommen.

3.4.1 Laboranalytik

Die Bodenuntersuchungen und die Untersuchung des Pflanzenmaterials erfolgten durch die LUFA in Rostock.

Die Stickstoff-Düngeempfehlung im Versuch wurde nach dem Stickstoff-Bedarf-Analyse-System der Thüringischen Landesanstalt für Landwirtschaft (TLL) durchgeführt.

Für die Grundnährstoffe Phosphor, Kalium und Magnesium sollte die Versorgungsstufe C gewährleistet sein. Die Grunduntersuchung der Böden der Versuchsstandorte beinhaltete ebenfalls eine Messung des pH-Wertes.

Tab. 7: Laboranalytisch untersuchte Parameter und Methoden

Parameter	Methode
Bodenuntersuchungen	
pH (CaCl ₂)	VDLUFA I A 5.1.1
P ₂ O ₅	VDLUFA I A 6.2.1.2
K ₂ O	VDLUFA I A 6.2.1.2
Mg	VDLUFA I A 6.2.4.2
Pflanzenuntersuchungen	
Trockenmasse	VDLUFA III 3.1
Rohasche	VDLUFA III 8.1
Rohprotein	VDLUFA III 4.1.1
Rohfaser	VDLUFA III 6.1.1
Rohfett	VDLUFA III 5.1.1
Calcium	VDLUFA III 2.2.6
Phosphor	VDLUFA III 2.2.6
Natrium	VDLUFA III 2.2.6
Magnesium	VDLUFA III 2.2.6
Kalium	VDLUFA III 2.2.6
Schwefel	VDLUFA III 10.8.3

3.5 Relativer Gesamtertrag

Die relativen Ertragsparameter relativer Gesamtertrag (Relativ Yield Total, RYT) und das Flächenäquivalenzverhältnis (Land Equivalent Ratio, LER) werden unter Punkt 2.5 ausführlich behandelt.

3.6 Ermittlung der Biogaserträge

Für den Vergleich der Prüfglieder und für die weitere Berechnung von ökonomischen und ökologischen Kennzahlen ist der Methanertrag von Bedeutung. Dabei kamen zwei Methoden – Rechenmodell und Batch-Versuch - zur Anwendung, die im Folgenden kurz vorgestellt werden.

Tab. 8: Vor- und Nachteile von Batch-Versuchen und Rechenmodellen (nach KTBL-HEFT 50)

Batch-Versuche	Rechenmodelle
Vorteile	
geringer technischer Aufwand	einfach anwendbar
Wiederholungsanzahl hoch	standardisierte Futtermittelanalysen verfügbar
innerhalb einer Substratgruppe leicht standardisierbar	sofortige Ergebnisverfügbarkeit
schnelle Ergebnisverfügbarkeit	kostengünstig
Nachteile	
kein Simulation von Verweilzeiten und Belastungen	Nährstoffanalytik und Werte zur Verdaulichkeit der Rohnährstoffe nötig
Abbauvorgänge laufen nicht zeitgleich ab	Modellverifizierung notwendig
Probenhomogenisierung notwendig	Aussagefähigkeit wird durch die Modellqualität bestimmt
keine uneingeschränkte Übertragbarkeit der Ergebnisse	Laborstandarduntersuchungen zum Teil nötig

3.6.1 Rechenmodell

Es wurde das Rechenmodell nach SCHATTAUER und WEILAND (2002) gewählt. Für die Berechnung der theoretischen Biogasbildung der Prüfglieder werden Trockensubstanz-, Asche-, die Rohfaser-, Rohprotein und Rohfettgehalt benötigt (siehe Punkt 3.4). Die N-freien Extraktstoffe (NfE=100-Rohfaser-Rohprotein-Rohasche-Rohfett) und die Rohfaser bilden den Kohlenhydratanteil des Substrates. Die Verdaulichkeit der Rohnährstoffe wurde weitestgehend den DLG-FUTTERWERTTABELLEN (1997) entnommen. Für die Kulturen Steinklee und Saflor musste auf ältere Literatur zurückgegriffen werden (NEHRING und BECKER, 1969).

Für die einzelnen Stoffgruppen sind spezifische Biogaserträge und Methangehalte festgelegt, die mit den Anteilen der organischen Trockensubstanz multipliziert werden (Tabelle 9).

Tab. 9: Spezifischer Biogasertrag und Methangehalt (nach SCHATTAUER und WEILAND; 2005)

	Biogasertrag in l/kg oTM	Methangehalt in Vol.-%
Verdauliches Eiweiß	650	72,5
Verdauliches Fett	1125	70,5
Verdauliche Kohlenhydrate	750	52,5

Die Methanerträge der Prüfglieder wurden für jedes Versuchsjahr und jeden Versuchsstandort berechnet. Im Ergebnisteil werden adjustierte Mittelwerte dargestellt. Für die Berechnung der Sachbilanz sowie des Deckungsbeitrages bzw. der bereinigten Stückkosten wird auf die adjustierten Mittelwerte zurückgegriffen.

3.6.2 Batchversuche

Die Batch-Versuche wurden ausschließlich mit dem Probenmaterial des Versuchsjahres 2006/07 eines Standortes (AZ 30) durchgeführt, sodass die Untersuchungsergebnisse nur einjährig vorliegen.

Das Probenmaterial wurde direkt im Anschluss an die Ernte gehäckselt (0,5 bis 1 cm Länge) und tiefgefroren. Die weitere Bearbeitung erfolgte am Institut für Nutztierwissenschaften und Technologie der Agrar- und Umweltwissenschaftlichen Fakultät der Universität Rostock

3.7 Mathematisch-statistische Auswertungsverfahren

Bei der mathematisch-statistischen Auswertung der Einzelversuche ist die PIAFStat-Software, die als Bindeglied zwischen PIAF (Planungs-, Informations- und Auswertungssystem für das Feldversuchswesen) und SAS (Statistical Analysis System) fungiert, zur Anwendung gekommen. PIAF ist eine Windows-Anwendung, die bei der Versuchsplanung und Auswertung der entsprechenden öffentlichen Stellen in MV und bundesweit genutzt wird und somit einen breiten Einsatz findet.

Bei den in der PIAFStat-Verfahrensbibliothek hinterlegten Verfahren handelt es sich um angepasste SAS-Programme (MICHEL und ZENK, 2007; MICHEL et al., 2007). In dem Verfahren kamen gemischte Modelle (mixed models) zur Anwendung.

Die vorliegenden Daten aus den Einzelversuchen zum Mischfruchtanbau wurden über das Verfahren „A-BL“ (einfaktorielle Blockanlage) ausgewertet. Da die Versuchsanlage eine eingeschränkte Randomisierung aufwies und somit unterstellt werden musste, dass die erhobenen Daten nicht

unabhängig voneinander sind, wurde bei der Auswertung die hierarchische Blockstruktur berücksichtigt (MICHEL und ZENK, 2007). D. h., die einzelnen Mischungen und jeweiligen Reinsaaten wurden zu Gruppen zusammengefasst, um Randeffekte zu vermeiden. Die Prüfglieder innerhalb einer Gruppe unterlagen einer freien Randomisierung; die der einzelnen Blöcke war jedoch eingeschränkt.

Die Berücksichtigung des hierarchischen Blockeffekts bei der Auswertung eines Einzelversuches ergab, dass die Gruppen innerhalb einer Wiederholung Varianzeffekte zeigten. Somit erhielt dieses Verfahren eine Berechtigung und konnte auf alle Einzelversuche angewendet werden. Eine weitere Besonderheit bei der Versuchsauswertung war, dass aufgrund des nicht additiven Datenverhaltens (unterschiedliches Ertragsniveau der Fruchtarten) die Varianzanalyse ohne Datentransfer nicht sinnvoll gewesen wäre. Daher wurden die Daten vor der Auswertung einer logarithmischen Transformation unterzogen.

Für die Datenanalyse konnte auf dieser Grundlage ein additives Model angewendet werden. Auf der Ebene der rücktransformierten Mittelwerte und Parameter erfolgte eine Interpretation.

Die Datenausgabe in PIAFStat beinhaltet:

- adjustierte Mittelwerte und Anteil der einzelnen Prüfglieder an der Restvarianz
- die Grenzdifferenz (GD) 5 % aller paarweisen Vergleiche (t-Test)
- eine Varianztabelle der fixen Effekte
- die Varianzkomponenten zufälliger Effekte und versuchsspezifischer Variationskoeffizienten
- die Effekte der Stufen zufälliger Faktoren und Anteile an der Restvarianz und
- den Ausreißertest nach Anscombe und Tukey.

Die Serienauswertung erfolgte mit dem SAS-Verfahren „proc mixed“, das an die Einzelversuchsauswertung anknüpft:

proc mixed Data	► Platzhalter Datensatz
class j pg az;	► Variablen: j=Jahr
model LN = pg j az;	pg=Prüfglied
random pg * j * az;	az=Standort
lsmeans pg j az / pdiff;	
ods output diffs = difftest	
run;	

3.8 Ökonomische Betrachtung

Für die Beurteilung der Wirtschaftlichkeit der untersuchten Prüfglieder wird die Produktionsschwelle (LEHMANN, 2006) errechnet. Wichtiges Entscheidungskriterium für die Wirtschaftlichkeit ist die Produktionsschwelle pro dt Trockensubstanz bzw. Silage. Diese errechnet sich aus der Summe von Direktkosten und Arbeitserledigungskosten.

Die variablen Maschinenkosten werden auf der Grundlage der Datensammlung KTBL „Betriebsplanung Landwirtschaft“ erhoben.

Die Nutzungskosten, die nicht bei den Winterzwischenfrüchten, sondern nur bei den Hauptfrüchten in Ansatz gebracht werden, resultieren aus dem unterstellten, verloren gegangenen Gewinn durch den Verkauf von Marktfrüchten (LEHMANN, 2006). Durch den Ansatz der Nutzungskosten erfolgt eine Vergütung des Produktionsfaktors „Boden“. In der (landwirtschaftlichen) Betriebswirtschaftslehre wird die Produktionsschwelle oder auch notwendige Preisuntergrenze als der Punkt beschrieben, bei dem der Produktpreis die variablen Kosten deckt. Die Verluste die entstehen, entsprechen den Festkosten (REISCH und KNECHT, 1995).

Es soll die Frage beantwortet werden, wie hoch der direkt- und arbeitserledigungskostenfreie Erlös der einzelnen Prüfglieder ist. Das aktuelle Marktgeschehen bekommt durch die Berücksichtigung der Nutzungskosten eine besondere Bedeutung. Daher bieten sich verschiedenen Szenarien an, um eine richtige Einordnung vornehmen zu können.

Die Berechnung der Produktionsschwelle ist ein Instrument der Planungsrechnung. Bei der Bewertung der Produktionsschwelle ist grundsätzlich zu beachten, dass sie standortabhängig ist. Die in Parzellenversuchen ermittelten Naturalerträge sind in der Regel höher, jedoch bietet die Produktionsschwelle eine gute Vergleichbarkeit der geprüften Fruchtarten untereinander. Auch berücksichtigt die Produktionsschwelle nicht die möglichen Biogaserträge, da diese sowohl vom Ausgangssubstrat, als auch von der Anlagenführung abhängig sind.

Planungsrechnung
+ variable Direktkosten Saatgut, Dünger, PSM, sonst. + Arbeitserledigungskosten teilweise Maschinenunterhaltung, Treib- u. Schmierstoffe, Lohnansatz + Nutzungskosten entgangener Deckungsbeitrag für Marktfrucht = Produktionsschwelle für den einzelbetrieblichen Ansatz ▼ Produktionsschwelle + feste Maschinenkosten und übrige Arbeitserledigungskosten Zinsansatz, AFA, Versicherung, Berufsgenossenschaft u.a. + Gebäudekosten z.B. Siloraum + sonstige Kosten Beiträge, Gebühren, Buchführung, Beratung u.a.
= Gewinnschwelle

Abb. 1: Kosten der Biomasseproduktion zur energetischen Nutzung (nach LEHMANN, 2006)

3.9 Energiebilanzen der untersuchten Prüfglieder

Die in dieser Arbeit vorgenommene Energiebilanz dient dem Vergleich der einzelnen Prüfglieder in Bezug auf die Brutto- und Nettoenergieerträge, den kumulierten Energieverbrauch und den Ertragsfaktor.

Die Bruttoenergieerträge werden auf der Grundlage der nach WEILAND und SCHATTAUER (2002) für die Prüfglieder berechneten spezifischen Methanausbeuten (NI Methan/kg oTM) und den Naturalerträgen (dt TM/ha) der Parzellenversuche kalkuliert. Die Nettoenergieerträge ergeben sich nach Abzug des kumulierten Energieverbrauchs von den Bruttoenergieerträgen. Der Ertragsfaktor ist

der Quotient aus Nettoenergieertrag und dem kumulierten Energieverbrauch. Zur Darstellung der kumulierten Energieaufwendungen, also die Summe aller Energieaufwendungen der untersuchten landwirtschaftlichen Verfahren inklusive Vorkette, wurden in dieser Arbeit die Betriebsmitteleinsätze mit einbezogen.

In Anlehnung an die Arbeit von ARMAN (2003) wird jede dargestellte landwirtschaftliche Prozesskette in die Teilverfahren:

- Bodenbearbeitung und Aussaat,
- Düngung,
- Pflanzenschutz und
- Ernte und Transport

untergliedert. Den einzelnen Teilverfahren werden die kumulierten Energieaufwendungen der genannten Betriebsmittel zugeordnet.

Für die Erhebung des Maschineneinsatzes wurden in Abhängigkeit von der Beschaffenheit des Erntegutes und der Erntemenge Verfahren festgelegt (siehe Anlage). Jedem einzelnen Verfahrensschritt sind Zeitanspruch und Lebensdauer der jeweiligen Maschine bzw. des jeweiligen Gerätes zugeordnet (KTBL, 2006). Daraus ergibt sich auch der Verbrauch von Dieselmotorkraftstoff.

Die kumulierten Energieaufwendungen für mineralischen Stickstoff wurden nach Einsatz, für die übrigen in Tab. 10 aufgeführten Nährstoffe nach Entzug bestimmt. Für jedes Verfahren liegt eine Nährstoffanalyse des Erntegutes der LUFA vor.

Tab. 10: Kumulierte Energieaufwendungen

Betriebsmittel	Primärenergiebedarf (MJ/kg)	Quelle
Dieselmotorkraftstoff	48,1	UMWELTBUNDESAMT (2009a)
N-Dünger	51,9	UMWELTBUNDESAMT (2009c)
P-Dünger	19,8	UMWELTBUNDESAMT (2009d)
K-Dünger	18,9	UMWELTBUNDESAMT (2009e)
Ca-Dünger	2,7	UMWELTBUNDESAMT (2009b)
Saatgut	3,4	KALTSCHMITT und REINHARDT (1997)
Pflanzenschutz	276	UMWELTBUNDESAMT (2009f)
Traktoren < 45 kW	206,3	GAILLARD et al. (1997)
Traktoren > 45 kW	176,8	GAILLARD et al. (1997)
Erntemaschinen	163,4	GAILLARD et al. (1997)
Bodenbearbeitung	150,8	GAILLARD et al. (1997)
übrige Geräte	139,1	GAILLARD et al. (1997)

4 Ergebnisse des Mischfruchtanbaus

4.1 Winterkulturen

Die vorwinterliche Entwicklung der einzelnen Kulturen auf dem Standort Gülzow verlief 2005 sehr unterschiedlich. Der Bokharaklee und auch der Inkarnatklee bildeten keine Bestände. Das Getreide und auch der Winterrübsen gingen sehr üppig entwickelt in die Vegetationsruhe. Auf dem Versuchsstandort Bandow stellte sich die Situation aufgrund der verspäteten Aussaat anders dar. Für das Getreide war der Aussaattermin nahezu optimal, für die übrigen Kulturen jedoch deutlich zu spät. Das zeigte sich auch bei der Bestandesbonitur vor der Winterruhe. Zu Vegetationsbeginn entwickelte sich der Roggen auf beiden Standorten gut, die Gerste in Bandow besser als in Gülzow. Die hohen vorwinterlichen Pflanzenbestände bildeten eine dichte, filzige Auflage auf den Parzellen. Der Inkarnatklee wies ebenso wie die Winterrübsen Winterschäden auf. Infolge der sommerlichen ersten Maihälfte entwickelten sich die Bestände gut. Der Winterrübsen ging sehr schnell, kaum verzweigt, von der vegetativen in die generative Phase über. Von den Gras- und Klee grasprüfgliedern waren Folgeschnitte aufgrund der lang anhaltenden Trockenheit nicht möglich.

In der Vegetationsperiode 2006/07 nahmen trotz des späten Aussaattermines (02.09.2006) nicht nur das Wintergetreide und der Winterrübsen eine günstige Entwicklung, sondern auch die Leguminosen und Ackergrasprüfglieder in Reinsaat und Mischkultur etablierten gute Bestände. Anders der Weißblühende Bokharaklee in Reinsaat und in der Roggenmischung, der vor dem Winter ebenso wie im vorangegangenen Versuchsjahr keine winterharten Bestände entwickeln konnte. Nach bisherigen Erfahrungen mit dem Bokharaklee im Projekt Mischfruchtanbau ist ein Aussaattermin, entgegen der gängigen Empfehlungen in der Literatur (SIMON, 1962) im September nicht mehr möglich. Der Inkarnatklee hingegen wies im Gegensatz zum Vorjahr in der Frühjahrsbonitur keine Auswinterungsschäden auf. Der frühe Beginn der Vegetationszeit 2007 wirkte sich positiv auf die nachwinterliche Entwicklung der Prüfglieder aus und ließ eine frühe Ernte zu. Beim Weidelgras, dem Klee gras und dem Landsberger Gemenge waren drei Schnitte möglich, da nach dem trockenen April im weiteren Verlauf der Vegetationszeit für die wasserzehrenden Prüfglieder ausreichend Niederschläge fielen.

In Abbildung 2 sind die über die Standorte und Jahre adjustierten Mittelwerte für die Erträge sowie die Standardfehler der Prüfglieder dargestellt. Die Signifikanzen, die aus den paarweisen Vergleichen abgeleitet wurden, sind Tabelle 11 zu entnehmen.

Mit den reinen Winterroggen- und Wintergerstenbeständen in den Prüfgliedern mit und ohne Herbizid wurden die höchsten Erträge erzielt. Bezogen auf den durchschnittlichen Trockenmasseertrag aller Prüfglieder von 38,42 dt/ha liegt der relative Ertrag der Wintergerste bei 143 bzw. 163 % (mit Herbizid). Der relative Ertrag beider Winterroggen-Prüfglieder beträgt 137 %. Die Winterroggen-Prüfglieder in Reinsaat und im Gemenge mit Steinklee bzw. Winterwicke wurde zum Grannenspitzen des Winterroggens geerntet. Bei dem Gemenge aus Winterroggen und dem Weißen Steinklee handelt es sich eher um eine Dünnsaat des Winterroggens mit reduzierter Stickstoffgabe, da die Leguminose weder in Reinsaat noch im Gemenge zu einem so späten Aussattermin im Feld etabliert werden konnte. Die Prüfglieder der Reinsaat Wintergerste hingegen wurden zur Milch-/Teigreife geerntet und können damit nicht, wie alle anderen Prüfglieder, als Winterzwischenfrüchte in die Fruchtfolge eingeordnet werden. Mit dem Prüfglied Wintergerste Herbizid wurden tendenziell die höchsten Erträge aller Prüfglieder erzielt. Eine Herbizidbehandlung erscheint, anders als bei der Reinsaat Winterroggen, in diesem Versuch gerechtfertigt.

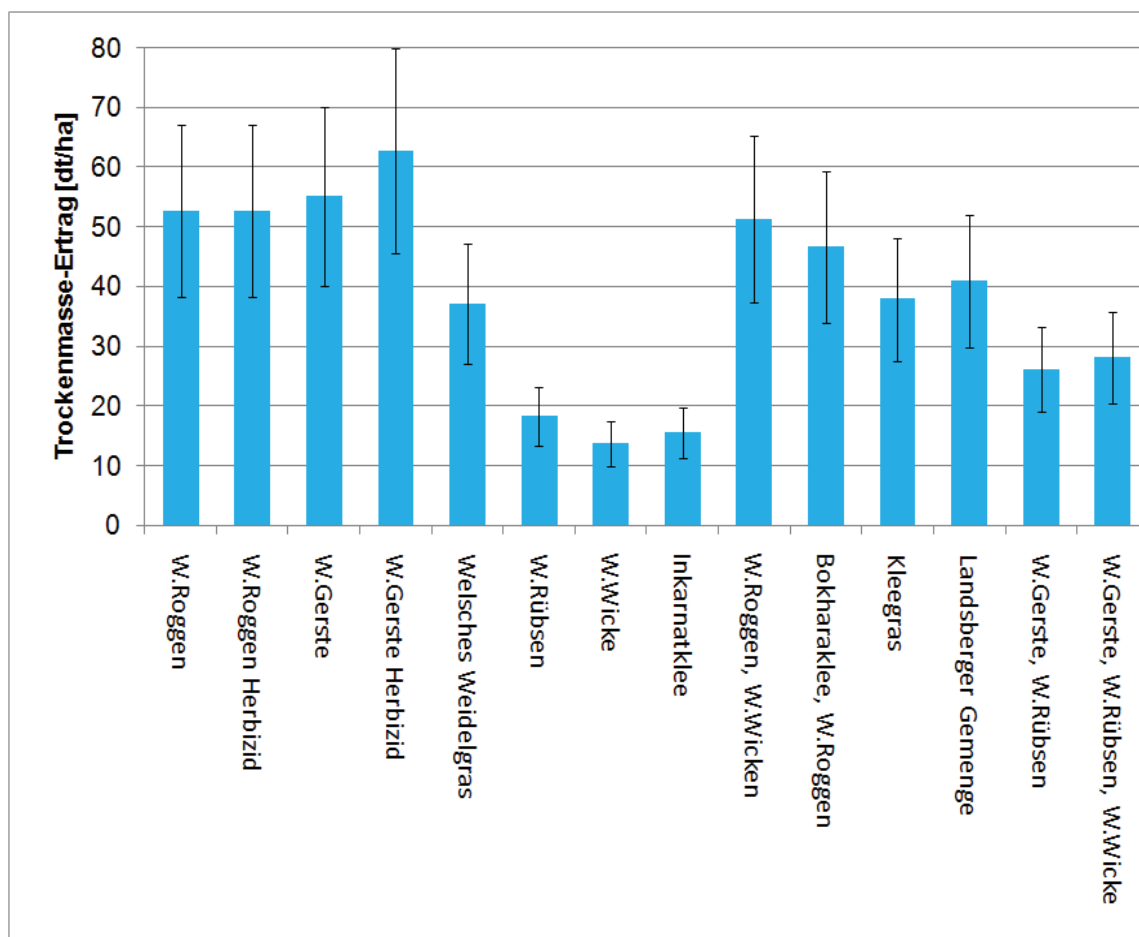


Abb. 2: Adjustierte Mittelwerte ($n = 4$) für die Erträge der Winterkulturen aus den Erntejahren 2006 und 2007 der Standorte in Gülzow und Bandow sowie die Standardfehler

Die Erträge der Getreidereinsaat unterscheiden sich signifikant von denen der übrigen Reinsaat mit Ausnahme des Welschen Weidelgrases. Das Prüfglied Wintergerste mit Herbizid ist die einzige Reinsaat, mit der signifikant höhere Naturalerträge erzielt wurden als mit den untersuchten Gemengen. Diese Gemenge aus Wintergerste und Winterrübsen bzw. Wintergerste, Winterrübsen und Winterwicke erreichen einen relativen Ertrag von 68 bzw. 73 % des durchschnittlichen Ertrages aller Prüfglieder. Sie wurden ebenso wie die Reinsaat des Winterrübsens zur Blüte des Kreuzblüher geerntet.

Tab. 11: Signifikanztabelle der über die Jahre und Standorte (Gülzow und Bandow) gemittelten Ertragsergebnisse der Prüfglieder in Reinsaat und Gemenge in Winterfruchtstellung

	W.Roggen Herbizid	W.Gerste	W.Gerste Herbizid	W.Weidelgras	W.Rübsen	W.Wicke	Inkarnatklée	Wickroggen	W.Roggen, Bokharaklee	W.Rübsen, W.Gerste, W.Wicke	Klee gras	Landsberger Gemenge	W.Rübsen, W.Gerste
W.Roggen	-	-	-	-	+	+	+	-	-	-	-	-	-
W.Roggen Herbizid	-	-	-	-	+	+	+	-	-	-	-	-	-
W.Gerste			-	-	+	+	+	-	-	-	-	-	-
W.Gerste Herbizid				-	+	+	+	-	-	+	-	-	+
W.Weidelgras					-	+	+	-	-	-	-	-	-
W.Rübsen						-	-	+	+	-	-	+	-
W.Wicke							-	+	+	-	+	+	-
Inkarnatklée								+	+	-	+	+	-
Wickroggen									-	-	-	-	-
W.Roggen, Bokharaklee										-	-	-	-
W.Rübsen, W.Gerste, W.Wicke											-	-	-
Klee gras												-	-
Landsberger Gemenge													-

+ signifikant; - nicht signifikant (t-test, $\alpha = 0,05$)

Die relativen Erträge der Leguminosenreinsaat liegen mit 35 % für Winterwicke und 40 % für Inkarnatklée deutlich unter dem durchschnittlichen Ertrag aller Prüfglieder. Die Erträge sowohl dieser Prüfglieder, als auch der Prüfglieder Winterrübsen in Reinsaat (47 % relativer Ertrag) sind signifikant niedriger als die der Gemenge aus Winterwicke und Winterroggen (133 %), Steinklee und

Winterroggen (121 %) sowie der des Landsberger Gemenges (103 %). Die Naturalerträge des Welschen Weidelgrases (97 %) und des Kleegrases als Gemenge aus Welschem Weidelgras und Inkarnatklee (98 %) unterscheiden sich signifikant von den Erträgen der Winterwicke und dem Inkarnatklee. Nach Betrachtung der adjustierten Mittelwerte für die Erträge auf der einen und den Signifikanzen zwischen den Prüfgliedern auf der anderen Seite kann nicht von einem Vorteil der Mischungen gegenüber den Reinsaaten gesprochen werden. Die Prüfglieder, so wie sie in Abbildung 2 dargestellt sind, können nicht ohne weiteres miteinander verglichen werden. Zudem zeigt sich deutlich, dass die Standardfehler der einzelnen Prüfglieder sehr hoch sind. Ein genauerer Vergleich der einzelnen Mischungen und jeweiligen Reinsaaten in den einzelnen Versuchsjahren und auf den verschiedenen Versuchsstandorten, wie er in den folgenden Kapiteln erfolgen wird, erscheint angebracht.

4.1.1 Futterroggen und Futterroggengemenge

In der beschreibenden Sortenliste des Bundessortenamtes werden in der Sortenübersicht „Winterroggen Grünnutzung“ vier Sorten geführt. Hierbei handelt es sich ausschließlich um Populationssorten. Diese speziell für den Winterzwischenfruchtanbau gezüchteten Winterroggensortentypen zeichnen sich durch eine hohe Bestockungsfähigkeit und einem frühen Wachstumsbeginn aus. Ein vorrangiges Ziel des Winterzwischenfruchtanbaus innerhalb einer Biomasse betonten Fruchtfolge ist die frühe Feldräumung, um für die Zweitfrucht möglichst optimale Aufwuchsbedingungen zu schaffen und für diese längere Vegetationszeiten zu ermöglichen.

Wird der Erntetermin „Ährenschieben“ überschritten, kommt dem Kornertrag eine größere Bedeutung zu. Der höhere Kornertrag der Hybridsorten gegenüber den Populationssorten kann bei Winterroggen-GPS in Hauptfruchtstellung zur Energiegewinnung nutzbar gemacht werden (MIEDANER, 2007; WORTMANN, 2007). Dabei korrelieren die Erträge zum BBCH 75 mit dem Kornertrag. Bei ökonomischer Betrachtung empfehlen HEILMANN und LEHMANN (2007) für die Körnernutzung für alle Anbaubedingungen Mecklenburg-Vorpommerns Hybridroggensorten.

BOELKE (2007) geht davon aus, dass die Bedeutung des Winterroggens aufgrund seines Ertragspotenzials bei vergleichsweise geringem Betriebsmitteleinsatz im Bereich Biogas über die traditionellen Anbaubereiche hinausgehen wird.

Der Mischanbau von Grünroggen und Wicken hat eine lange Tradition. Die Winterwicke ist auf eine Stützfrucht angewiesen und hat somit im Reinanbau keine praktische Bedeutung. Das Gemenge aus Winterroggen und Zottelwicke ist die klassische Mischung für sandige Böden. Neben seiner

Bedeutung für die Bodenfruchtbarkeit (BURKHARDT, 1956; HEYLAND, 1996) hatte dieses Gemenge auch innerhalb des Systems des „grünen Fließbandes“ seinen festen Platz zur Verlängerung der Futternutzungszeit der Winterzwischenfrüchte. Mit dem 1965 in der DDR zugelassenen „POS-Grünschnittroggen“ wurde eine eigens für dieses Gemenge gezüchtete Roggensorte mit verspäteter Schnittreife geschaffen, da die Rohfasergehalte der üblichen Winterroggensorten zur Reife der Winterwicke für Fütterungszwecke bereits zu hoch waren (SEIFFERT, 1968). Der Entwicklungsrhythmus des Winterweizens ist dem der Winterwicke besser angepasst, verlangt allerdings auch bessere Böden, als die Pannonische Wicke oder Futtererbse im Gemenge mit Winterroggen.

In der heutigen Landwirtschaft hat der Wickroggen nur noch im ökologischen Landbau eine gewisse praktische Bedeutung.

Für den Anbau des Gemenges aus Winterroggen und Weißem Steinklee werden in der Literatur unterschiedliche Angaben gemacht (SIMON, 1960a und 1960b; BLENKEN, 1948; PÄTZOLD, 1961; PETERSEN, 1967).

Der Weiße Steinklee oder auch Bokharaklee wurde bis Anfang der 1950er Jahre als massewüchsige Pflanze für Fütterungszwecke auf Böden sehr geringer Güte angebaut. Neben dem Gemenge mit Winterroggen nennt SIMON (1960a) auch Hafer und Sommergerste als Mischungspartner. PETERSEN (1967) berichtet vom Mischanbau des Bokharaklees im „Gierslebener Gemenge“ mit Hafer und Weidelgras. In den USA nahm er im Ackerbau als Gründüngungspflanze große Flächen ein.

4.1.1.1 Anbautechnik, Ernte und Konservierung

Roggen benötigt unabhängig von der Nutzungsrichtung ebenso wie die Winterwicke und der Bokharaklee ein gut abgesetztes Saatbett. Während der Winterroggen und der Steinklee Saattiefen von ein bis zwei Zentimeter verlangen, sollte die Winterwicke besser bis drei Zentimeter tief gesät werden. Sowohl über den Saatzeitpunkt, als auch über die Saatsmengen beim Wickroggen werden in der Literatur sehr unterschiedliche Angaben gemacht. Wie bereits erwähnt, erfolgte im Versuch die Aussaat 2006 und 2007 aller Prüfglieder zum gleichen Termin Anfang September. Dieser Aussaattermin stellt einen Kompromiss dar, der für die Gemenge aus Winterroggen und Winterwicke (HEYLAND, 1996) bzw. Steinklee (SIMON, 1960a) in der Literatur seine Entsprechung findet. Während die Winterwicke in Reinsaat bestmöglich vor September gesät sein sollte (SEIFFERT, 1968; HEYLAND, 1996) differieren die Angaben bei Grünroggen je nach Nutzungsrichtung. LOCHOW PETKUS (KWS, 2008) gibt für die Sorte „Vitallo“ für die Nutzung als Futterroggen den Zeitraum von Ende August bis Ende Oktober mit 320 bis 400 keimfähigen Körnern pro m² an. Als Substrat für die Biogasanlage wird

der Zeitraum zwischen Mitte September und Mitte Oktober mit 220 bis 280 keimfähigen Körnern pro m² als günstig angesehen. Die erheblichen zeitlichen Differenzen im Aussaattermin dürften sich aus den Unterschieden von „optimal“ und „möglich“ erklären lassen.

Aufgrund des frühen Saattermins wurde im Versuch mit 180 keimfähigen Körnern pro m² gearbeitet. Die hohen Saatlängen begünstigen die Futterqualität und gestatten einen früheren Erntetermin des Futterroggens. Ziel vor Vegetationsruhe ist eine ausreichend bewurzelte Pflanze mit vier bis fünf Trieben. Als für den Steinklee optimal wird von MAKOWSKI et al. (2007) eine Frühjahrsblanksaat angesehen, als spätestmöglichster Termin wird entgegen der üblichen Meinung die Aussaat nach Wintergerste genannt.

Tab. 12: Sorten, Saatstärke und N-Düngung beim Winterroggen und den Winterroggengemengen

Reinsaat	Sorte	botanische Bezeichnung	Saatstärke (kg/ha)*	N (kg/ha)
Futterroggen	Avanti	<i>Secale cereale</i>	180*	80
Winterwicke		<i>Vicia villosa</i>	100	0
W. Steinklee		<i>Melilotus albus</i>	25	0
Gemenge				
1. Kultur	2. Kultur		% der Reinsaat	Modular
Futterroggen	Winterwicke		80:50	60
Futterroggen	W. Steinklee		80:100	60

*keimfähige Körner/m²

Eine Stickstoffdüngung im Herbst erfolgt zu Winterroggen als Winterzwischenfrucht nur nach Getreidevorfrucht und Strohdüngung. Nach HEYLAND (1996) muss die erste Stickstoffgabe die frühe Nutzung berücksichtigen. Er empfiehlt 100 bis 120 kg N/ha zu Vegetationsbeginn und je nach Bodengüte und Sorte 40 bis 80 kg N/ha zu Schoßbeginn als zweite Gabe bei Futterroggen. Verglichen mit anderen Empfehlungen in der Literatur erscheinen diese Angaben sehr hoch. SEIFFERT (1968) gibt 80 bis 120 kg N/ha an und entspricht damit den Werten von WORTMANN (2007), der 100 kg N/ha für Grünroggen und auch für Hybridroggen-GPS nicht mehr als 140 kg N/ha empfiehlt. Bei Grünroggen erfolgt die erste Gabe nach Empfehlung des Züchters zu Vegetationsbeginn mit 40 kg N/ha, die zweite Gabe zum Schossen sollte 60 kg N/ha nicht wesentlich überschreiten (KWS, 2008). Je nach Ertragsleistung und ohne Berücksichtigung der Zweitfrucht ergeben sich Düngerbedarfswerte für die Grunddüngung von 50 bis 60 kg P₂O₅/ha, bis 250 kg K₂O/ha und 30 bis 35 kg MgO/ha (MAKOWSKI, 2005). Die Düngeempfehlungen für Winterwicke, Steinklee und deren Gemenge mit Winterroggen sind spärlich. MAKOWSKI (2005) empfiehlt 40 bis 60 kg N/ha, bezüglich der übrigen

Nährstoffe besteht keine Abweichung zum Grünroggen. Für die Leguminosen Winterwicke und der dem Steinklee vergleichbaren Luzerne gibt HEYLAND (1996) folgende Hauptnährstoffgehalte im Erntegut an: 22 bzw. 20 bis 30 N, 6,5 bzw. 7,3 P₂O₅ und 9 bzw. 32,7 K₂O kg/10 dt TS. SIMON (1960a) hält trotz des guten Aufschluss- und Aneignungsvermögens des Steinklees für Phosphorsäure eine Phosphorsäuredüngung für unumgänglich.

Auch bezüglich der Pflanzenschutzmaßnahmen wird zwischen den Nutzungsrichtungen Futterroggen und Hybridroggen-GPS unterschieden. Während bei Futterroggen nach MIEDANER (2007) auf alle Pflanzenschutzanwendungen verzichtet werden kann, sollten Hybridroggenbestände mit Herbizid-, Fungizid- und Wachstumsregleranwendung vergleichsweise intensiv geführt werden. Für die Körnernutzung werden zwei Fungizidmaßnahmen empfohlen, um Rhynchosporium, Mehltau und Braunrost ausreichend einzudämmen (WOLBER et al., 2008). Da die zu schützenden Blattetagen erst ab BBCH 31 gebildet werden und Braunrost im Roggen häufig nicht vor BBCH 49 ertragsrelevant auftritt, sind die Anwendungszeiträume klar umrissen. Damit wird deutlich, dass ein Fungizideinsatz in Abhängigkeit vom Befallsgeschehen auch im Futterroggen sinnvoll sein kann. Gleiches gilt für Herbizide und den Einsatz von Wachstumsreglern bei zu mastigen Beständen. Ein Herbizideinsatz bedeutet im Mischfruchtanbau grundsätzlich – wenn er überhaupt möglich ist bzw. es eine Mittelzulassung gibt –, dass dadurch die Anteile der Mischungspartner verändert werden, wenn es um den gleichzeitigen Anbau von monocotylen und dicotylen Arten geht. Wird der Mischfruchtanbau als Anbaustrategie zur Minimierung der Umweltbelastung gesehen, sollte auf den Herbizideinsatz grundsätzlich verzichtet werden, da die Applikation die natürliche Reaktion des Mischbestandes auf die Umwelteinflüsse nivellieren würde.

Aufgrund der niedrigen Trockensubstanzgehalte eines zum Grannenspitzen bzw. Ährenschieben geernteten Futterroggens ist ein Häckseln aus dem „Stand“ nicht möglich, da die Sickersaftverluste zu hoch wären. Mit Rotationsmähdwerken können die Bestände auf Schwad gelegt und bei günstiger Witterung nach ein bis zwei Tagen Feldliegezeit direkt aus dem Schwad gehäckselt werden. (RIESTOCK et al. 2005). Mit einer Häcksellänge von vier Zentimetern und dem Zusatz von Milchsäurebakterien ist nach PIPER et al. (2004) die Produktion einer hochwertigen Silage möglich.

4.1.1.2 Ertragsleistungen

Die Erträge der Prüfglieder Winterroggen mit und ohne Herbizid sowie das Gemenge Wickroggen unterscheiden sich auf den einzelnen Standorten und in den einzelnen Versuchsjahren nur geringfügig. Zwischen den Versuchsstandorten zeichnet sich die Tendenz ab, dass auf dem höherwertigen Standort auch höhere Erträge erzielt werden, allerdings sind diese Unterschiede nicht

signifikant, da die Ertragsvariabilität zwischen den Prüfgliedern eines Standortes höher ist. Hochsignifikant hingegen ist der Jahreseinfluss auf die Versuchsergebnisse. Im Jahr 2007 wurden mit allen drei Prüfgliedern ca. 15 % mehr als 2006 geerntet; der Ertragsunterschied zwischen den Jahren beträgt ca. 30 %.

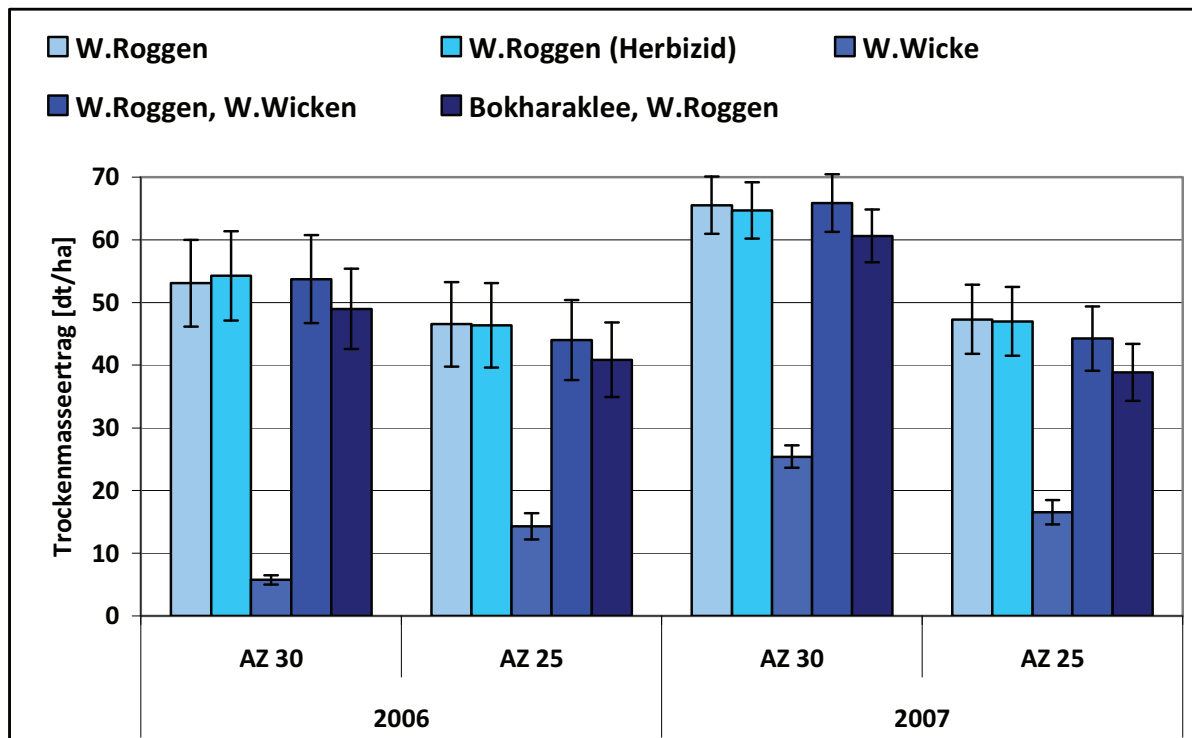


Abb. 3: Adjustierte Mittelwerte (n = 4) für die Erträge der Futterroggenmischungen und Reinsaaten der einzelnen Versuchsjahre und -standorte sowie die Standardfehler

SEGGL et al. (2007) haben bei der Prüfung von 64 Winterroggenenotypen an vier Standorten auf ihre Eignung als Substrat für Biogasanlagen zum BBCH 55 im Mittel 79 dt TM/ha erzielt. Aufgrund höherer Stickstoffgaben und keiner genaueren Definition der Standorte können diese Werte nicht ohne weiteres verglichen werden. RIESTOCK et al. (2005) halten Erträge von 35 bis 45 dt TM/ha Futterroggen (Erntetermin BBCH 49) in der landwirtschaftlichen Praxis für realistisch. Mit dem Wickroggen als Winterzwischenfrucht wurden unter Bedingungen des ökologischen Landbaus auf dem Versuchsstandort Gülzow bis zu 39 dt TM/ha erzielt (GRUBER und THAMM, 2006). Ebenfalls in Gülzow wurden auf einem lehmigen Sand mit der Ackerzahl 48 Ende Mai zur Blüte des Winterroggens in Reinsaat und im Gemenge mit Winterwicke 98 bzw. 99 dt Trockenmasse pro Hektar geerntet (KLOSTERMANN, 2008).

Die Naturalerträge der Dünnsaat Winterroggen mit reduzierter Stickstoffdüngung erreichen in allen Jahren und auf allen Standorten nicht das Niveau der besprochenen Prüfglieder. Die Ertragsunterschiede sind jedoch nicht signifikant (Tab. 13). Der Aussaattermin hat sich für den

Weißblühenden Steinklee trotz der ausgesprochen milden Herbstwitterung der Jahre 2005 und 2006 als zu spät erwiesen. Auch eine Frühjahrseinsaat in die Winterroggenbestände hatte keinen Erfolg. Insofern kann das Gemenge aus Winterroggen und Weißblühendem Steinklee als extensives Futterroggen-Prüfglied mit reduzierter Saatstärke und Stickstoffdüngung angesprochen werden.

Tab. 13: Signifikanztabelle der einzelnen Versuchsjahre und -standorte: Futterroggenmischungen und Reinsaat

Erntejahr	2006								2007							
Standort	AZ 25				AZ 30				AZ 25				AZ 30			
	W.Roggen Herbizid	W.Wicke	Wickroggen	W.Roggen, Bokharaklee	W.Roggen Herbizid	W.Wicke	Wickroggen	W.Roggen, Bokharaklee	W.Roggen Herbizid	W.Wicke	Wickroggen	W.Roggen, Bokharaklee	W.Roggen Herbizid	W.Wicke	Wickroggen	W.Roggen, Bokharaklee
W.Roggen	-	+	-	-	-	+	-	-	-	+	-	-	-	+	-	-
W.Roggen Herbizid		+	-	-		+	-	-		+	-	-		+	-	-
W.Wicke			+	+			+	+			+	+			+	+
Wickroggen				-				-				-				-

+ signifikant; - nicht signifikant (t-test, $\alpha = 0,05$)

Signifikante Ertragsunterschiede in allen Jahren und auf beiden Versuchsstandorten bestehen zwischen den zum „Ährenschieben“ geschnittenen Winterroggen-Prüfglied und der zum BBCH 55 geernteten Winterwicke. Neben den niedrigen Naturalerträgen lässt sich die Winterwicke in Reinsaat auch aufgrund der Lagerneigung und den damit verbundenen technologischen Problemen bei der Ernte nicht für die Biomasseproduktion empfehlen. Auch für die Saatgutvermehrung ist die Winterwicke auf eine Stützfrucht angewiesen.

4.1.1.3 Ertragsanteile der Gemegepartner

Beim Wickroggenanbau ist die Winterwicke auf den Winterroggen als Stützfrucht angewiesen. Entsprechend war zu erwarten, dass der Winterwickenertrag innerhalb des Gemenges gegenüber der Reinsaat nicht abfallen würde. Die Flächenproduktivität bzw. der relative Gesamtertrag berechnet sich auf der Grundlage der adjustierten Ertragsleistungen der Reinsaat. Der Naturalertrag des Winterroggens ist mit dem des Wickroggens vergleichbar. Der relative Gesamtertrag des Gemenges ist jedoch deutlich höher als der der Reinsaat (siehe Abb. 4). Der Mehrertrag des Gemenges resultiert ausschließlich aus dem Aufwuchs der Wicken.

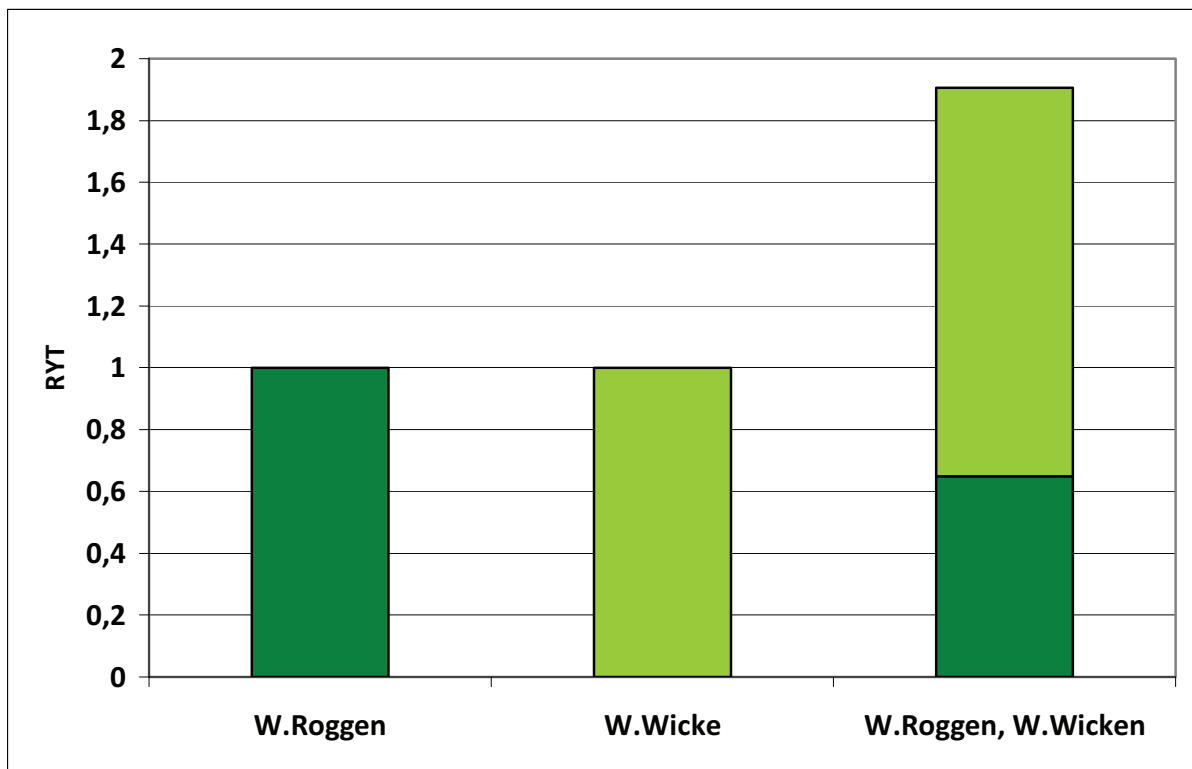


Abb. 4: Relativer Gesamtertrag (RYT) des Wickroggens gegenüber den jeweiligen Reinsaatens der Standorte und Versuchsjahre

4.1.1.4 Methanerträge

Die in Abb. 5 gegenüber gestellten Methanerträge der Prüfglieder Winterroggen mit und ohne Herbizid, Winterwicke, Wickroggen und dem Gemenge aus Winterroggen und Steinklee in Normalliter pro kg oTM zeigen innerhalb einer Methode und zwischen den Methoden zur Einschätzung des Methanbildungsvermögens der einzelnen Substrate sehr unterschiedliche Ergebnisse. Beim Vergleich der rechnerisch ermittelten spezifischen Methanausbeuten der einzelnen Prüfglieder beträgt der Unterschied zwischen dem höchsten und niedrigsten Wert gerade einmal zwei Prozent, während die Abweichungen zwischen den Prüfgliedern bei den im Batchversuch ermittelten spezifischen Methanausbeuten bis zu 40 % betragen.

Obwohl entsprechend dieser Aussage die spezifischen Methanausbeuten der einzelnen Prüfglieder je nach zugrunde gelegter Methode bis zu 25 % abweichen, lassen die Ergebnisse keine Aussage darüber zu, bei welchem Vorgehen tendenziell höhere Methanausbeuten erzielt werden.

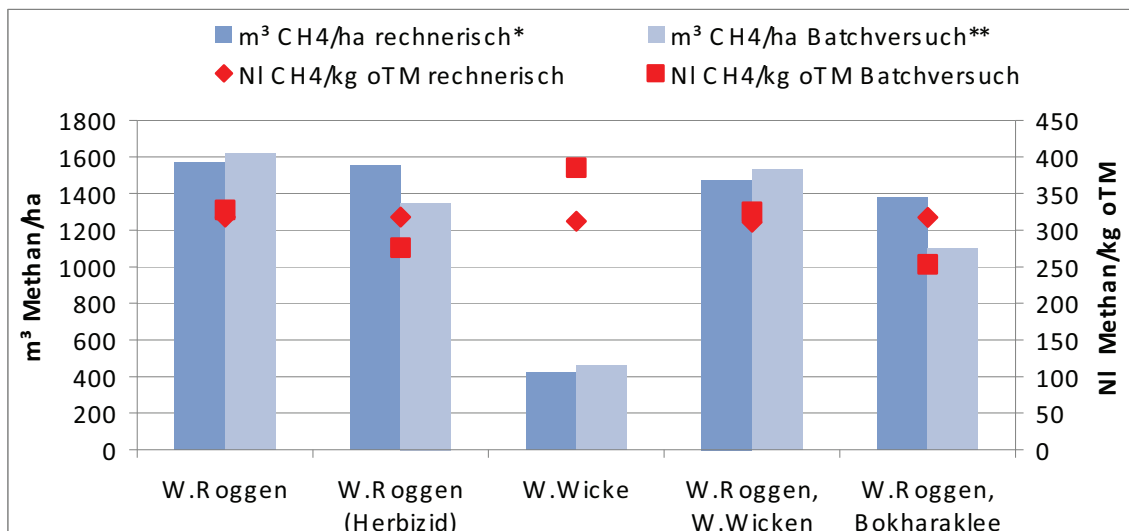


Abb. 5: Adjustierte Mittelwerte (n = 4) für die Methanerträge der Futterroggenmischungen und Reinsaaten (m³/ha) sowie die spezifischen Methanausbeuten (NI/kg oTM)

Da für die Berechnung der Methanerträge pro ha die adjustierten Mittelwerte für die Erträge in dt TM pro ha zugrunde gelegt wurden, verlaufen die Unterschiede innerhalb einer Methode zur Einschätzung des Methanbildungsvermögens analog zu dem Verhältnis der Naturalerträge der einzelnen Prüfglieder.

4.1.1.5 Energiebilanz

Der kumulierte Energieaufwand der Prüfglieder dieser Ertraggruppe variiert in Abhängigkeit von den Aufwendungen für die Düngemittel stark. Bei allen Prüfgliedern, außer bei der Winterwicke, macht die Düngung einen Anteil von ca. 65 % am kumulierten Energieaufwand aus. Das ist einerseits durch die niedrigeren Erträge und daraus resultierenden geringeren Entzügen der Nährstoffe Phosphor, Kalium, Magnesium und Kalzium zurückzuführen. Andererseits kann bei Leguminosen auf die Stickstoffdüngung verzichtet werden. Im Vergleich zu den übrigen Prüfgliedern werden bei der Winterwicke pro dt Trockenmasse Erntegut ca. 94 MJ kumulierter Energieaufwendungen für die Düngung benötigt, während für die anderen Prüfglieder um die 130 MJ/dt TM Erntegut aufgewendet werden müssen. Die kumulierten Energieaufwendungen für die übrigen Verfahrensabschnitte sind, absolut betrachtet, vergleichbar.

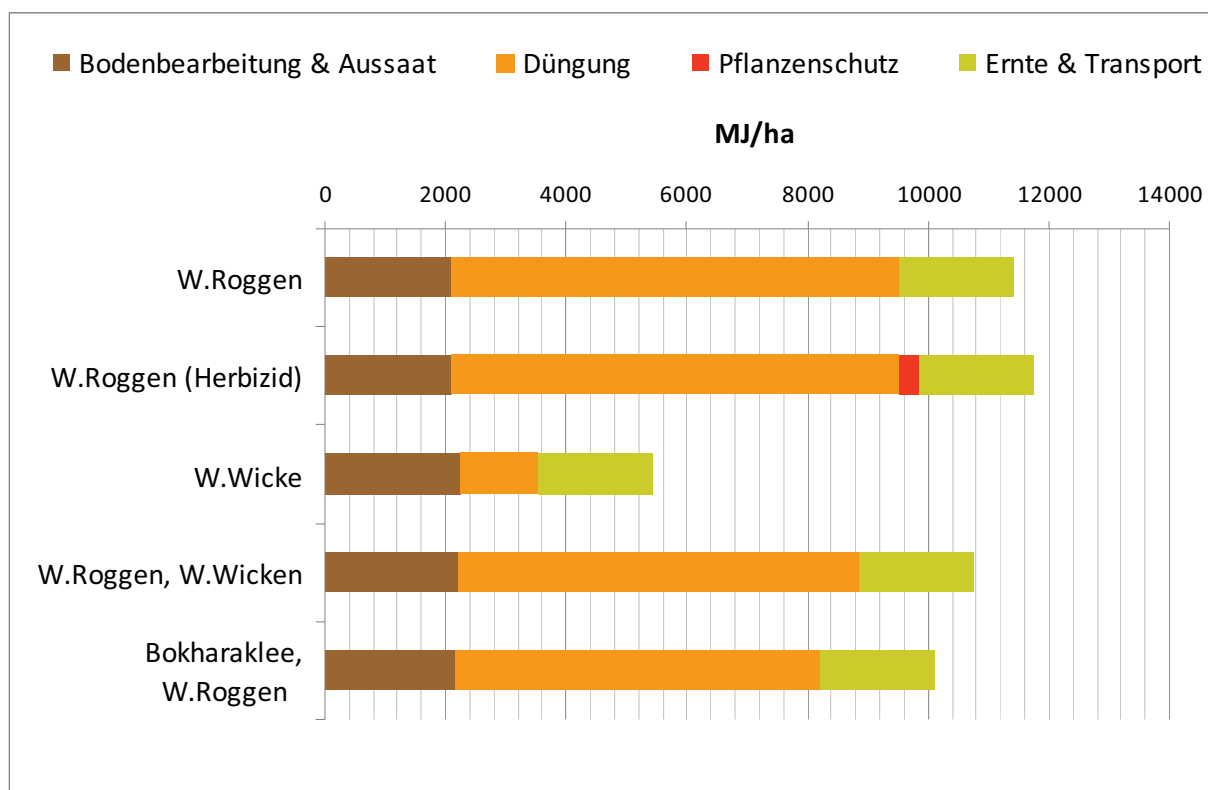


Abb. 6: Kumulierter Energieaufwand der Futterroggenmischungen und Reinsaat (Datengrundlage siehe Anhang)

Der Pflanzenschutz fällt bei einer ausschließlichen Betrachtung der energetischen Aufwendungen mit drei Prozent an den gesamten Aufwendungen kaum ins Gewicht. Allerdings muss auch die Frage gestellt werden, was er in diesem Fall konkret bewirkt hat.

Der Anteil des Kraftstoffes an den kumulierten Energieaufwendungen der einzelnen Verfahren macht mit ca. 2800 MJ/ha keine 25 % (bei der Winterwicke 45 %) aus.

Tab. 14: Energieertrag, kumulierter Energieaufwand und Ertragsfaktor der Futterroggenmischungen und Reinsaat (Datengrundlage siehe Anhang)

Fruchtart	Brutto- energieertrag Methan	Netto- energieertrag	kumulierter Energie- aufwand	Ertragsfaktor
	GJ/ha			GJ/GJ
W. Roggen	56,40	44,97	11,43	3,93
W. Roggen (Herbizid)	54,26	42,51	11,75	3,62
W. Wicke	15,23	9,82	5,41	1,81
W. Roggen, W. Wicke	52,95	42,19	10,76	3,92
Bokharaklee, W. Roggen	49,57	39,47	10,11	3,90

Tab. 14 zeigt, dass die kumulierten Energieaufwendungen des Verfahrens Winterwicke bei ca. 50 % der Aufwendungen der übrigen Prüfglieder liegen, da keine Stickstoffdüngung erfolgte und der Entzug der übrigen bewerteten Pflanzennährstoffe aufgrund niedriger Naturalerträge bei dieser Variante entsprechend geringer ausfällt. Folglich erreichen die Bruttoenergieerträge der Winterwicke nicht einmal 30 % der Erträge der anderen Verfahren. In der Abrechnung bedeutet dies, dass unter Berücksichtigung der beschriebenen Systemgrenzen in diesem Versuch die höchsten Ertragsfaktoren (siehe 3.8) mit den Prüfgliedern Winterroggen ohne Herbizid, Wickroggen und der Winterroggendünnsaat mit eingeschränkter Stickstoffdüngung (Bokharaklee, W. Roggen) erreicht wurden.

4.1.1.6 Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen

Der Anstieg der Preise für Betriebsmittel schlägt im Untersuchungszeitraum nicht durch. Opportunitätskosten werden für die in Abbildung 7 genannten Prüfglieder nicht in Ansatz gebracht, da nach Winterzwischenfrucht der Anbau einer Zweitfrucht noch möglich wäre.

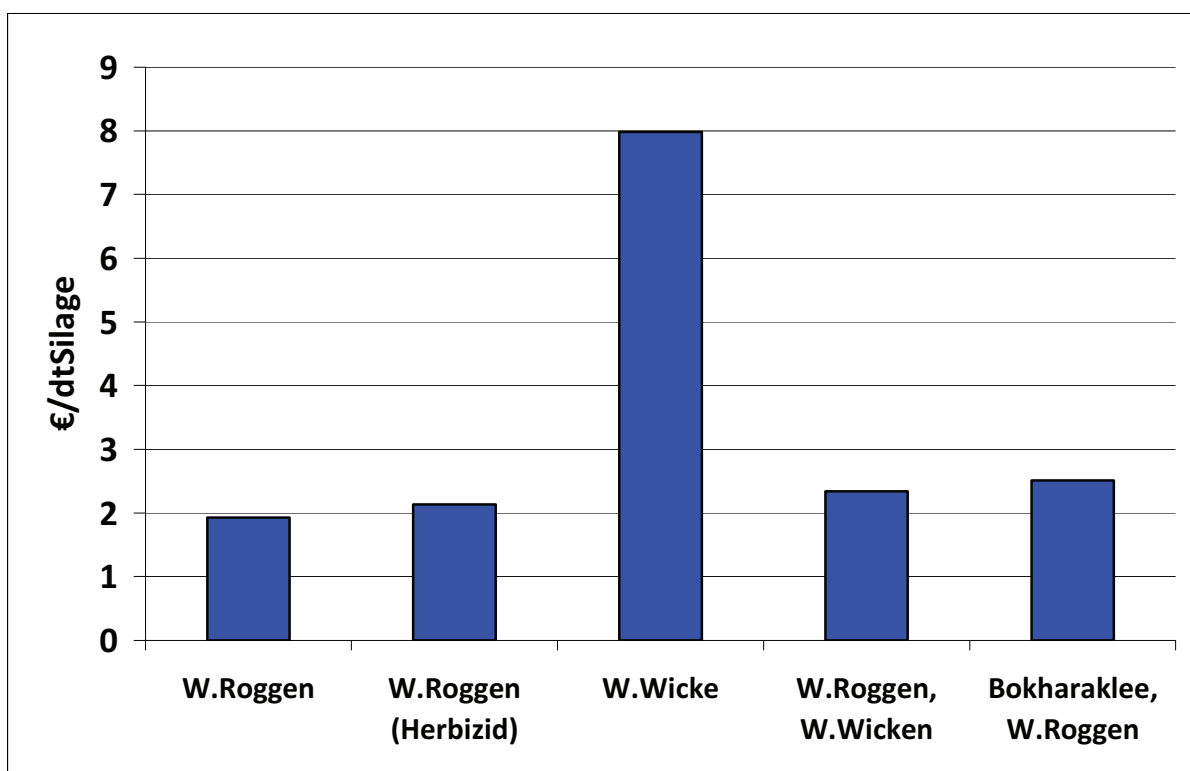


Abb. 7: Produktionsschwelle inklusive Lohnanspruch und Energiepflanzenprämie der Futterroggenmischungen und Reinsaaten

Die im Verhältnis zu den Naturalerträgen großen Unterschiede bei der Produktionsschwelle zwischen dem Winterroggen und dem Wickroggen lassen sich mit den hohen Saatgutpreisen für die Zottelwicke erklären.

Werden für die Berechnung der Produktionsschwelle das Preisniveau für Betriebsmittel aus dem Jahr 2008 und die Durchschnittserträge des Untersuchungszeitraumes zugrunde gelegt, entspricht die prozentuale Steigerung der Produktionsschwelle der einzelnen Prüfglieder der Steigerung der Betriebsmittelpreise.

Für die Berechnung der bereinigten Stückkosten bzw. eine Deckungsbeitragsrechnung werden die Methanerträge (rechnerisch) herangezogen.

Die bereinigten Stückkosten des Prüfgliedes Winterroggen ohne Herbizid belaufen sich auf 0,23 € pro m³ Methan; der Deckungsbeitrag beträgt bei unterstellten Erlösen von 0,30 €/m³ Methan 110 € pro Hektar. Einzig der Deckungsbeitrag der Winterwicke ist negativ.

4.1.2 Wintergerste, Futterrüben und Gemenge

Dass der Anbau der Wintergerste ausschließlich zur Körnergewinnung erfolgt, wird bereits bei NEHRING und BECKER (1969) damit begründet, dass mit ihr in keinem Wachstumsstadium als Winterfrucht so viel Biomasse wie mit Winterroggen erzeugt werden kann. Auch in der Tierernährung hat die Wintergerste als Grünfutterpflanze zu keiner Zeit die Bedeutung des Futterroggens erlangt. Aus ernährungsphysiologischer Sicht sollte die Wintergerste für die Futterproduktion zwischen Schossen und Ährenschieben geerntet werden, da die Verdaulichkeit der Rohnährstoffe zu diesen Zeitpunkten höher ist und die Grannen zu Verletzungen der Schleimhaut im Maul und Rachen der Tiere führen kann. SIMON (1993), der bezüglich der Tiergesundheit keine Einschränkung für die Verfütterung von Gersten-Ganzpflanzensilagen macht, merkt an, dass analog zum Silomais in der Kornteigreife beim Silogetreide der höchste Energieertrag in Form von leicht löslichen und fermentierbaren Kohlenhydraten gewonnen werden kann. Weder die Biobrennstoff- noch die Biogasproduktion werden auf Basis der Wintergerste diskutiert. Dennoch kommt der Wintergerste auch für die Biomasseproduktion eine Bedeutung zu, da sie frühräumend noch den Anbau von z. B. Hirsearten in Zweitfruchtstellung zulässt. Die mehrzeilige Wintergerstensorte „Merlot“ wird beispielsweise für den Anbau als Getreide-GPS empfohlen. Versuchsanstellungen denen die Fragestellung zugrunde liegt, ob für die Nutzungsrichtung Biomasse zweizeilige oder mehrzeilige Sorten den Vorrang erhalten sollten, sind nicht bekannt. Wie in der Diskussion beim Hybrid- bzw. Populationsroggen ließe sich auch bei der Wintergerste über die jeweilige Eignung von zwei- und mehrzeiligen Sorten diskutieren. Die höheren Kornerträge der mehrzeiligen gegenüber den zweizeiligen Sorten resultieren aus den höheren Kornzahlen pro Ähre. Das bedeutet, dass die Ernte möglichst erst ab der Vollreife erfolgen sollte. Demgegenüber werden mit den zweizeiligen Wintergersten wegen ihrer höheren Bestandesdichten zu einem früheren Erntezeitpunkt, der vor der

Kornfüllungsphase liegt, höhere Erträge erzielt. Grundsätzlich sollten für die GPS-Nutzung bestockungsfreudige, wüchsige und blattgesunde Sorten gewählt werden.

Eine Intensivierung der Getreideganzpflanzenproduktion wird nach SIMON (1993) über Gras- und Kleebeimengungen erreicht, die neben einer besseren Silierfähigkeit auch Ertrags- und Qualitätssteigerungen durch eine bessere Ausnutzung des Wasser- und Stickstoffangebotes versprechen. Mit voranschreitender Reife lichten sich die Getreidebestände, sodass bei ausreichender Wasser- und Nährstoffverfügbarkeit gute Wachstumsbedingungen für die Grasbeisaaten herrschen. Diese Verfahren eignen sich gut für Standorte mit für den Mais zu niedrigen Wärmesummen, weniger für grundwasserferne Sande.

Als Körnerfrucht hat der Winterrübsen (*Brassica campestris*) in Deutschland keine Bedeutung (HEYLAND, 1996). Der hohe Mechanisierungsgrad in den Agrarbetrieben sichert in der Regel die Einhaltung des optimalen Saattermins für den ertragreicheren Winterraps. Außerdem stehen zusätzlich für Spätsaaten nützliche Agrochemikalien und spätsaatverträgliche Sorten zur Verfügung, die ein Ausweichen auf den spätsaatverträglichen Winterrübsen nicht erforderlich machen. Die Massewüchsigkeit, frühe Schnittreife, gute Futterqualitäten und ein hohes Nährstoffaneignungsvermögen rechtfertigen andererseits das Festhalten an dieser Kultur (SEIFFERT, 1968; MAKOWSKI, 2000 in LÜTKE ENTRUP und OEHMICHEN, 2000). Im Bundessortenverzeichnis befinden sich sechs Sorten für den Anbau als Winterzwischenfrucht, darunter auch die tetraploide Artenmischung Perko PVH, eine Kreuzung aus Chinakohl und Rübsen (KWS, 2009).

Winterrübsen und auch Winterraps in Winterzwischenfruchtstellung gelten als sehr frühräumend (LÜTKE ENTRUP und OEHMICHEN, 2000). Während STÜLPNAGEL (2008) im Zweikultur-Nutzungssystem für den Winterrübsen in Erstfruchtstellung auf BBCH 75 als Erntezeitpunkt orientiert, um das maximale Biomassebildungspotential auszuschöpfen und für eine Silierung ausreichende Trockenmassegehalte zu erreichen, wird von anderen Autoren der Blühbeginn als spätester Erntezeitpunkt gesehen (LÜTKE ENTRUP und OEHMICHEN, 2000; KÄMPF et al., 1985; SEIFFERT, 1968). Eine hohe Verdaulichkeit der Rohnährstoffe und geringe Senfölgelalte sind für die Futternutzung wichtige Argumente. Aus pflanzenbaulicher Sicht soll für die Zweitkultur mit der möglichst frühen Räumung der Winterzwischenfrucht optimale Bedingungen geschaffen werden. Gegenüber dem Winterraps ist der Winterrübsen spätsaatverträglich, was bezüglich seiner Einordnung in die Fruchtfolge unproblematischer ist. Die gute Winterfestigkeit schreibt OEHMICHEN (1986) dem tiefliegenden Vegetationskegel zu. Die gegenüber dem Winterraps schnellere Frühjahrentwicklung des Winterrübsen, die ihn anfällig gegen Spätfröste macht und damit seine

Winterhärte relativiert (TROLL, 1960), befähigt die Pflanze andererseits, die Winterfeuchte gut zu nutzen. Dadurch gilt der Anbau auch auf leichteren Böden als sicher (SEIFFERT, 1968).

Da der Anbauumfang von Kruziferen und Betarüben 25 % in der Fruchtfolge nicht überschreiten sollte (MAKOWSKI, 2000 in LÜTKE ENTRUP und OEMICHEN, 2000), ist der Winterrübsenanbau auf Winterraps und Zuckerrüben fähigen Standorten nicht vertretbar.

Gemenge des Winterrübsens mit Grüngetreide finden Erwähnung bei NEHRING und BECKER (1969) und BECKER-DILLINGEN (1929). Hervorgehoben werden die bessere Silierfähigkeit dieses Gemenges gegenüber Grüngetreide und die bessere Schmackhaftigkeit gegenüber Raps- und Rübsensilage. Die Schmackhaftigkeit des Futters ist für die Biomasseproduktion zur energetischen Nutzung allerdings nicht relevant. Im „Thyrower Gemisch“ sind Knaulgras und Winterwicke Mischungspartner des Winterrübsens (HOF und RAUBER, 2003).

4.1.2.1 Anbautechnik

Ähnlich wie der Winterroggen ist bei der Wintergerste auf ein feinkrümeliges, gut abgesetztes Saatbett zu achten. Vernässung und Sauerstoffmangel infolge von Bodenverdichtungen sind unbedingt zu vermeiden. Bezüglich der Saatzeit für die Körnerproduktion der Wintergerste gibt es nach HEYLAND (1996) keinen Termin, der allgemein als optimal eingeschätzt wird. Andererseits gibt es regionale Empfehlungen, die standortabhängig, günstige Saattermine angeben. MAKOWSKI und KLAAS (1999) verweisen auf die Gefahr, dass es bei Aussaaten vor dem 15. September in der vorwinterlichen Entwicklung zum Schossen kommen kann, da die Wintergerste aus Sommerformen hervorgegangen ist und keinen Kältereiz benötigt, um von der vegetativen in die generative Phase zu wechseln.

Insbesondere in schneereichen Lagen sollte in der vorwinterlichen Entwicklung die Bestockung zwar abgeschlossen, aber noch nicht zu viel Blattmasse gebildet worden sein. Unter den Bedingungen Mecklenburg-Vorpommerns sollte daher auf eine Aussaat Mitte September orientiert werden. Eine unzureichende Bestockung kann über die Saatlücke kompensiert werden. Hierbei muss beachtet werden, dass die Bestockung bei den zweizeiligen Sorten mit einem Verhältnis von 1,8 bis 3,2 Bestockungstrieben pro Pflanze höher liegt als bei den mehrzeiligen Formen (1,3 bis 2). Für mehrzeilige Wintergerstesorten ergibt sich daraus eine Saatlücke von 300 bis 400 keimfähigen Körnern pro Quadratmeter; für die zweizeiligen Formen gilt ein Zuschlag von 20 bis 40 keimfähigen Körnern pro Quadratmeter (KÜBLER, 1996). Eine exakte Saattiefe von 3,5 Zentimetern sollte bei der Aussaat beider Formen eingehalten werden.

Besonders bei der Gerste richtet sich die N-Düngung nach dem Produktionsziel. Bei der Wintergerste zur Biomasseproduktion spricht nichts dagegen, den Empfehlungen für die Stickstoffdüngung der Futtergerste in Abhängigkeit von den Ertragserwartungen zu folgen. Das sind je nach Bodenvorrat 50 bis 70 kg N pro Hektar zu Vegetationsbeginn unter Berücksichtigung der Nachlieferungsraten des Bodens, 30 bis 60 kg Stickstoff zum Schossen und schließlich zum Ährenschieben nochmals 30 bis 70 kg Stickstoff pro Hektar (ANONYMUS, 2004). Die Düngedbedarfswerte für die Nährstoffe werden je nach Ertragserwartung mit 65 bis 100 kg P_2O_5 , 130 bis 195 kg K_2O und 25 bis 45 kg MgO pro Hektar angegeben.

Erfolgt eine optimale Nährstoffversorgung, sollte auch auf den Einsatz von Pflanzenschutzmitteln nicht verzichtet werden. Dieser beinhaltet zwei Fungizidapplikationen zu BBCH 30 und BBCH 49 bis 59, Insektizide nach Befall und ein Herbizid, dessen Wirkstoff in Abhängigkeit von den Leitunkräutern zu wählen ist.

Die Aussaat des Winterrübens kann noch zwei Wochen nach der des Winterrapses erfolgen (MAKOWSKI, 2000 in LÜTKE ENTRUP und OEHMICHEN, 2000). Bei sehr früher Saat ist ein erster Schnitt bereits nach sechs bis acht Wochen möglich (LÜTKE ENTRUP 2000, in LÜTKE ENTRUP und OEHMICHEN, 2000). Winterrüben ordnet sich, ähnlich wie Winterraps, in die Fruchtfolge ein. Neben Kruziferen und Betarüben soll nach KÖNNECKE (1966) auch eine Anbaupause von fünf bis sechs Jahren zu den Kulturen Lein, Mohn und Sonnenblumen gehalten werden. Als Vorfrucht vor Zweitfrüchten wird der Winterrüben aufgrund der frühen Feldräumung, eines kräftigen Wurzelwerkes und ausgeprägter Schattengare als „gut“ bewertet (LÜDDECKE, 1976).

Winterrüben verlangt ein feinkrümeliges, gut abgelagertes Saatbett.

Als günstigster Aussaattermin wird von Specht (1965) Ende August bis Anfang September angegeben. Die Aussaatstärke sollte in Abhängigkeit von den Bedingungen zur Saat, dem Aussaattermin und vom Standort 8 bis 12 kg betragen oder 70 bis 100 Pflanzen pro Quadratmeter (LÜTKE ENTRUP in LÜTKE ENTRUP, 2000; LÜDDECKE; 1976).

Die Saattiefe bei Winterrüben wird mit 2 bis 3 cm bei HEYLAND (1996) und mit 1 bis 2 cm von LÜTKE ENTRUP (2000, in LÜTKE ENTRUP und OEHMICHEN, 2000) angegeben. Bezüglich des optimalen Aussaatzeitpunktes gibt es zwischen Winterrüben und Winterwicke keine großen Abweichungen. Was die Saattiefe angeht, muss ein vertretbarer Kompromiss geschlossen werden.

Im Versuch wurde auch für das Gemenge aus Winterrüben, Wintergerste und Winterwicke eine Saattiefe von 2 bis 3 cm bei Reihenabständen von 12,5 cm angestrebt.

Tab. 15: Sorten, Saatstärke und N-Düngung der Wintergerste und des Winterrübens in Reinsaat und Gemenge

Reinsaat	Sorte	botanische Bezeichnung	Saatstärke (kg/ha)	N (kg/ha)
Wintergerste	Merlot	<i>Hordeum vulgare</i>	300*	80
Winterrüben	Perko PVH	<i>Brassica rapa</i>	10	40/80
Wintergerste	Merlot	<i>Hordeum vulgare</i>	300*	80
Winterwicke	Dr. B. Otsaat	<i>Vicia villosa</i>	100	0
Gemenge				
1. Kultur	2. Kultur	3. Kultur	% der Reinsaat	Modular
Winterrüben	Wintergerste		50:80	40/80
Winterrüben	Wintergerste	Winterwicke	40:60:30	40/60

*keimfähige Körner/m²

Gelingt es, einen lückenlosen Bestand zu etablieren, kann auf chemische Unkrautbekämpfung verzichtet werden. In den vorliegenden Gemengen ist das auch aus Verträglichkeitsgründen nicht möglich. Als mechanische Pflegemaßnahme wird der Striegel vor der einsetzenden Frühjahrsentwicklung in Drillrichtung empfohlen (LÜDDECKE, 1976). Die Anwendung von Insektiziden und Fungiziden bei einem Erntetermin spätestens zu Blühbeginn erübrigt sich. Der Rapserrdfloh (*Psylliodes chrysocephala*) kann nach LÜDDECKE (1976) auch in Winterzwischenfruchtbeständen des Winterrübens bekämpfungswürdig sein. MAKOWSKI (2000, in LÜTKE ENTRUP und OEHMICHEN), der den Rapserrdfloh als Wegbereiter der Wurzelhals- und Stängelfäule (*Phoma lingam*) bezeichnet, sieht bezüglich der Pflanzenschutzmaßnahmen bei der Körnerernte des Winterrübens kaum Unterschiede zum Winterraps. Folgerichtig ist mit höheren Pflanzenschutzaufwendungen bei einem von STÜLPNAGEL (2008) verfolgten Erntetermin des Winterrübens zum Wuchsstadium BBCH 75 zu rechnen.

Auf eine organische Düngung spricht der Futterrüben besonders gut an. Gülle sollte auf die Stoppel der Vorfrucht ausgebracht werden. In Versuchen mit Stallmistkopfgaben zum Futterrüben wurden sowohl für die Winterzwischenfrucht, als auch für die Zweitfrucht, namentlich Mais, Mehrerträge gegenüber dem Prüfglied „ohne Stallmist“ von über 10 Prozent erreicht (SCHRÖDER und GRAENTZ, 1964). Die von LÜDDECKE (1976) favorisierte späte Stallmistgabe auf gefrorenen Boden ist aus heutiger Sicht nicht mehr vertretbar (Düngeverordnung, 2003). Der Autor beschreibt die Wirkung einer mineralischen Volldüngung auf den Ertrag des Winterrübens sehr differenziert. Über eine Verdoppelung bzw. Verdreifachung der Düngungsstufe 40 kg N/ha, 11 kg P/ha und 40 kg K/ha wird

ein Mehrertrag von 13 bzw. 23 % erreicht. Der Eiweißertrag wird jedoch um 20 bzw. 43 % gesteigert. Rohfaser, Rohfett und der Trockensubstanzgehalt der Originalsubstanz nehmen prozentual ab.

LÜTKE ENTRUP (2000, in LÜTKE ENTRUP und OEHMICHEN, 2000) nennt als Nutzungsrichtungen Gründüngung, Grünfutter und Silage. Bei der Futternutzung wird die Beweidung als billigstes Verfahren angegeben. Die Verdaulichkeit der Rohnährstoffe ist zu Blühbeginn für eine Verfütterung am günstigsten, allerdings muss dann auch mit Ertragseinbußen gerechnet werden. Hinzu kommt, dass durch Sickersaftbildung der Silage die Trockensubstanzverluste ca. 15 % betragen (NEHRING und BECKER, 1969). Hohe Eiweißgehalte, ein enges Eiweiß : Kohlenhydratverhältnis und der hohe Wassergehalt sind dafür verantwortlich, dass der Winterrüben nur schwer zu konservieren ist. Auf Silierzusätze kann nicht verzichtet werden, eine Konservierung mit kohlenhydratreichen Pflanzen wird empfohlen. Vom Anwelken wird abgeraten (NEHRING und BECKER, 1969).

4.1.2.2 Ertragsleistungen

Bei dem Vergleich der Ganzpflanzenerträge der Prüfglieder Wintergerste mit und ohne Herbizid muss bedacht werden, dass diese Varianten aufgrund der späten Ernte zur Milch-/Teigreife nicht den Winterzwischenfrüchten zugeordnet werden können. Die Ertragsunterschiede gegenüber den übrigen Prüfgliedern sind in drei von vier Fällen signifikant (Tab. 16). Zwischen den Prüfgliedern mit und ohne Herbizid kann nur für das Jahr 2006 auf dem Standort AZ 30 ein signifikanter Ertragsunterschied festgestellt werden. Im Mittel aller Jahre und Standorte liegen die Naturalerträge des Prüfgliedes Wintergerste ohne Herbizid 16 % unter dem Ertrag der behandelten Variante.

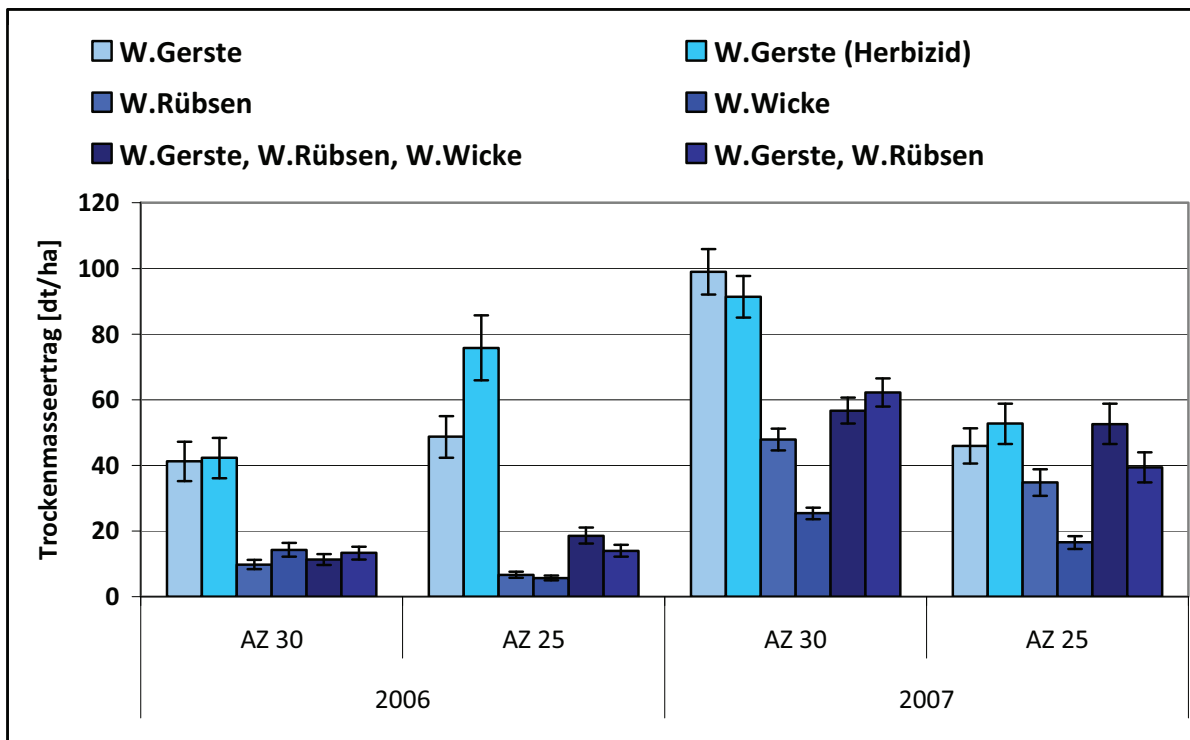


Abb. 8: Adjustierte Mittelwerte (n = 4) für die Erträge Wintergerste, Futterrübsen und Mischungen der einzelnen Versuchsjahre und -standorte sowie die Standardfehler

Trotz einer guten vorwinterlichen Entwicklung der Winterrübsenbestände in beiden Jahren sind die Erträge dieser Prüfglieder im Erntejahr 2006 sehr niedrig. Als Grund dafür können späte Fröste im ausgehenden Winter 2006 angeführt werden. Gleiches gilt für die Gemenge. Trotzdem wurden mit mindestens einem der beiden Gemenge in jedem Jahr und auf beiden Standorten gegenüber der Reinsaat Winterrübsen signifikant höhere Erträge erzielt. Aber auch zwischen den Gemengen konnte in einem Jahr auf einem Standort ein signifikanter Ertragsunterschied ermittelt werden.

Ebenso wie im Vergleich mit den Fruchtarten der Ertragsgruppe Winterroggen und Gemenge fallen die Erträge der Winterwicke auch gegenüber den Erträgen der Prüfglieder innerhalb dieser Ertragsgruppe deutlich ab. Größer als der Arten- und Standorteinfluss ist auch innerhalb dieser Ertragsgruppe der Jahreseinfluss.

Tab. 16: Signifikanztabelle der Ertragsleistung der einzelnen Versuchsjahre und -standorte: Wintergerste, Futterrüben und Mischungen

Erntejahr	2006										2007									
Standort	AZ 25					AZ 30					AZ 25					AZ 30				
	W.Gerste Herbizid	W.Rübsen	W.Wicke	W.Rübsen, W.Gerste, W.Wicke	W.Rübsen, W.Gerste	W.Gerste Herbizid	W.Rübsen	W.Wicke	W.Rübsen, W.Gerste, W.Wicke	W.Rübsen, W.Gerste	W.Gerste Herbizid	W.Rübsen	W.Wicke	W.Rübsen, W.Gerste, W.Wicke	W.Rübsen, W.Gerste	W.Gerste Herbizid	W.Rübsen	W.Wicke	W.Rübsen, W.Gerste, W.Wicke	W.Rübsen, W.Gerste
W.Gerste	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	-	+	-	-	-	+	+	+	+
W.Gerste Herbizid		+	+	+	+		+	+	+	+		+	+	-	-		+	+	+	+
W.Rübsen			+	-	+			-	+	+			+	+	-			+	+	+
W.Wicke				-	+				+	+				+	+				+	+
W.Rübsen, W.Gerste, W.Wicke				-					-					+					-	

+ signifikant; - nicht signifikant (t-test, $\alpha = 0,05$)

4.1.2.3 Ertragsanteile der Gemenge

Die Ertragsanteile der Gemenge aus Wintergerste, Winterrübsen und Winterwicke bzw. aus Wintergerste und Winterrübsen und daraus ableitbaren relativen Gesamterträgen der Mischungen gegenüber der Reinsaat sind Abbildung 9 zu entnehmen. Demnach wird mit dem Gemenge, bestehend aus drei Mischungspartnern, ein im Vergleich zur Reinsaat positiver relativer Gesamtertrag erreicht. Demgegenüber fällt mit dem Gemenge Wintergerste/Winterrübsen der relative Gesamtertrag gegenüber den beiden Mischungskomponenten in Reinsaat negativ aus. Absolut betrachtet, werden mit der Wintergerste die höchsten Naturalerträge erzielt.

Weder die Gemenge, noch die übrigen Reinsaaten kommen annähernd in diesen Leistungsbereich. Mit beiden Gemengen werden jedoch auch höhere Naturalerträge erreicht, als mit den übrigen beiden Reinsaaten. Während die Ertragsanteile der Wintergerste in den Gemengen nahezu identisch sind, unterscheiden sich die Winterrübsenanteile um ca. 10 %.

Beide Kulturen bleiben in beiden Gemengen deutlich hinter der Ertragsleistung gegenüber den jeweiligen Reinsaaten zurück. Durch den Winterwicke-Anteil des Gemenges aus Wintergerste, Winterrübsen und Winterwicke gestaltet sich der relative Gesamtertrag dieses Gemenges gegenüber den Reinsaaten positiv. Das absolute Ertragsniveau der Winterwicke im Gemenge ist mit ca. 5 dt Trockenmasse/ha zwar eher gering einzuschätzen, allerdings entspricht dieser Ertrag 55 % der relativen Flächenleistung der Reinsaat Winterwicke.

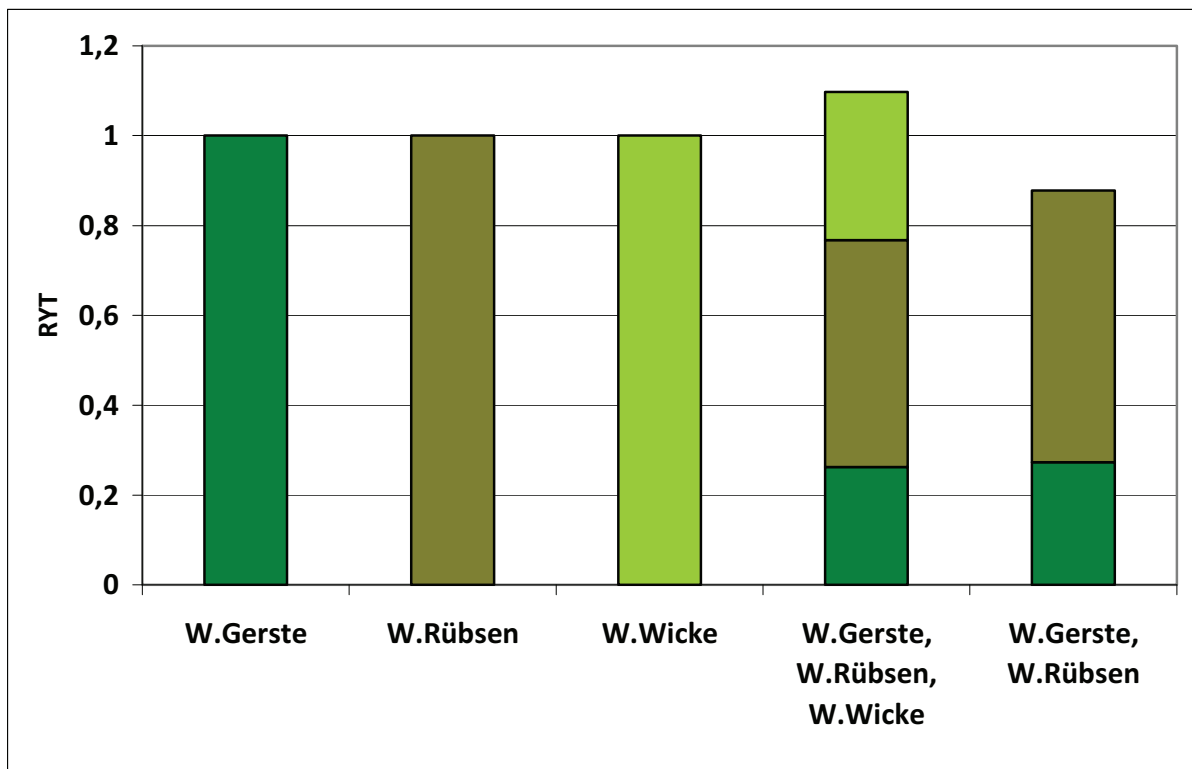


Abb. 9: Relativer Gesamtertrag (RYT) der Wintergerste/Winterrübsen-Mischungen gegenüber den jeweiligen Reinsaaten der Standorte und Versuchsjahre

4.1.2.4 Methanerträge

Bei der Ertragsgruppe Wintergerste, Winterrübsen und Gemenge können nicht nur bei den im Batchversuch ermittelten Methanausbeuten große Abweichungen zwischen den Varianten festgestellt werden, sondern auch bei den rechnerisch ermittelten Methanausbeuten. Es handelt sich also, im Vergleich zur anderen Ertragsgruppe, um heterogeneres Ausgangssubstrat mit unterschiedlichen Methanbildungspotenzialen. Innerhalb einer Methode unterscheiden sich die Methanausbeuten der einzelnen Prüfglieder um bis zu 25 %. Zwischen den Methoden kommt es jedoch ebenfalls zu Abweichungen von bis zu 20 % in Bezug auf die Methanausbeute einer einzelnen Variante, was die Sicherheit bei der Einschätzung des Methanbildungsvermögens nicht erhöht. Bei sechs Prüfgliedern konnte nur für eine Variante ein Unterschied bei der Methanausbeute von kleiner 10 % ausgewiesen werden. Auffällig bei dieser Ertragsgruppe ist, dass bei den rechnerisch ermittelten Methanausbeuten die Werte der Reinsaaten durchweg unter denen der Gemenge liegen.

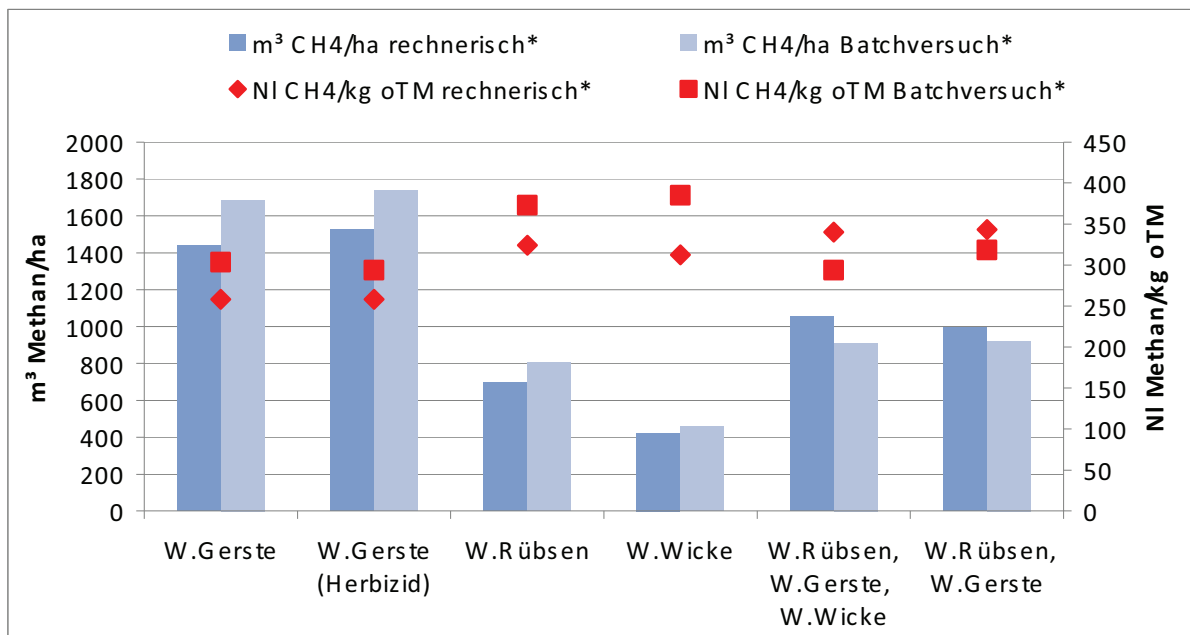


Abb. 10: Adjustierte Mittelwerte (n = 4) für die Methanerträge (m³/ha) Wintergerste, Futterrübsen und Mischungen sowie die spezifischen Methanausbeuten (NI/kg oTM)

Da die Wintergerste im Gemenge zu einem deutlich früheren Zeitpunkt geerntet wurde als in Reinsaat, und dadurch höhere Verdaulichkeiten der Rohnährstoffe angenommen werden können, ist dieses Ergebnis nachvollziehbar. Schwer interpretierbar sind die im Batchversuch ermittelten Methanausbeuten, da die Werte der Gemenge unter den Werten der Reinsaat Winterwicke und Winterrübsen liegen.

Die höchsten Methanerträge wurden mit den Prüfgliedern erzielt, die auch die höchsten Naturalerträge aufweisen. Zwar ergeben sich aufgrund der unterschiedlichen Ermittlungsmethoden auch größere Unterschiede bezüglich des Methanertrages zwischen den Fruchtarten, die Tendenzen bleiben jedoch unabhängig von der Methode bestehen.

4.1.2.5 Energiebilanz

Ebenso wie beim Winterroggen und den Winterroggengemengen liegt auch bei der Wintergerste der Anteil der Düngung an den kumulierten Energieaufwendungen bei über 60 %; bei dem Winterrübsen und den Gemengen sogar bei fast 70 %. Ausschlaggebend hierfür ist die im Vergleich hohe Stickstoffdüngung dieser Prüfglieder.

Wiederum bezogen auf die Naturalerträge werden für die Erzeugung einer dt Trockenmasse bei der Wintergerste ca. 110 MJ an Energieaufwendungen nur für die Düngung benötigt; bei dem Winterrübsen 439 MJ und bei den Gemengen ca. 300 MJ/dt TM. Bei den Prüfgliedern Wintergerste beansprucht der Verfahrensabschnitt „Bodenbearbeitung und Aussaat“ höhere

Energieaufwendungen, da – anders als bei den Winterzwischenfrüchten - eine zusätzliche Stoppelbearbeitung kalkuliert wurde.

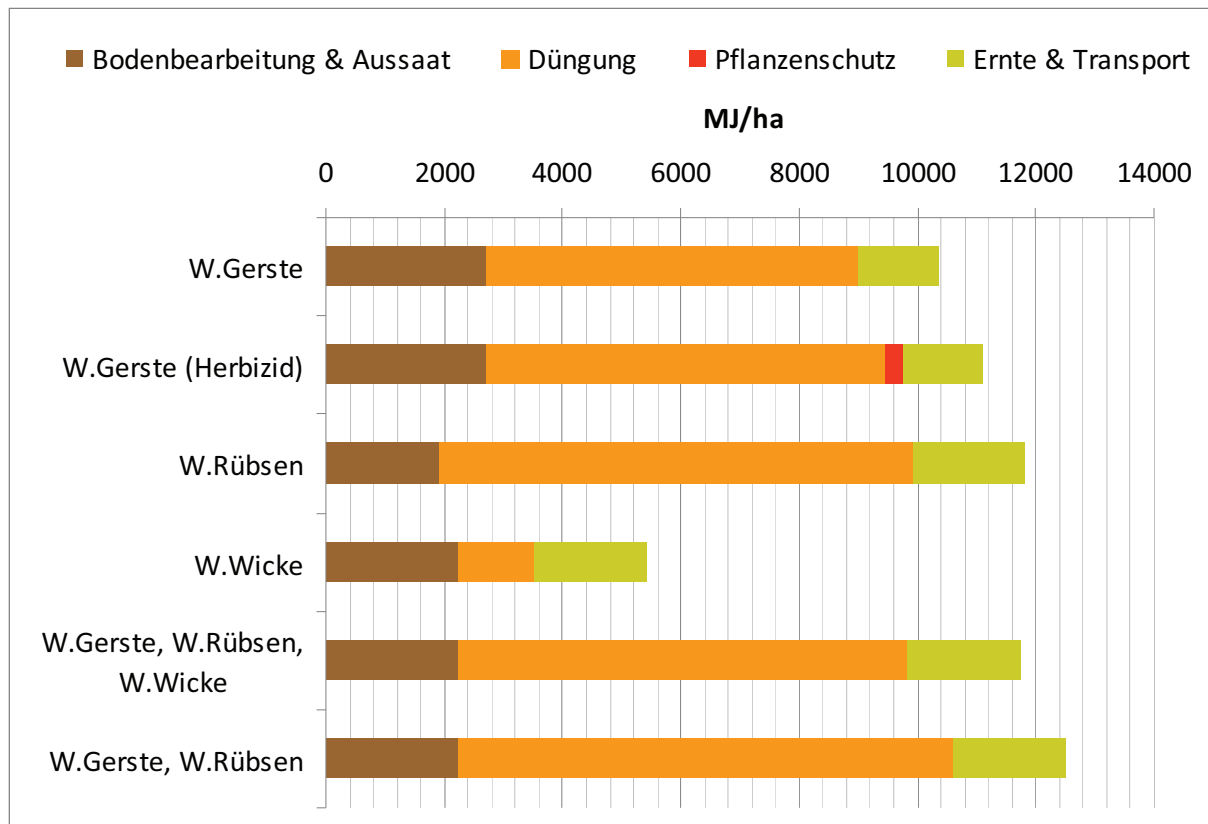


Abb. 11: Kumulierter Energieaufwand Wintergerste, Futterrübsen und Mischungen (Datengrundlage siehe Anhang)

Bei dem Verfahrensabschnitt „Ernte und Transport“ kommt es aufgrund der abweichenden Ernteverfahren ebenfalls zu geringfügig abweichenden kumulierten Energieaufwendungen.

Im Vergleich zur Wintergerste muss die Ertragsleistung des Winterrübsens und auch die der Gemenge als gering eingeschätzt werden. Die Bruttoenergieerträge erreichen nicht annähernd das Niveau der Wintergerste. Die kumulierten Energieaufwendungen sind aufgrund der Stickstoffdüngung in den Gemengen mit Winterrübsenanteil höher. Entsprechend wird mit den Verfahren Wintergerste mit und ohne Herbizid auch der im Vergleich höchste Ertragsfaktor erreicht. Wenn allein die Pflanzenschutzmaßnahme die Ertragssteigerung bewirkt hat, so ist sie, gemessen am Aufwand, bei der Wintergerste gerechtfertigt.

Tab. 17: Energieertrag, kumulierter Energieaufwand und Ertragsfaktor Wintergerste, Futterrübsen und Mischungen (Datengrundlage siehe Anhang)

Fruchtart	Brutto- energieertrag Methan	Netto- energieertrag	kumulierter Energie- aufwand	Ertragsfaktor
	GJ/ha			GJ/GJ
W. Gerste	49,98	39,62	10,36	3,82
W. Gerste (Herbizid)	62,05	50,94	11,11	4,59
W. Rübsen	25,12	13,30	11,81	1,13
W. Wicke	15,23	9,82	5,41	1,81
W. Gerste, W. Rübsen, W. Wicke	37,93	26,20	11,73	2,23
W. Gerste, W. Rübsen	35,72	23,23	12,49	1,86

4.1.2.6 Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen

Bei den Prüfgliedern Wintergerste mit und ohne Herbizid werden Nutzungskosten in Ansatz gebracht. Die Produktionsschwelle dieser Prüfglieder bei einem unterstellten entgangenen Erlös von 143 € pro Hektar (entspricht in dieser Rechnung einem Brotroggenpreis von 9 € pro dt) sind im Vergleich aller Prüfglieder der Winterung mit der Dünnsaat des Winterroggens vergleichbar.

Sowohl beim Vergleich der Produktionsschwellen der Wintergersten Prüfglieder mit und ohne Herbizid, als auch die Betrachtung der bereinigten Stückkosten dieser Prüfglieder zeigt sich, dass eine Herbizidanwendung in der Wintergerste zur Biomasseproduktion lohnend ist.

Bei Getreidepreisen von deutlich über 20 € pro dt, wie sie 2007 auch tatsächlich gezahlt wurden, verschiebt sich die relative Vorzüglichkeit von der Wintergerste hin zu den Gemengen aus Winterrübsen und Wintergerste bzw. Winterrübsen, Wintergerste und Winterwicke, deren Produktionsschwelle aufgrund des Erntetermins unabhängig vom Getreidepreis ist.

Werden die Getreidepreise des Jahres 2008 unterstellt (Brotroggenpreis von 12 €/dt) und gestiegene Preise für Produktionsmittel berücksichtigt, bleibt die Wintergerste mit und ohne Herbizid die wirtschaftlichsten Varianten dieser Ertragsgruppe.

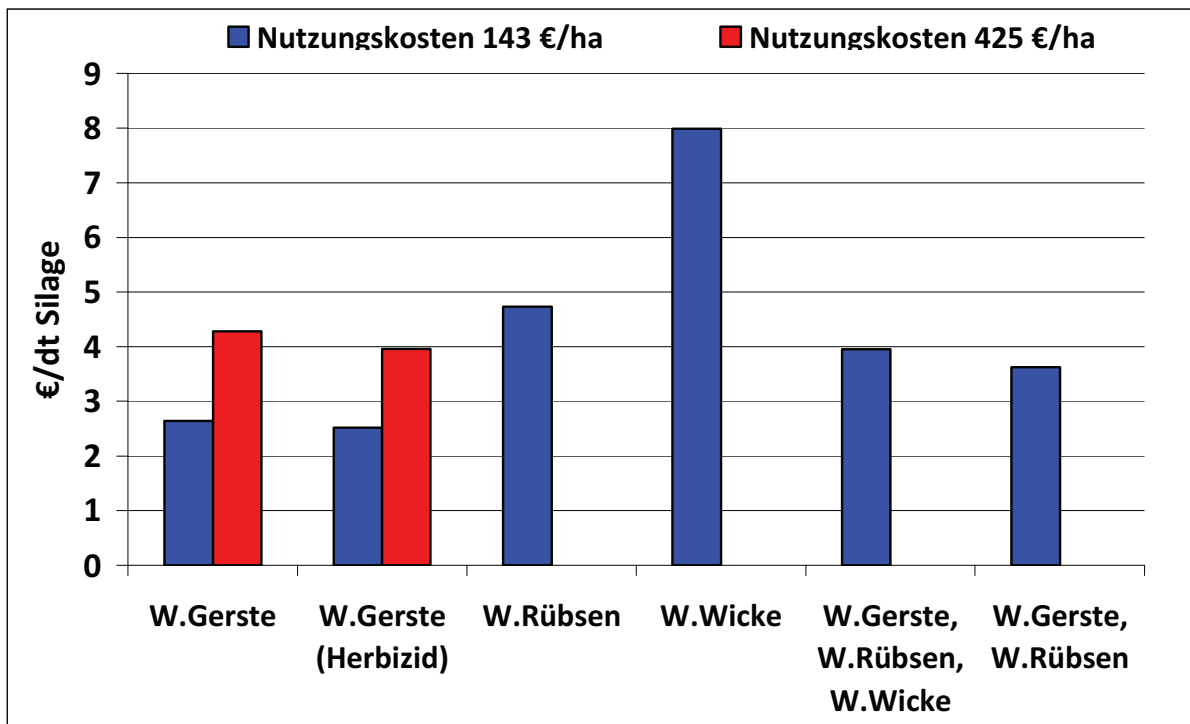


Abb. 12: Produktionsschwelle inklusive Nutzungskosten, Lohnanspruch und Energiepflanzenprämie Wintergerste, Futterrübsen und Mischungen

4.1.3 Ackergras und Klee-grasgemenge

Neben dem Wickroggen gilt das Landsberger Gemenge als das klassische Gemenge für den Winterzwischenfruchtanbau. Für die Wahl einer Winterzwischenfrucht ist nicht nur die Ertragsleistung, sondern auch der Zeitpunkt der Feldräumung von wesentlicher Bedeutung. Bezüglich der Feldräumung ist das Landsberger Gemenge ungünstiger zu bewerten, da die Schnittreife später erreicht wird als mit Wickroggen und zudem der Wassergehalt in der Ackerkrume aufgrund des Grasanteiles stärker aufgezehrt wird (SEIFERT, 1968). Als Nachfrucht bzw. Zweitfrucht kommen für eine Energiefruchtfolge neben Mais auch Hirsen in Betracht. Für Ackergräser und Klee-grasgemenge bieten sich aber auch mehrschnittige Nutzungsregime an. Für Folgeschnitte ist jedoch eine gleichmäßige Niederschlagsverteilung nötig. Grundsätzlich ist der Ackerfutterbau mit Ackergras und Klee-grasgemengen auf allen Standorten möglich, da in trockenen und Früh- bzw. Spätfrost gefährdeten Lagen mit einer entsprechenden Arten- und Sortenwahl auf die Standortbedingungen reagiert werden kann. Weidelgräser, insbesondere das Welsche-, Bastard- und Deutsche Weidelgras gelten als ertragsreich und sind für wüchsige Lagen geeignet (BENKE, 2006). Der Wiesenschweidel, der wegen seiner Frosthärte auch Mischungsanteile in Gerstgrasgemengen hat, aber auch Knautgras, Wiesenlieschgras und Wiesenschwingel hat unter bestimmten Standortbedingungen eine gewisse Anbauberechtigung (KTBL, 2006). Unter den Leguminosen kommt dem Rotklee im Feldfutterbau die größte Bedeutung zu, da er nicht nur mehrschnittig und ertragreich ist, sondern sein

Entwicklungsrhythmus über die Vegetationsperiode auch die Produktion hochverdaulicher organischer Substanz erlaubt. Die Luzerne, auch als Königin der Futterpflanzen bezeichnet, gilt als ertragreiche und von der Futterqualität als hochwertige Frucht für trockene Lagen (BENKE, 2006). Die Luzerne verlangt aber auch nährstoffreiche, tiefgründige und gut mit Kalk versorgte Böden (KTBL, 2006). Anspruchsloser an die Bodenverhältnisse als Rotklee und Luzerne ist der Inkarnatklee, als Nachteil muss seine für viele Lagen unzureichende Winterhärte angesehen werden. Auf mittleren bis leichten, wintermilden und mäßig feuchten Standorten sind Erträge bis 90 dt TM/ha möglich (HEYLAND, 1996). Der Schnitt erfolgt zur Blüte, die vor dem ersten Rotkleeschnitt erreicht wird (SEIFFERT, 1968).

Da der Inkarnatklee nur einen Schnitt gestattet, wird er ausschließlich als Winterzwischenfrucht und aufgrund des Auswinterungsrisikos fast ausnahmslos im Gemenge angebaut. Die Winterwicke, neben Welschem Weidelgras und Inkarnatklee dritter Mischungspartner des Landsberger Gemenges, wurde unter Punkt 4.1.1 bereits ausführlich besprochen.

4.1.3.1 Anbautechnik

Das Welsche Weidelgras kann bis Mitte September gesät werden, die Gemenge mit Inkarnatklee und/oder Winterwicke verlangen einen früheren Aussaattermin, günstigstenfalls Mitte August. Auf Saatzeitverzögerung reagiert der Inkarnatklee mit stärkerer Frostepfindlichkeit und Ertragseinbußen (SEIFFERT, 1968). Um einen für die Gras- und Kleesaat optimalen Bodenschluss herzustellen, sollte auf zu tiefe Bodenbearbeitung verzichtet und im Anschluss an die Saat gewalzt werden. Drillsaat mit Getreideabstand und Saattiefen von ein bis zwei Zentimeter werden beim Welschen Weidelgras und Inkarnatklee angestrebt. Die Saat des Inkarnatklees darf nicht als Untersaat in etablierte Grasbestände gedrillt werden, da er sehr beschattungsempfindlich ist.

Tab. 18: Sorten, Saatstärke und N-Düngung der Ackergras und Klee grasgemenge

Reinsaat	Sorte	botanische Bezeichnung	Saatstärke (kg/ha)	N (kg/ha)
Welsches Weidelgras	Fabio	<i>Lolium multiflorum</i>	40	80/60/60
Inkarnatklee	Linkarus	<i>Trifolium incarnatum</i>	30	0
Winterwicke	Dr. B. Otsaat	<i>Vicia villosa</i>	100	0
Gemenge				
1. Kultur	2. Kultur	3. Kultur	% der Reinsaat	Modular
Welsches Weidelgras	Inkarnatklee		63:33	60/40/40
Welsches Weidelgras	Inkarnatklee	Winterwicke	63:33:20	60/40/40

Für den Inkarnatklée in Reinsaat werden Saatstärken zwischen 15 und 20 kg/ha genannt (HEYLAND, 1996). Aufgrund des für den Inkarnatklée vergleichbaren späten Saatzeitpunktes im Versuch wurde eine Saatstärke von 30 kg/ha in Reinsaat gewählt, die sich an Empfehlungen der älteren Literatur ausrichtet (SEIFERT, 1968). Saatstärken von 40 kg/ha beim Welschen Weidelgras sind üblich (BENKE, 2007; KTBL, 2006). Die Angaben zu Saatanteilen in Klee-gras- bzw. Landsberger Gemenge variieren in der Literatur stark. Als Winterzwischenfruchtmischung werden 25 kg/ha Welsches Weidelgras, 15 kg/ha Inkarnatklée und 10 kg/ha Winterwicke, für das Klee-grasgemenge 20 kg/ha Welsches Weidelgras und 10 kg/ha Inkarnatklée empfohlen (DSV, 2009). Durch die Grasbeimischung wird gegenüber Kleereinsaaten im Feldfutterbau ein ausgeglichenes Eiweiß : Kohlenhydrat-Verhältnis für die Tierfütterung erreicht (VOIGTLÄNDER und JACOB, 1987). Darüber hinaus verbessern sich die Siliereigenschaften. Das Gras fungiert als Stützfrucht des Klees und in Abhängigkeit vom Standort können mit einem Gemenge auch höhere Erträge erzielt werden (NEHRING und BECKER, 1969).

Für Feldgras und Klee-gras wird ein Düngbedarf von 60 bis 100 kg/ha P_2O_5 , 255 bis 405 kg/ha K_2O und 30 bis 45 kg/ha MgO bei Erträgen zwischen 400 bis 600 dt Frischmasse pro Hektar angegeben, wenn die Nährstoffgehaltsklasse C vorliegt (ANONYMUS, 2004). Die Bedarfswerte für P_2O_5 und K_2O von Klee-gras liegen geringfügig unter denen des Feldgrases. Bei einem einschnittigen Nutzungsregime in Winterzwischenfruchtstellung reduzieren sich die genannten Bedarfswerte entsprechend der Ertragserwartung.

Auch die Stickstoffdüngung sollte nach Ertragserwartung erfolgen. Für Klee-grasgemenge sind die Stickstoffgaben zu reduzieren, damit der Kleeanteil innerhalb des Gemenges zur Geltung kommt (SIMON, 1987). Für trockene Lagen werden je nach Bodenverhältnissen für den ersten Schnitt bei Feldgras 60 bis 80 kg N/ha und für Klee-gras 30 bis 60 kg N/ha und für die Folgeschnitte 60 bzw. 40 kg N/ha mit dem Hinweis empfohlen, dass die Stickstoffversorgung in Klee-grasgemengen auch über mikrobielle Stickstofffixierung gesichert würde (KTBL, 2006). Dies trifft nach HOF und RAUBER (2003) aber nur für mehrjährige Futterbaugemenge zu, da ein Stickstofftransfer schnell verfügbarer löslicher N-Verbindungen nicht nachweisbar ist und die Mineralisierung von Pflanzenresten der Leguminose Zeit beansprucht.

Für den Herbizideinsatz in Feldgras- und Klee-grasbeständen stehen Wirkstoffe, auch Klee schonende, zur Verfügung. In der Regel werden Herbizide und andere Pflanzenschutzmittel jedoch nicht benötigt.

Das Ernteverfahren für Ackergräser und Leguminosen-Grasgemenge gliedert sich in Mähen, wahlweise mit Mähauflbereiter, Wenden, Schwaden, Häckseln, Transport des Anwelkgutes und

Silagebereitung (KTBL, 2006). BENKE (2006), der auf 10 Standorten in drei Bundesländern Ackerfuttergräser und Klee grasgemenge auf ihre Eignung als Biogassubstrat geprüft hat, stellt im Ergebnis fest, dass tendenziell mit einer verminderten Schnitthäufigkeit zwar niedrigere spezifische Gaserträge pro Gewichtseinheit, dafür aber höhere Natural- und Methanflächenerträge erzielt werden konnten. Ertragsvorteile der Klee grasgemenge gegenüber reinen Weidelgrasmischungen waren nicht feststellbar, vielmehr zeigte sich, dass die klimatischen und standörtlichen Gegebenheiten als Grundlage bei der Entscheidung für ein bestimmtes Ackerfuttermengemenge dienen sollten.

Aufgrund der hohen Erntekosten und des erschwerten Einsatzes des Substrates in Biogasanlagen ist die Eignung von Gras- und Klee grassilagen für die Biomasseproduktion zur energetischen Nutzung umstritten (NEUMANN, 2008).

4.1.3.2 Ertragsleistung

Tendenziell wurden mit dem Gemenge aus Welschem Weidelgras, Inkarnatklee und Winterwicke (Landsberger Gemenge) die höchsten Erträge aller in Abbildung 13 dargestellten Prüfglieder erzielt. Die Erträge des Landsberger Gemenges unterscheiden sich ebenso wie die Gras- und Klee graserträge signifikant von den Erträgen des Inkarnatklees und der Winterwicke. Der Inkarnatklee in Reinsaat kann wie die Winterwicke aufgrund der durchschnittlichen Ertragsergebnisse nicht für die Biomasseproduktion auf diesen Standorten empfohlen werden. Die Ertragsleistung einzelner Jahre ist jedoch beachtlich.

Die in Abb.13 dargestellten Erträge der Ackergras- und Klee grasprüfglieder beziehen sich auf eine einmalige Nutzung in Winterzwischenfruchtstellung. Im Erntejahr 2006 konnten aufgrund der Witterung keine weiteren Ernteschnitte realisiert werden, während 2007 ein zweiter und dritter Schnitt genommen wurde. Auf dem Standort AZ 30 konnten mit dem zweiten und dritten Schnitt jeweils zwischen 25 und 30 dt TM/ha erzielt werden; auf dem Standort AZ 25 ist das Ertragsniveau 25 % niedriger. Im dreischnittigen Nutzungssystem konnten also in Abhängigkeit vom Standort und dem Prüfglied zwischen 100 und 120 dt TM/ha erzielt werden. Deutlicher als der Standorteffekt ist auch innerhalb dieser Ertragsgruppe der Jahreseinfluss.

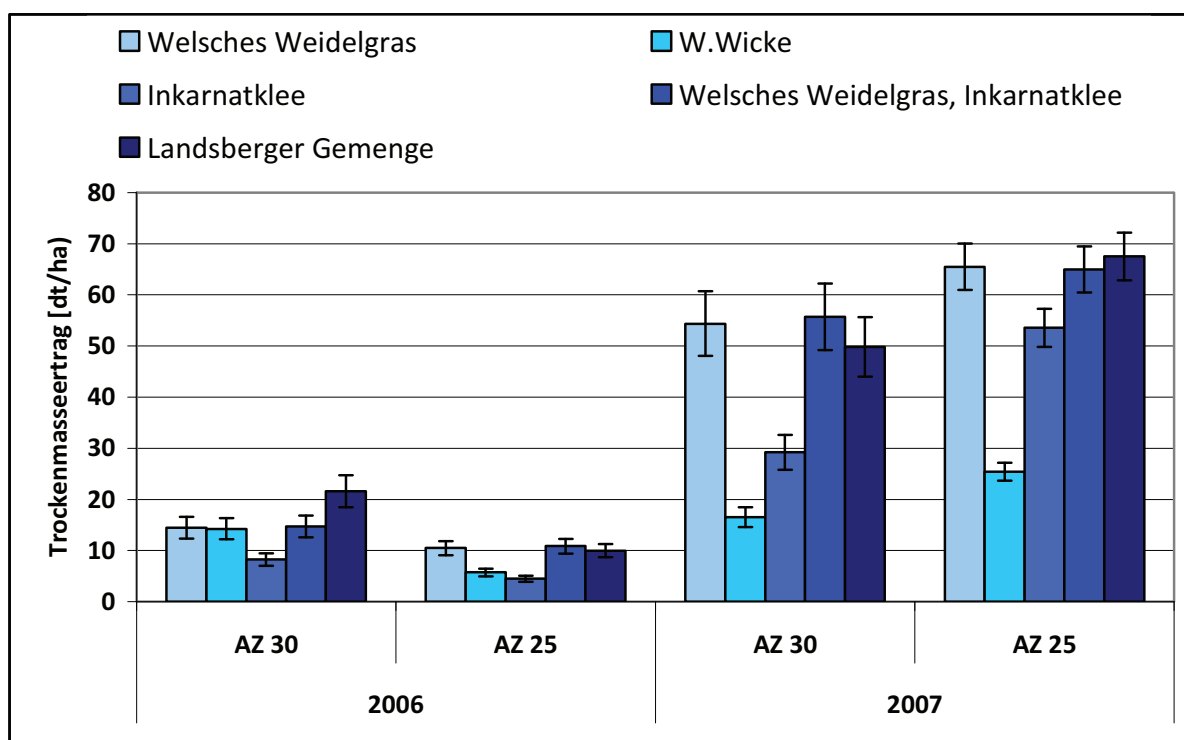


Abb. 13: Adjustierte Mittelwerte (n = 4) für die Erträge Klee gras, Landsberger Gemenge und Reinsaat en der einzelnen Versuchsjahre und -standorte sowie die Standardfehler

Tab. 19: Signifikanztabelle der Ertragsleistung Klee gras, Landsberger Gemenge und Reinsaat en der einzelnen Versuchsjahre und -standorte

Erntejahr	2006								2007							
Standort	AZ 25				AZ 30				AZ 25				AZ 30			
	W.Wicke	Inkarnatkle	Klee gras	Landsberger Gemenge	W.Wicke	Inkarnatkle	Klee gras	Landsberger Gemenge	W.Wicke	Inkarnatkle	Klee gras	Landsberger Gemenge	W.Wicke	Inkarnatkle	Klee gras	Landsberger Gemenge
W.Weidelgras	-	+	-	+	+	+	-	-	+	+	-	-	+	+	-	-
W.Wicke		+	-	+		-	+	+		+	+	+		+	+	+
Inkarnatkle			+	+			+	+			+	+			+	+
Klee gras				+				-				-				-

+ signifikant; - nicht signifikant (t-test, $\alpha = 0,05$)

4.1.3.3 Ertragsanteile der Gemenge

Mit den Gemengen aus Welschem Weidelgras und Inkarnatkle bzw. dem Landsberger Gemenge wurden über die Jahre und Standort höhere Naturalerträge erzielt als mit dem Welschem Weidelgras in Reinsaat. Entsprechend stellt sich der relative Gesamtertrag der Gemenge gegenüber den

Reinsaaten auch positiv dar (Abb. 14). Während mit der Mischungskomponente Welsches Weidelgras im Gemenge 72 und 90 % des Ertrages der Reinsaat erreicht werden, ist der Ertragsanteil des Inkarnatklees gleichermaßen geringer. Wiederum ist es die Winterwicke, deren Ertragspotenzial (im Vergleich zur Reinsaat) auch im Landsberger Gemenge vergleichsweise gut ausgenutzt werden kann und somit zu einem gegenüber der Reinsaat deutlich besseren Relativen Gesamtertrag führt.

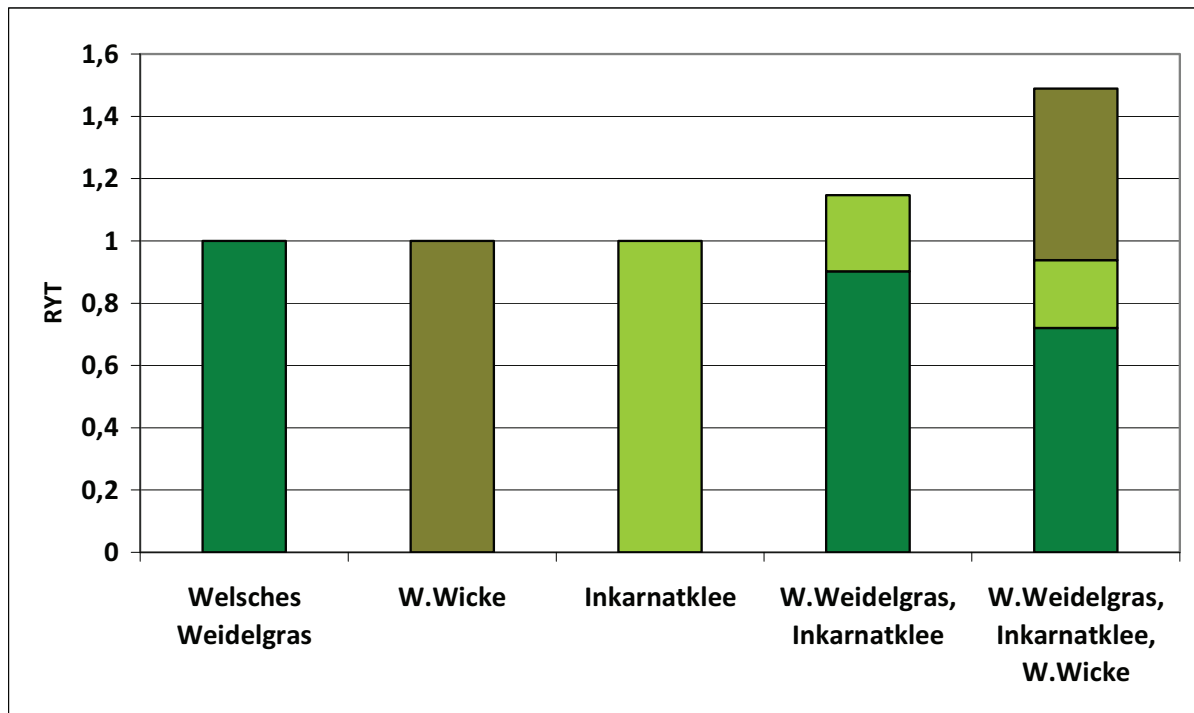


Abb. 14: Relativer Gesamtertrag (RYT) des Landsberger Gemenges und des Klee-grases gegenüber den jeweiligen Reinsaaten der Standorte und Versuchsjahre

4.1.3.4 Methanerträge

Im Vergleich der Methoden zur Ermittlung der spezifischen Methanausbeuten kann nur für ein Wertpaar eine Differenz kleiner fünf Prozent festgestellt werden. Zwei Prüfglieder weichen um mehr als fünf Prozent ab und zwei weitere Wertpaare um deutlich mehr als 10 %. Innerhalb der einzelnen Methoden zur Ermittlung der Methanausbeuten kommt es ebenfalls zu Abweichungen von bis zu 25 % zwischen den einzelnen Prüfgliedern, was allerdings eher auf die unterschiedliche qualitative Beschaffenheit der einzelnen Substrate hindeutet. Zwischen den spezifischen Methanausbeuten der Gemenge und den entsprechenden Reinsaaten lässt sich keine Regelmäßigkeit erkennen.

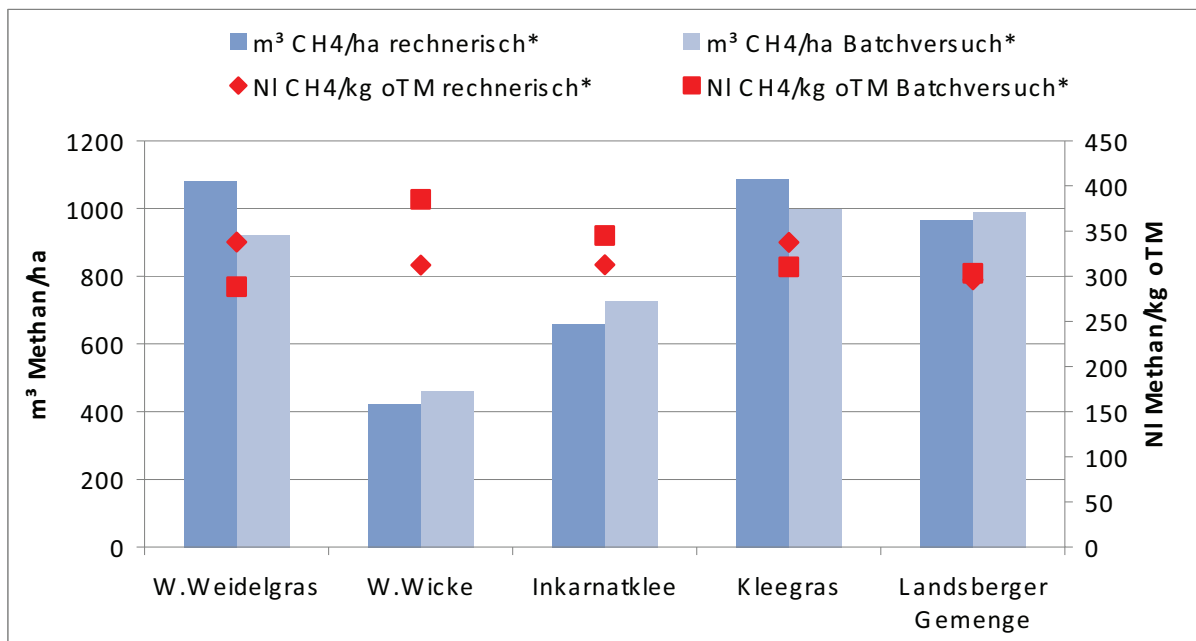


Abb. 15: Adjustierte Mittelwerte (n = 4) für die Methanerträge (m³/ha) Klee gras, Landsberger Gemenge und Reinsaaten sowie die spezifischen Methanausbeuten (NI/kg oTM)

Die Methanerträge werden auch bei dieser Ertragsgruppe im Wesentlichen durch die Naturalerträge bestimmt. In Abhängigkeit von der Methode zur Bestimmung der spezifischen Methanausbeute weichen Methanerträge für einzelne Prüfglieder um bis zu 20 % ab.

4.1.3.5 Energiebilanz

Neben der bereits besprochenen Winterwicke gehört mit dem Inkarnatkle eine zweite Leguminose zu dieser Ertragsgruppe. Die geringfügig höheren kumulierten Energieaufwendungen des Klees gegenüber der Winterwicke lassen sich mit höheren Erträgen und damit höheren Entzügen an Pflanzennährstoffen erklären.

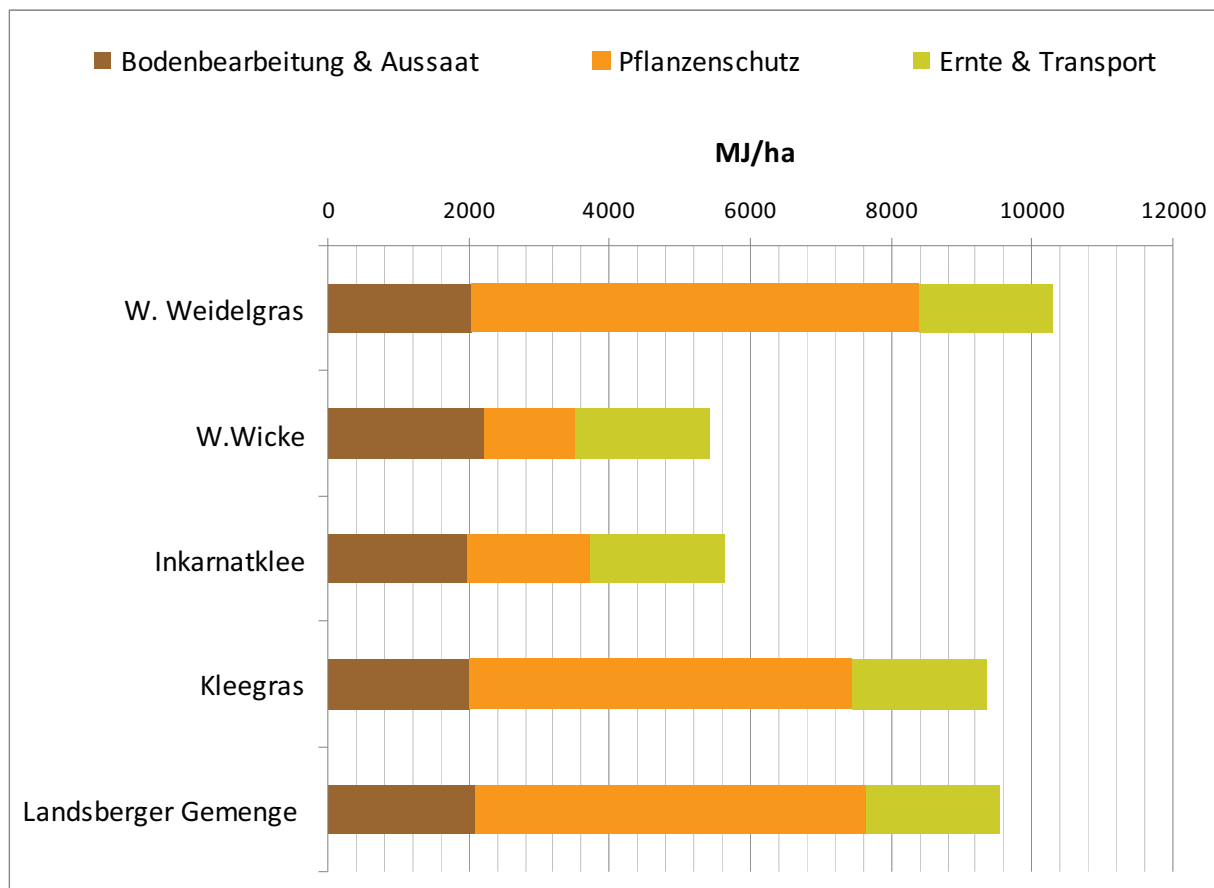


Abb. 16: Kumulierter Energieaufwand Klee gras, Landsberger Gemenge und Reinsaat (Datengrundlage siehe Anhang)

Bei dem Verfahren Welsches Weidelgras werden 62 % aller kumulierten Energieaufwendungen durch die Düngung beansprucht, d. h. im Umkehrschluss, dass je produzierte dt Trockenmasse 171 MJ für den Verfahrensabschnitt Düngung aufgewendet werden mussten. Bei den Gemengen Klee gras und Landsberger Gemenge, die bei reduzierter Stickstoffdüngung in etwa das Ertragsniveau des Welschen Weidelgrases erreichen, werden knapp unter 60 % der kumulierten Energieaufwendungen für die Düngung benötigt und je produzierter dt Trockenmasse um die 140 MJ eingesetzt.

Bei einem dreischnittigen Nutzungsregime dieser Prüfglieder werden beim Verfahren Welsches Weidelgras 71 % aller kumulierten Energieaufwendungen durch die Düngung beansprucht und 67 % bei den Prüfgliedern Klee gras und Landsberger Gemenge. Für die Produktion einer dt Trockenmasse werden bei der Düngung 156 MJ (Welsches Weidelgras bzw. um die 130 MJ (Klee gras, Landsberger Gemenge) eingesetzt.

Im Verfahrenvergleich benötigt der Inkarnatkleee die geringsten kumulierten Energieaufwendungen (112 MJ/ dt TM) bei dem Verfahrensabschnitt Düngung.

Bei den übrigen Verfahrensabschnitten Bodenbearbeitung und Aussaat sowie Ernte und Transport sind die Abweichungen zwischen den Verfahren marginal. Die geringfügig höheren kumulierten Energieaufwendungen für den Verfahrensabschnitt Bodenbearbeitung und Aussaat bei dem Prüfglied Winterwicke lassen sich mit höheren Aufwendungen für die Saatgutbereitstellung erklären.

Tab. 20: Energieertrag, kumulierter Energieaufwand und Ertragsfaktor Klee gras, Landsberger Gemenge und Reinsaat en (Datengrundlage siehe Anhang)

Fruchtart	Brutto- energieertrag Methan	Netto- energieertrag	Summe Verfahrens- spezifischer Inputs	Ertragsfaktor
	GJ/ha			GJ/GJ
W. Weidelgras	38,80	28,52	10,28	2,77
W. Wicke	15,23	9,82	5,41	1,81
Inkarnat klee	23,64	18,02	5,63	3,20
Klee gras	38,99	29,65	9,34	3,18
Landsberger Gemenge	34,71	25,17	9,54	2,64

Beim Verfahren Inkarnat klee werden zwar nur 60 % der Bruttoenergieerträge der Verfahren Welsches Weidelgras und Klee gras erreicht, trotzdem stellt sich der Ertragsfaktor am günstigsten dar.

4.1.3.6 Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen

Die Produktionsschwellen der Prüfglieder dieser Ertragsgruppe sind bei einem einschnittigen Nutzungsregime unabhängig von den Opportunitätskosten und stimmen daher für die Jahre 2006 und 2007 überein.

Gegenüber dem Welschen Weidelgras und der Mischung aus Welschen Weidelgras und Inkarnat klee weicht die Produktionsschwelle des Landsberger Gemenges aufgrund höherer Saatgutkosten des Winterwickenanteils geringfügig nach oben ab.

Die Reinsaat en Winterwicke und Inkarnat klee sind nicht konkurrenzfähig. Dies kann durch eine Deckungsbeitragsrechnung besser als durch die Produktionsschwelle zum Ausdruck gebracht werden. Der Deckungsbeitrag der Winterwicke beträgt bei Methanerlösen von 0,30 €/m³ minus 284 € pro Hektar, der Deckungsbeitrag des Inkarnat klee minus 145 € pro Hektar.

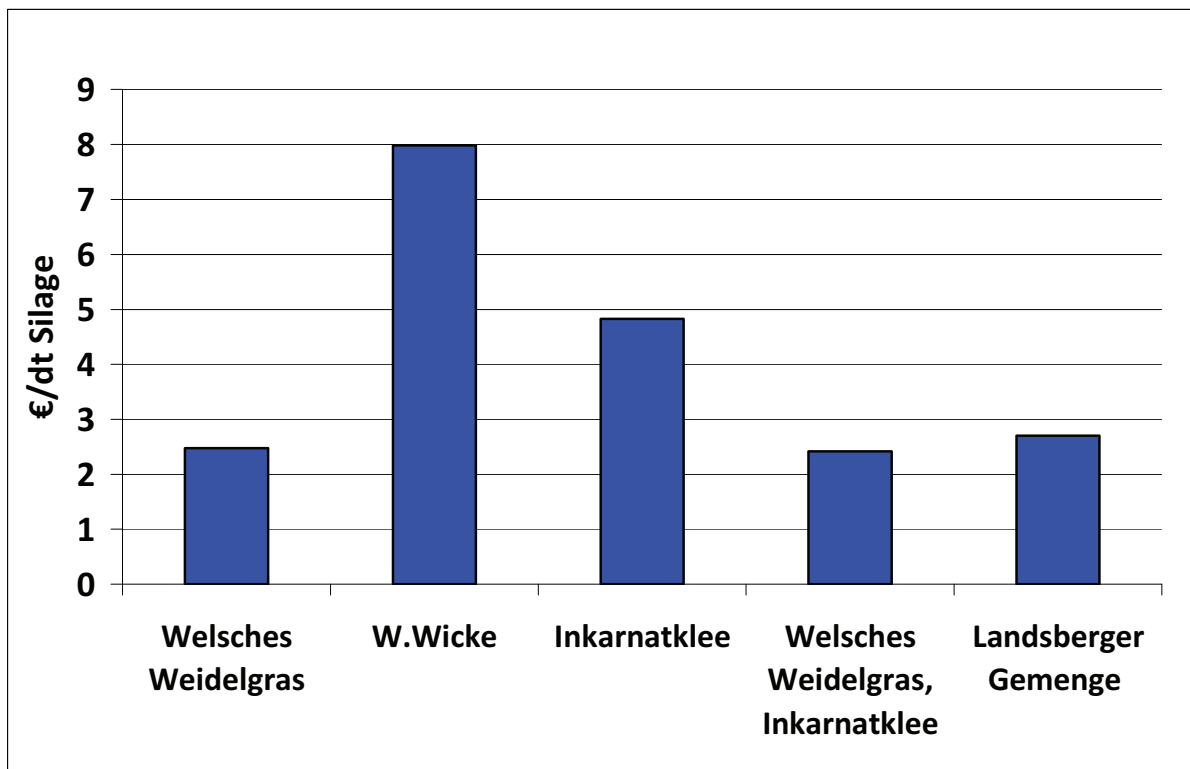


Abb. 17: Produktionsschwelle inklusive Lohnanspruch und Energiepflanzenprämie Klee gras, Landsberger Gemenge und Reinsaaten

4.2 Sommerkulturen

Die warme erste Maihälfte 2006 hat bei dem nicht ausreichend bestockten Sommergetreide zu einem schnellen Schossen und in der Folge zu geringen Bestandesdichten geführt. Das traf insbesondere für die Haferbestände zu. Die kühle zweite Maihälfte hat den Mais im Wachstum stark beeinträchtigt. Das Ende Mai gesäte Sudangras lief aufgrund der kühlen Witterung und wegen eines gewissen Wassermangels nur sehr verzögert auf. Die geringen Niederschläge im Juli konnten die vorangegangenen hohen Verdunstungsraten nicht ausgleichen. Beim Mais kam es zu ausgeprägten Trockenschäden, besonders auf dem Versuchsfeld „AZ 25“.

Die Ernte der Ganzpflanze wurde 2006 im Laufe der ersten Julidekade und die Mais- und Sudangrasernte schließlich in der zweiten Septemberdekade durchgeführt. Die Lupinen konnten auf dem Versuchsfeld „AZ 25“ wegen Fraßschäden durch Hasen in Reinsaat nicht geerntet werden. Auch in den Gemengen wurden die Lupinenpflanzen geschädigt, fielen jedoch nicht komplett aus.

Zu den Leitunkräutern auf dem Versuchsstandort „AZ 30“ zählten die Kamille, Acker-Stiefmütterchen, Hirtentäschel, Acker-Hellerkraut, Weißer Gänsefuß und Acker-Krummhals. Auf dem Versuchsfeld „Ackerzahl 25“ befand sich in etwa das gleiche Spektrum, allerdings mit einem stärkeren Auftreten der beiden letztgenannten Arten.

Die Aussaat der Sommerkulturen erfolgte auch 2007 Ende März/Anfang April. Vom Zeitpunkt der Aussaat bis zum 06.05.2007 wurde von der Wetterstation Gülzow nur 3 mm Regenwasser gemessen. Am 07.05.2007 wurde mit 8,9 mm das erste nennenswerte Niederschlagsereignis am 40. Tag nach der Aussaat dokumentiert. Infolge der lang anhaltenden Trockenheit lief die Saat verzögert und sehr ungleichmäßig auf. Der Mais wurde am 27.04.2007 gelegt. In die für das Gemenge aus Mais und Steinklee vorgesehenen Parzellen erfolgte die Aussaat der Leguminose zum Vegetationsstadium BBCH 16. Sudangras und die Sudangrasmengemenge wurde am 06.06.2007 in den stehenden Versuch gedreht, was sich als sehr schwierig herausstellte. Infolge ungleicher Tiefenablage des Saatgutes und einer Verschlammung der Ackerkrume war der Auflauf beim Sudangras nicht zufriedenstellend.

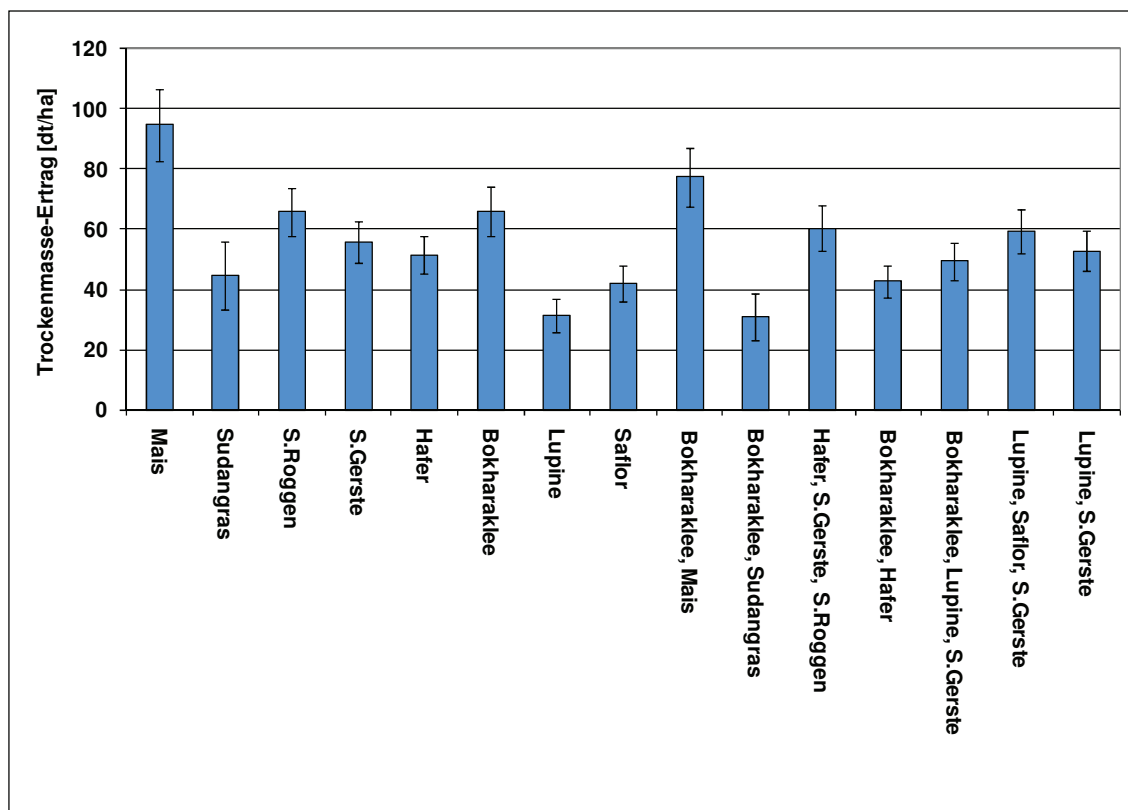


Abb. 18: Adjustierte Mittelwerte (n = 4) für die Erträge der Sommerkulturen aus den Erntejahren 2006 und 2007 der Versuchsstandorte Gülzow und Bandow sowie die Standardfehler

In Abbildung 18 sind die über die Standorte und Jahre adjustierten Mittelwerte für die Erträge sowie die Standardfehler der Prüfglieder dargestellt. Die Signifikanzen, die aus den paarweisen Vergleichen abgeleitet wurden, sind in Tabelle 21 abgebildet.

Im Durchschnitt aller Prüfglieder, Jahre und Standorte wurden 54,97 dt TM/ha geerntet. Der Mais erzielt im Mittel der Jahre und Standorte den höchsten Ertrag aller Prüfglieder, der - bezogen auf die relative Ertragszahl – 172 % beträgt. Ebenso wird mit den Reinsaaten Sommerroggen (120 %), Sommergerste (101 %) und Bokharaklee (120 %) sowie mit dem Gemenge aus Mais und Bokharaklee

(141 %), dem Sommergetreidegemenge (110%) und der Mischung aus Lupine, Saflor und Sommergerste (108 %) höhere Erträge erreicht als im Versuchsmittel.

Tab. 21: Signifikanztabelle der über die Jahre und Standorte (AZ 25 und AZ 30) gemittelten Ertragsergebnisse der Prüfglieder in Reinsaat und Gemenge in Sommerfruchtstellung

	Sudangras	S.Roggen	S.Gerste	Hafer	Bokharaklee	Lupine	Saflor	Bokharaklee, Mais	Bokharaklee, Sudangras	Lupine, Sudangras	Hafer, S.Gerste, S.Roggen	Bokharaklee, Hafer	Bokharaklee, Lupine, S.Gerste	Lupine, Saflor, S.Gerste	Lupine, S.Gerste
Mais	+	+	+	+	+	+	+	-	+	+	+	+	+	+	+
Sudangras		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
S.Roggen			-	-	-	+	+	-	+	+	-	+	-	-	-
S.Gerste				-	-	+	-	-	+	+	-	-	-	-	-
Hafer					-	+	-	+	-	+	-	-	-	-	-
Bokharaklee						+	+	-	+	+	-	+	-	-	-
Lupine							-	+	-	-	+	-	+	+	+
Saflor								+	-	-	-	-	-	-	-
Bokharaklee, Mais									+	+	-	+	+	-	+
Bokharaklee, Sudangras										-	+	-	-	+	-
Lupine, Sudangras											+	-	+	+	+
Hafer, S.Gerste, S.Roggen												-	-	-	-
Bokharaklee, Hafer													-	-	-
Bokharaklee, Lupine, S.Gerste														-	-
Lupine, Saflor, S.Gerste															-

+ signifikant; - nicht signifikant (t-test, $\alpha = 0,05$)

4.2.1 Sommergetreide und Sommergetreidegemenge

Ganzpflanzensilage aus Getreide wird in der Regel mit den Arten Wintergerste, Sommergerste und Winterweizen hergestellt (THAYSEN in LÜTKE ENTRUP und OEHMICHEN, 2000). Verglichen wurden im Mischfruchtversuch die Sommerformen von Gerste und Roggen sowie Hafer in Reinsaat und im Gemenge. Als Körnergetreidegemenge bis in die 1950 er Jahre auf Sandböden relativ weit verbreitet, kommt sowohl dem Gemenge, als auch den Reinsaaten als Getreideganzpflanzen kaum eine Relevanz für die Praxis zu. Die Bedeutung der einzelnen Kulturen wird auch aus der Anzahl der beim Bundessortenamt gelisteten Sorten sichtbar. Mit etwa 60 Sorten Sommergerste und 30 Sorten Sommerhafer hat der Landwirt eine große Auswahl. Beim Sommerroggen sind allerdings nur drei

Sortennamen notiert. Bei der Biogaserzeugung sollte auf Sorten mit hohem Biomasseertrag und guter Standfestigkeit gesetzt werden. Mit Ausnahme des Hafers hat die jeweilige Winterform beim Getreide eine größere Bedeutung, nicht zuletzt, weil das Ertragsniveau höher liegt. Eine Anbauberechtigung erhalten die Sommerformen der Getreidearten im integrierten und ökologischen Landbau dadurch, dass durch den Wechsel von Winter- und Sommergetreide gezielt der Entwicklungsrhythmus der Beikräuter gestört werden kann (BUCHNER, 1993; BAEUMER in DIERCKS und HEITEFUSS, 1994).

SCHÖNBERGER und KROPF (in LÜTKE ENTRUP und OEHMICHEN, 2000) beschreiben die Sommergerste aufgrund einer kurzen Vegetationszeit mit hoher Blattbildungsrate bei relativ geringem Wasserverbrauch als die Kulturart mit der größten ökologischen Anpassungsfähigkeit. Ein erfolgreicher Anbau verlangt nach SEIFFERT (1968) allerdings eine gute Bodengare und –struktur, da die Wurzelleistung der Sommergerste gering und die Kornfüllungsphase kurz ist.

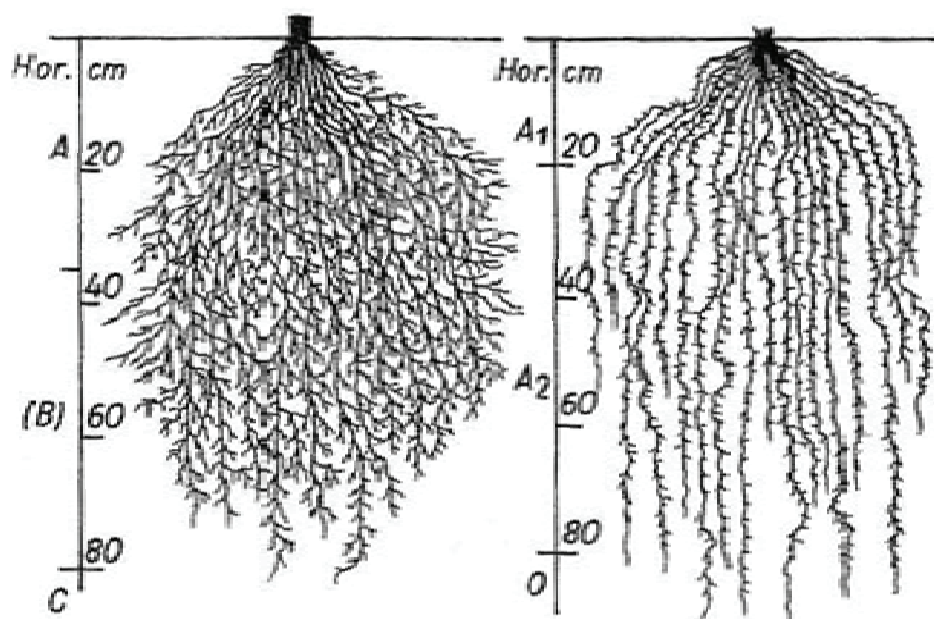


Abb. 19: Wurzelbild von Sommerhafer (links) und Sommergerste nach KUTSCHERA (1960; in SEIFFERT, 1968)

Der Hafer hinterlässt den Acker in guter Gare, da er die Krume stark und tief durchwurzelt (KUTSCHERA, 1960). Hafer zeigt gegenüber anderen Getreidearten eine relativ geringe Reaktion auf ungünstige Vorfrüchte und kann als abtragende Frucht innerhalb einer Fruchtfolge stehen (KÖNNECKE, 1951). Die Sommergerste hingegen hat hohe Ansprüche bezüglich der Vorfrucht.

Als besondere Eigenschaften des Hafers für eine Nutzung als Grünfütterpflanze nennt SEIFFERT (1968) die gute Stickstoffverwertung, die lange Nutzungsdauer bis zur Milchreife verbunden mit hohen Nährstoffträgen.

Der Sommerroggen zur Körnernutzung hatte nur in Höhenlagen eine lokale Bedeutung, wo der Winterroggen auswinterungsgefährdet ist. Die Schlussfolgerung, dass der Sommerroggen für die Futterproduktion ungeeignet sei, war nach BERG (1960) falsch. Einen Unterschied zum Grünroggen in Winterzwischenfruchtstellung sieht der Autor nur im Aussaat- und Erntetermin. Trockenmasseertrag, Futterqualität und Anbausicherheit werden als gleichwertig beschrieben. Zwar bestehe eine Konkurrenz zwischen Winter- und Sommerform, durch ein Nebeneinander könnte jedoch die Grünfütterroggenperiode um 14 Tage bis Ende Mai verlängert werden. In Zweitfruchtstellung nach Sommerroggen kommen Mais und Kartoffeln nicht in Frage. Nach KLOSTERMANN (2009) kann mit Hirsen (*Sorghum bicolor*, *Sorghum sudanense* und *Sorghum bicolor* X *Sorghum sudanense*) bei einer Aussaat Ende Mai unter den Witterungsbedingungen Mecklenburg-Vorpommerns ein Trockenmasseertrag größer 10 Tonnen erreicht werden.

4.2.1.1 Anbautechniken

Die Sortenfrage stellt sich beim Sommerroggen nicht, sehr wohl aber beim Hafer. Dabei stehen weniger Resistenzeigenschaften als die klimatischen Bedingungen des Standortes im Vordergrund. Die Aussaat des Sommergetreides hat grundsätzlich so früh wie möglich zu erfolgen.

BERG (1960) empfahl vor 60 Jahren bei einer Aussaatzeit zwischen Dezember und März je nach Bodenart und Klimabereich den Sommerroggen mit einer Aussaatstärke von 180 bis 240 kg/ha auszusäen. SCHÖNBERGER und KROPF (in LÜTKE ENTRUP und OEHMICHEN, 2000) nennen heute als praxisübliche Aussaatstärke für Sommerhafer, die auch für eine Ganzpflanzennutzung gelten sollte, 200 bis 280 keimfähige Körner/m² bei einer Aussaat um die Februar-März-Wende, 250 bis 350 keimfähige Körner/m² bei einer Saatzeit Ende März und 350 bis 450 keimfähige Körner/m² Anfang April. Die Aussaatstärken von Braugerste und Futtergerste liegen in etwa in dem Bereich des Sommerhafers. Allerdings sollte die Sommergerste nicht zu früh gedrillt werden, da zu nasse Bedingungen während der Bestellung den Feldaufgang negativ beeinflussen. Die Aussaat sollte trotzdem spätestens Anfang April erledigt sein, da eine weitere Aussaatverzögerung zu Lasten der bekanntlich kurzen Vegetationszeit der Sommergerste geht (SCHÖNBERGER und KROPF in LÜTKE ENTRUP und OEHMICHEN, 2000).

Ebenfalls gilt für Sommerroggen, Sommergerste und Sommerhafer, dass bei wendender Bodenbearbeitung eine Herbstfurche einer Sommerfurche vorzuziehen ist, um vor allem die Winterniederschläge effizienter nutzen zu können.

Das Sommergetreide kann auch pfluglos bestellt werden. Die Aussaatstärke wird von HEYLAND (1996) für Sommerroggen mit 1 bis 2 cm, für Sommergerste mit exakt 2,5 cm und für Sommerhafer aufgrund des hohen Keimwasserbedarfs mit 3 bis 4 cm angegeben. SCHÖNBERGER und KROPF (in LÜTKE ENTRUP und OEHMICHEN, 2000) bestätigen den Keimwasserbedarf des Sommerhafers von fast 50 % des Korntrockengewichtes, weisen allerdings darauf hin, dass eine tiefe Ablage zwischen 3 und 5 cm die Bestockungsneigung und Rispenbildung hemmt.

Tab. 22: Sorten, Saatstärke und N-Düngung von Sommergetreide in Reinsaat und Gemenge

Reinsaat	Sorte	botanische Bezeichnung	Saatstärke (kg/ha)	N (kg/ha)
Sommerroggen	Sorom	<i>Secale cereale</i>	330	80
Sommergerste	Djamila	<i>Hordeum vulgare</i>	280	80
Sommerhafer	Revisor	<i>Avena sativa</i>	320	80
Gemenge				
1. Kultur	2. Kultur	3. Kultur	% der Reinsaat	Modular
S. Roggen	S. Gerste	Hafer	50:50:50	80

*keimfähige Körner/m²

Der Sommerhafer wird als konkurrenzstark gegenüber Unkräutern beschrieben. Herbizide sollten nur im Bedarfsfall zum Einsatz kommen (SCHÖNBERGER und KROPF in LÜTKE ENTRUP und OEHMICHEN, 2000). LÜDDECKE (1976) bevorzugt eine mechanische Unkrautbekämpfung mit dem Striegel zum „Spitzen“ und zum Wuchsstadium BBCH 13 bis 14. Auch beim Sommerroggen und der Sommergerste ist das Ziel nicht, alle Unkräuter auszuschalten. Bei einer Ganzpflanzenernte zur Milch/Teigreife sollte der Herbizideinsatz nach gleichen Schadschwellen erfolgen wie bei der Körnerernte. Bei einem gut entwickelten Sommerroggenbestand, der zum „Grannenspitzen“ geerntet wird, kann auf Herbizidmaßnahmen verzichtet bzw. die Schadschwelle für Herbizidanwendungen angehoben werden. In Wintergetreidebeständen zur Biomasseproduktion können die Erträge durch ein Herbizidmanagement nicht erhöht werden (KARPENSTEIN-MACHAN, 2002).

Sommergerste, bei guter Nährstoffversorgung auch Sommerhafer, benötigt zwischen BBCH 37 und 49 für eine ausreichende Standfestigkeit Wachstumsregler (HEYLAND, 1996). Bei Sommerroggen, der

nicht als Grünroggen, sondern zu einem späteren Termin geerntet werden soll, ist ebenfalls über einen Wachstumsregulatoreinsatz im Wuchsstadium BBCH 30 nachzudenken.

Der Krankheitsbefall bei Sommerroggen unterscheidet sich nicht wesentlich von Winterroggenbeständen, insbesondere bei Getreide betonten Fruchtfolgen. Als weit verbreitete Krankheit des Hafers gilt der Haferflugbrand (*Ustilago avenae*). Als tierische Schädlinge treten die Fritfliege (*Oscinelle frit*) und der Hafernematode (*Heterodera avenae*) (GRIGO in OEHMICHEN, 1986; SCHÖNBERGER und KROPF in LÜTKE ENTRUP und OEHMICHEN, 2000). Ebenso wie Hafer reagiert Sommergerste stark auf Mangan- und Kupfermangel, der als Dörrfleckenkrankheit bzw. Heidemoorkrankheit angesprochen wird (BERGMANN, 1993). Als Infektionsquelle für Gelbrost (*Puccinia glumarum*) und Mehltau (*Erysiphe graminis*) in der Sommergerste gelten die in der Wintergerste überwinterten Myzele. Mit einer Beizung bzw. Spritzung in der Vegetationszeit kann ein ausreichender Schutz hergestellt werden. Die Gelbverzwergung der Gerste (barley yellow dwarf virus) und das Gelbmosaikvirus (barley yellow mosaic virus) treten vorwiegend in Wintergerstebeständen auf (GRIGO in OEHMICHEN, 1986).

SCHILLING (2000) nennt für Sommerfuttergerste und Sommerhafer als Höchstmenge für Stickstoff, die in einer Gabe verabreicht werden sollte, 60 bis 70 kg/ha. SCHÖNBERGER und KROPF (in LÜTKE ENTRUP und OEHMICHEN, 2000) formulieren das Aufdüngungsziel für Stickstoff in Futtergerstebeständen in Abhängigkeit vom Aussattermin und Standort. Für sandige Böden geben diese Autoren eine vergleichbare Empfehlung wie SCHILLING (2000) (siehe Tab.: 23).

Tab. 23: Richtwerte zur Düngung von Sommergetreide* (nach SCHILLING, 2000)

Kultur	P-Bedarf kg/ha	K-Bedarf kg/ha	Mg-Bedarf kg/ha	N-Bedarf kg/ha
S.-Roggen**	10 - 15	70 - 85	5 - 7	90 - 110
S.-Gerste***	20 - 25	70 - 90	10 - 12	100 - 110
S.-Hafer	20 - 25	80 - 100	9 - 10	100 - 110

*Mittelwert aus mehreren Bundesländern **als Stoppelfrucht ***Sommerfuttergerste

Bei später Aussaat und tonigen Böden befürworten SCHÖNBERGER und KROPF (2000) bis zu 150 kg N/ha, wobei mit der ersten 1. Gabe bis zu 130 kg N/ha verabreicht werden sollten.

Sommerroggen als Stoppelfrucht verlangt nach BERG (1960) 40 bis 60 kg N/ha, bei Frühljahrsaussaat sollten bis zu 80 kg N/ha zur Bestockung voll wirksam sein.

Die Ernte erfolgt bei der Ganzpflanzenernte im Übergang von der Milch- zur Teigreife mit einem Trockensubstanzgehalt der Ähre von 45 bis 50 % und einer Gesamttrockenmasse von 30 bis 40 %

(THAYSEN in LÜTKE ENTRUP und OEHMICHEN, 2000). Geerntet wird mit einem Feldhäcksler bei einer Partikellänge von 20 cm oder mit der Ballenkette (RATSCHOW in LÜTKE ENTRUP und OEHMICHEN, 2000). Bei Anwelksilage wird gemäht (mit Aufbereiter), geschwadet und mit dem Feldhäcksler geborgen (KTBL, 2006a). Die Siliereignung von Ganzpflanzengetreide ist nach THAYSEN (in LÜTKE ENTRUP und OEHMICHEN, 2000) kein Problem. Allerdings ist zu beachten, dass durch die Abnahme leicht löslicher Zucker die Silierfähigkeit nach der Milchreife abnimmt (THAYSEN in LÜTKE ENTRUP und OEHMICHEN, 2000).

Ein Gemenge dieser drei Arten ist bezüglich der Ansprüche an Pflanzenschutz und Düngung unproblematisch. Bei der Körnernutzung von Sommerroggen, Sommergerste und Sommerhafer im Gemenge spricht SEIFFERT (1968) von der „Dreifracht“ die auf Sandböden trockener Lagen erfolgreich angebaut wurde. Die Saatanteile sollten sich nach der Anbaueignung der einzelnen Komponenten für den Standort richten. Ein Gemenge dieser drei Arten zur Biomasseproduktion dürfte wegen der geringen Ansprüche an Standort, Pflanzenschutz und Düngung unproblematisch sein.

4.2.1.2 Ertragsleistungen

Im Durchschnitt aller Jahre und Standorte wurden mit den Prüfgliedern Sommerroggen, Sommergerste und Hafer sowie dem Gemenge der genannten Arten knapp 60 dt Trockenmasse pro ha erreicht. Bezogen auf den durchschnittlichen Ertrag dieser Gruppe wurden mit der Reinsaat Sommerroggen (113 %) und dem Sommergetreidegemenge (103 %) höhere Naturalerträge erzielt. Die relativen Erträge der Sommergerste und Hafer liegen bei 96 und 88 %.

Bei Betrachtung der Ergebnisse der einzelnen Jahre fällt auf, dass die Ertragsunterschiede zwischen dem Sommerroggen und dem Gemenge auf der einen Seite und der Sommergerste und dem Hafer auf der anderen Seite nur 2006 auf dem Standort „AZ 25“ durchgehend signifikant sind (Abb. 20 und Tab. 24).

Bei dieser Ertragsgruppe ist der Einfluss des Standortes und des Jahreseffekts gleichermaßen groß. Wiederum bezogen auf den durchschnittlichen Ertrag aller Prüfglieder beliefen sich auf dem Standort „AZ 25“ und im Mittel beider Standorte 2007 die relativen Erträge auf 88 bzw. 85 %. Mit relativen Erträgen von 112 und 115 % wurden auf dem Standort „AZ 30“ und im Mittel beider Standort 2006 deutlich höhere Erträge erzielt.

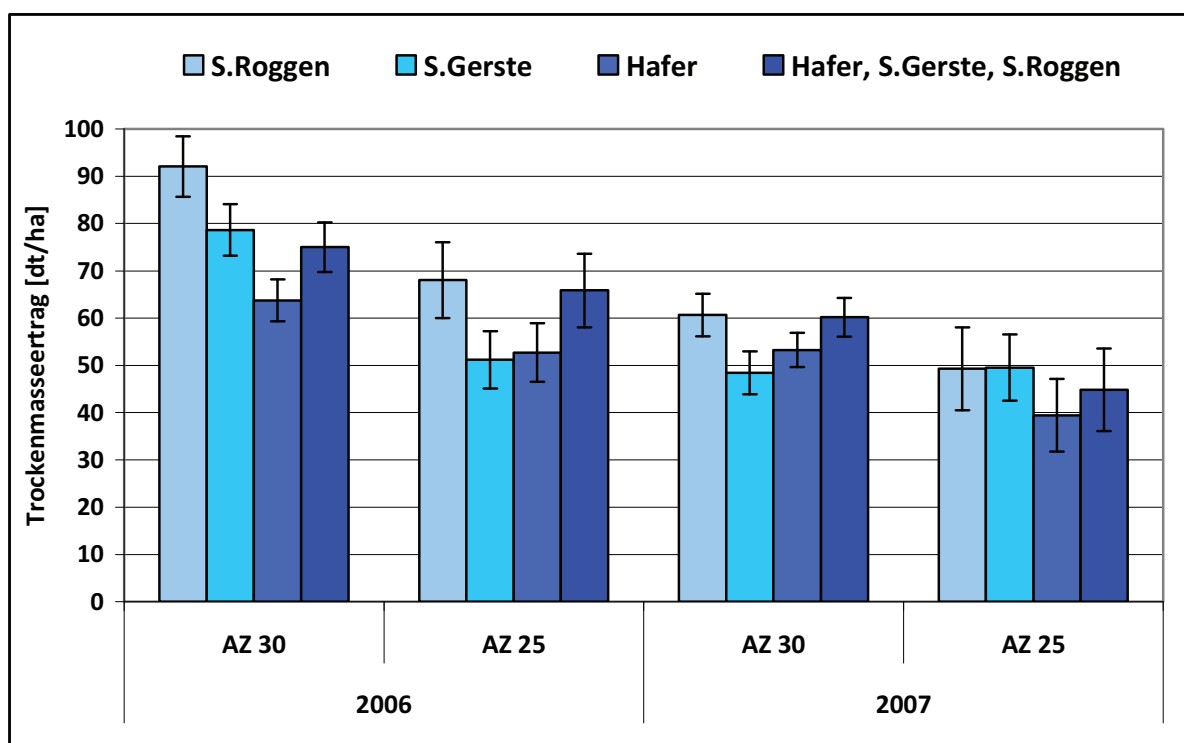


Abb. 20: Adjustierte Mittelwerte (n = 4) für die Erträge der Sommergetreidemischungen und Reinsaaten sowie die Standardfehler

Tab. 24: Signifikanztabelle der Ertragsleistungen der Sommergetreidemischungen und Reinsaaten der einzelnen Versuchsjahre und -standorte

Erntejahr	2006						2007					
Standort	AZ 25			AZ 30			AZ 25			AZ 30		
	S.Gerste	Hafer	Hafer, S.Gerste, S.Roggen	S.Gerste	Hafer	Hafer, S.Gerste, S.Roggen	S.Gerste	Hafer	Hafer, S.Gerste, S.Roggen	S.Gerste	Hafer	Hafer, S.Gerste, S.Roggen
S.Roggen	+	+	-	-	+	+	-	-	-	-	+	-
S.Gerste		-	+		+	-		-	-		+	-
Hafer			+			-			-			-

+ signifikant; - nicht signifikant (t-test, $\alpha = 0,05$)

4.2.1.3 Ertragsanteile der Gemengepartner

Der auf der Grundlage der adjustierten Ertragsleistung der Reinsaaten ermittelte relative Gesamtertrag beträgt für das Sommergetreidegemenge aus Sommerroggen, Sommergerste und Hafer 1,04 (Abb. 21). D. h., dass die Flächenproduktivität dieses Gemenges in etwa so einzuschätzen

ist wie die der einzelnen Reinsaat. Die Aussaatstärke für dieses Gemenge wurde mit 50 % der Aussaatstärke der jeweiligen Reinsaat festgelegt. Entsprechend gleichmäßig sind auch die Ertragsanteile der Mischungspartner in diesem Gemenge. Sommerroggen hat im Mittel der Versuchsjahre und Standorte ein Ertragsanteil von 36 % an diesem Gemenge, der Anteil der Sommergerste beträgt 37 % und Hafer trägt mit 31 % zur Ertragsbildung dieser Mischung bei.

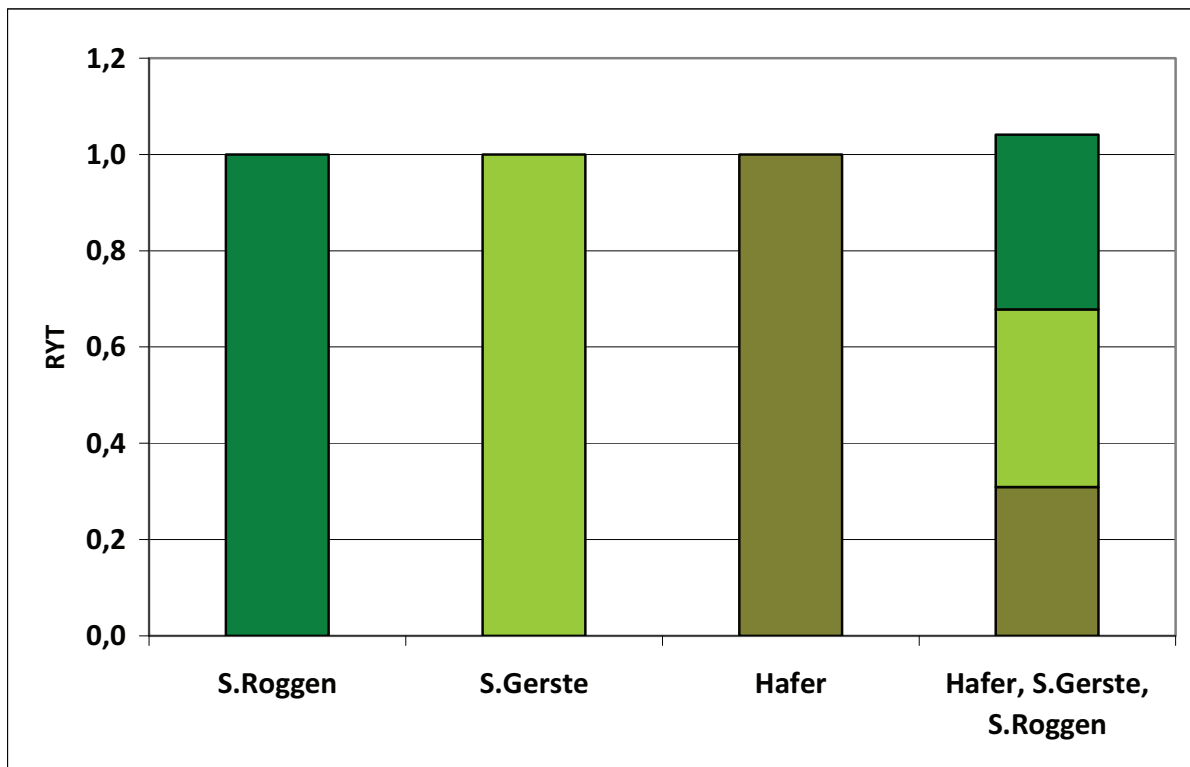


Abb. 21: Relativer Gesamtertrag (RYT) des Sommergetreidegemenges gegenüber den jeweiligen Reinsaat der Standorte und Versuchsjahre

4.2.1.4 Methanerträge

Die in Abb. 22 gegenübergestellten Methanerträge, die rechnerisch und im Batchversuch ermittelt wurden, unterscheiden sich für die einzelnen Prüfglieder zum Teil erheblich. Für die Reinsaat Sommerroggen, Sommergerste und Hafer wurden im Batchversuch bis zu 12 % höhere spezifische Methanerträge in Normalliter pro kg oTM dokumentiert. Bei dem Sommergetreidegemenge errechnet sich auf der Grundlage der Verdaulichkeit der Rohnährstoffe trotz gleicher Erntetermine eine um 23 % höhere Methanausbeute.

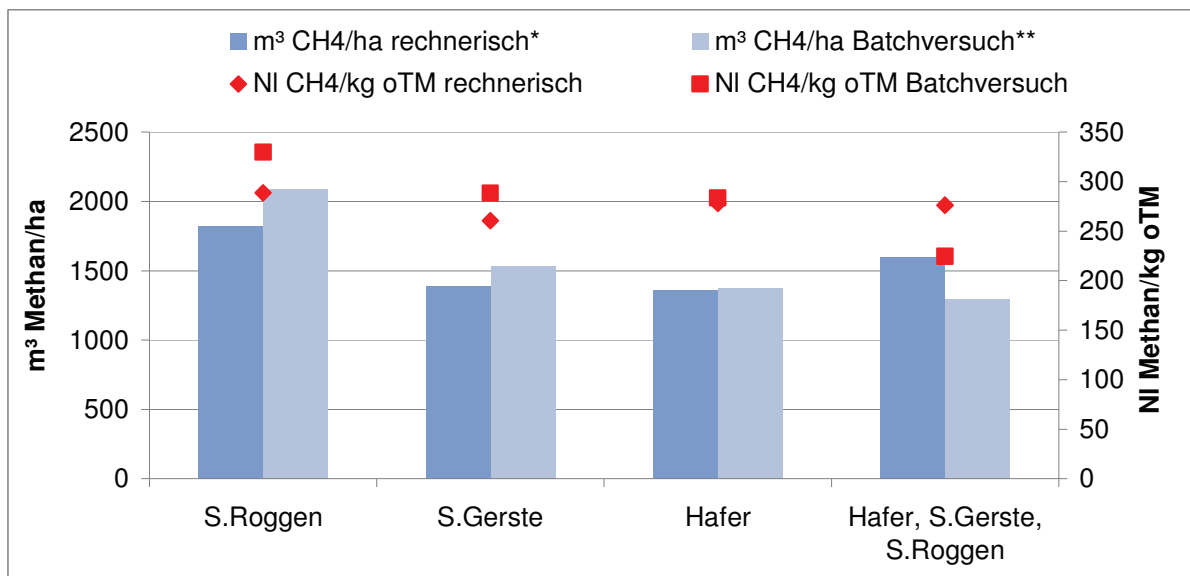


Abb. 22: Adjustierte Mittelwerte (n = 4) für die Methanerträge (m³/ha) der Sommergetreidemischungen und Reinsaaten sowie die spezifischen Methanausbeuten (NI/kg oTM)

Die Unterschiede zwischen den jeweiligen Reinsaaten und dem Gemenge lassen sich bei den rechnerisch ermittelten spezifischen Methanerträgen (NI/kg oTM) gut nachvollziehen.

Bei den spezifischen Methanerträgen des Batchversuches kann die Abweichung des Gemenges gegenüber den Reinsaaten nicht erklärt werden.

Die Methanerträge pro ha ergeben sich aus der Multiplikation der adjustierten Mittelwerte und der spezifischen Methanerträge. Die Methanerträge der Prüfglied Sommerroggen sind aufgrund hoher Natural- und spezifischen Methanerträge innerhalb dieser Ertragsgruppe am höchsten. Je nach Ermittlungsverfahren der Methanerträge korrespondieren die Methan-Flächenerträge nicht immer mit den Naturalerträgen.

4.2.1.5 Energiebilanz

Die kumulierten Energieaufwendungen für die einzelnen Sommergetreidearten und das Gemenge unterscheiden sich weder in der absoluten Beanspruchung von Energieressourcen, noch in den relativen Aufwendungen der einzelnen Verfahrensschritte im Verhältnis zum Gesamtaufwand. Die geringfügig höheren kumulierten Energieaufwendungen des Gemenges bei den Verfahrensabschnitten „Bodenbearbeitung und Aussaat“ sowie „Düngung“ sind auf höhere Saatgutmengen bzw. Kaliumgehalte im Erntegut zurückzuführen.

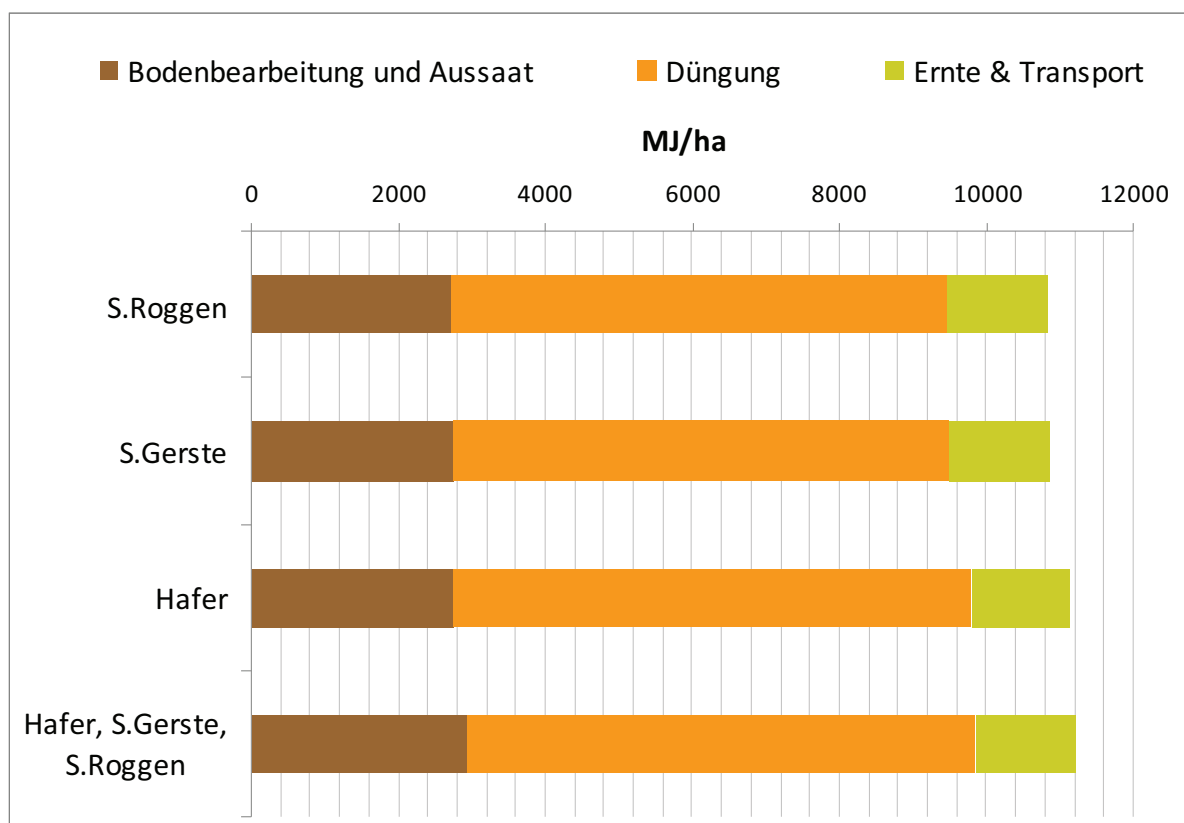


Abb. 23: Kumulierter Energieaufwand der Prüfglieder der Sommergetreidemischungen und Reinsaaten (Datengrundlage siehe Anhang)

Werden kumulierte Energieaufwendungen für die Düngung ins Verhältnis zu den Naturalerträgen der einzelnen Prüfglieder gesetzt, lassen sich folgende kumulierten Energieaufwendungen für die Bereitstellung einer dt Trockenmasse errechnen: Sommerroggen 103 MJ, Sommergerste 121 MJ, Hafer 136 MJ und Sommergetreidegemenge 114 MJ.

Da neben den Entzügen der Grundnährstoffe beim Sommergetreide auch 80 kg Stickstoff pro ha bilanziert werden, hat die Düngung an den kumulierten Energieaufwendungen den größten Anteil. Die auf Basis der Naturalerträge und Methangehalte errechneten Bruttoenergieerträge (Tab. 25) der einzelnen Prüfglieder weichen bis zu 25 % voneinander ab. Wird der Ertragsfaktor als Kriterium zur Beurteilung der Prüfglieder herangezogen, bietet sich von den Sommergetreidearten besonders der Sommerroggen für die Biomasseproduktion an.

Bezüglich des Ertragsfaktors ist das Sommergetreidegemenge höher als Sommergerste und Hafer einzuschätzen. Die Ertragsanteile in diesem Gemenge sind zwar ausgeglichen, allerdings ist die spezifische Methanausbeute beim Sommerroggen günstiger als bei Sommergerste und Hafer.

Tab. 25: Energieertrag, kumulierter Energieaufwand und Ertragsfaktor der Sommergetreidemischungen und Reinsaaten (Datengrundlage siehe Anhang)

Fruchtart	Brutto- energieertrag Methan	Netto- energieertrag	kumulierter Energie- aufwand	Ertragsfaktor
	GJ/ha			GJ/GJ
S. Roggen	65,37	54,54	10,83	5,03
S. Gerste	49,72	38,87	10,85	3,58
Hafer	48,78	37,64	11,14	3,38
S. Roggen, S. Gerste, Hafer	57,20	45,99	11,21	4,10

4.2.1.6 Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen

Bei der Berechnung der Produktionsschwelle wurde bei den Sommerkulturen ebenso wie bei den Winterkulturen der Durchschnittsertrag aller Standorte und Versuchsjahre zugrunde gelegt, um aufzuzeigen, wie groß der Einfluss der Opportunitätskosten im Verhältnis zu den gesteigerten Kosten für Betriebsmittel zwischen den Jahren 2006 bis 2008 ist.

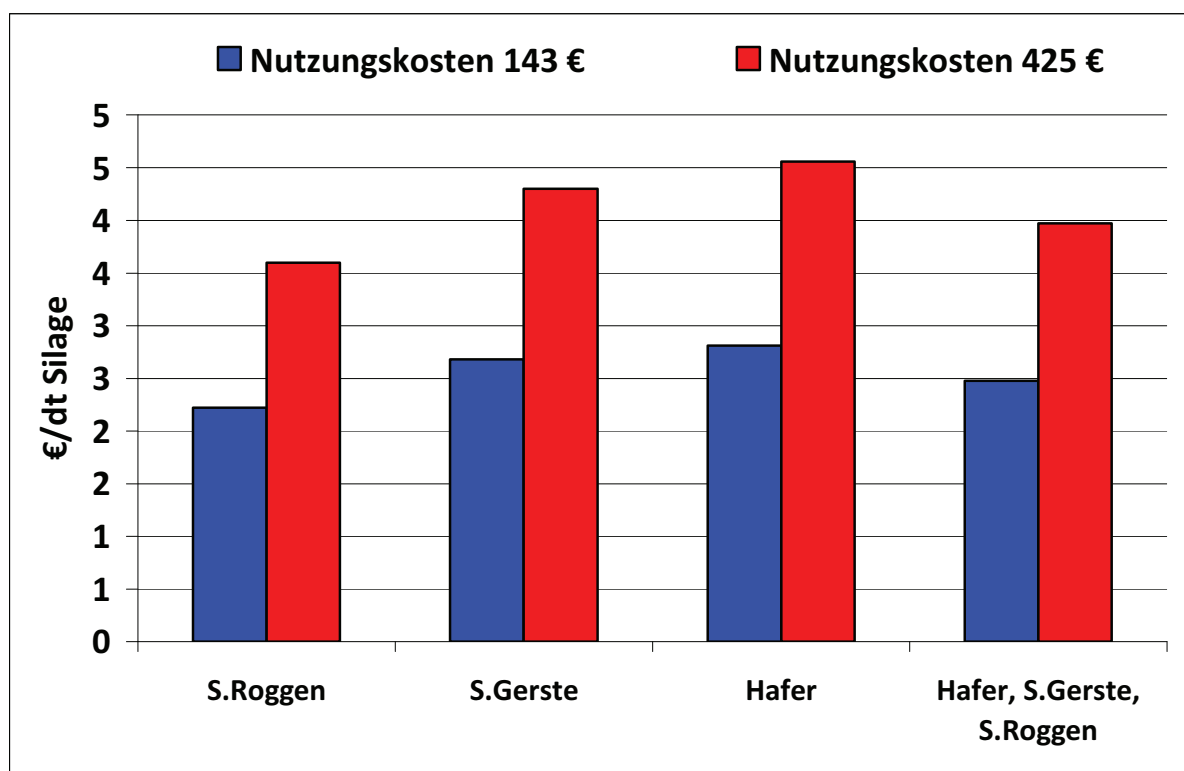


Abb. 24: Produktionsschwelle inklusive Nutzungskosten, Lohnanspruch und Energiepflanzenprämie der Sommergetreidemischungen und Reinsaaten

Werden für die einzelnen Prüfglieder die gleichen Erträge und ein Brotroggenpreis von 9 € pro dt (entspricht Nutzungskosten von 143 €/ha), im Gegensatz zu den dargestellten Werten jedoch die Preise für Betriebsmittel des Jahres 2008 angenommen, so ergibt sich für den Sommerroggen eine

Erhöhung der Produktionsschwelle auf 2,57 € pro dt/Silage. Das entspricht einer Steigerung von ca. 15 %, die auch für die anderen Prüfglieder Gültigkeit hat.

Für die Deckungsbeitragsrechnung werden keine entgangenen Erlöse unterstellt. Es wird davon ausgegangen, dass pro m³ produziertes Methan 0,30 € Erlöse werden. Für die Methanerträge wurden die theoretisch errechneten Methanerträge angenommen.

Danach ergeben sich für den Sommerroggen und das Sommergetreidegemenge deutlich positive Deckungsbeiträge von 164 € und 96 € pro Hektar. Die Deckungsbeiträge (bei 0,30 €/m³ Methan) der Prüfglieder Sommergerste und Hafer liegen bei 14 € und 41 € pro Hektar. Da zwischen den Methoden zur Erfassung der Methanerträge (Punkt 4.2.1.4) bis zu 20 % liegen, ist jedoch auch eine negative Deckungsbeitragsrechnung dieser Prüfglieder möglich.

4.2.2 Bokharaklee, Mais, Hirse und Gemenge

Dem Bokharaklee (*Melilotus albus* Med.) kommt im Mischfruchtversuch als „vergessene“, massewüchsige und Stickstoff bindende Kulturpflanze eine besondere Bedeutung zu. Als Mischungspartner von Mais, Sudangras und Hafer und im Gemenge mit Sommergerste und Lupine ist der Weißblühende Steinklee in vielen Prüfgliedern vertreten. Die Gemenge aus Bokharaklee, Lupine und Sommergerste bzw. Bokharaklee und Sommerhafer werden unter Punkt 4.2.3 behandelt, da es sich um ein abweichendes Ernteverfahren handelt.

Da der Steinklee als Nutzpflanze weniger bekannt ist, wird eine etwas ausführlichere Beschreibung vorangestellt.

Mit der Bildung und Differenzierung der Gattung *Melilotus* hat sich SUVOROV (1950) intensiv beschäftigt. *Melilotus officinalis* (Gelbblühender Steinklee) und *-albus* wurden erstmals von BOCK (zit. bei SCHULZ 1901) als eigenständige Arten beschrieben.

Als Formenbildungs- und Ausbreitungsgebiet sind für den Gelbblühenden Steinklee die Steppen des mittleren und östlichen Kaukasus, für den Weißblühenden Steinklee Westsibirien zu sehen (MEUSEL et al., 1965). Die Verbreitung erfolgte über Skandinavien und England im 18. und 19. Jahrhundert bis nach Amerika, wo *Melilotus albus* erstmals 1739 von GRONOVIVUS (zit. bei SMITH und GORZ, 1965) erwähnt wird. Eine Ausdehnung der Arten bis nach Neuseeland, Australien und die subtropischen Gebiete Südamerikas erfolgte zum Ende des 19. Jahrhunderts (KÖSEOGLU, 1970).

Melilotus officinalis und *albus* sind zweijährige, hochwüchsige Kräuter, die nach KIEFMANN (1966) morphologisch nur blühend und fruchtend sicher zu unterscheiden sind.

Die Sprossmorphologie wurde von SUVOROV (1950) für den gesamten Polymorphismus der beiden Arten eingehend beschrieben; HEGI (1964) macht zu den mitteleuropäischen Formen genaue Angaben.

Die bis zu 200 cm hohen Stängel sind am Grund bis 2 cm dick und verholzen im Vegetationsverlauf rasch. Die Blätter sind dreizählig gefiedert, wobei das mittlere Blättchen deutlich länger gestielt ist. Die am Rand gezähnten Blättchen haben eine länglich ovale Form. Die Blütenstände treiben aus den Blattachseln. Die 40 bis 80 kleinen, weißen Blüten können als verlängerte Traube bezeichnet werden. Blütenstände sind im ersten Anbaujahr selten. Für die Steinkleeblüte von Mai bis August ist ein stark verströmender Duft charakteristisch. Als Befruchtungsmechanismus dient eine Klappvorrichtung. Selbstbefruchtung bei geringem Samenansatz ist möglich, in der Regel herrscht Fremdbefruchtung vor. Als Frucht des Bokharaklees wird eine schief-eiförmige, einen bis drei Samen zählende Hülse gebildet. Die Samen sind eiförmig und glatt. Die höchste Gesamtbiomasse wird zu Blühbeginn des zweiten Jahres erreicht (SEIFFERT, 1968).

KUTSCHERA (1960) erfasste für die Wurzeln der beschriebenen Arten offenbar typische Ausbildungen. Auffallend ist die sehr kräftige, pfahlförmige Primärwurzel mit anfangs seitwärts verlaufenden und wiederum verzweigten Seitenwurzeln. Das Wurzelsystem wird als sehr anpassungsfähig beschrieben, wobei das des Gelbblühenden Steinklees noch tief greifender sein soll. Durch die Umbildung des Hypokotyls und des oberen Teils der Primärwurzel in ein fleischiges, sich verjüngendes Speicherorgan zum Herbst (1. Jahr) findet ein im Vergleich zum Sprosssystem überproportionales Wachstum der unterirdischen Biomasse statt (KUTSCHERA, 1960). An der Krone dieses Speicherorgans entwickelt sich ein Kranz kräftiger Erneuerungsknospen für den Austrieb des zweiten Jahres. Begleitet wird der Biomassezuwachs der Wurzel zum Herbst des 1. Anbaujahres mit einer Erhöhung des Anteils der verfügbaren Kohlenhydrate von 10 % auf 40 % in Form von Stärke und Zucker. Bei sinkenden Temperaturen wird die Stärke in Zucker umgewandelt und im Winter durch Atmung aufgezehrt. Während die Stickstoffgehalte im Winterhalbjahr in der Wurzel ansteigen, nehmen sie im Spross erwartungsgemäß ab. Die hohe Nährstoffkonzentration in Oberflächennähe ist nach KÖSEGLU (1970) für die Winterhärte der etablierten Pflanze verantwortlich.

Melilotus officinalis und *M. albus* sind an das kontinentale Klima ihrer Verbreitungszentren gut angepasst. Im trockenen und warmen Sommer treibt der Spross im zweiten Wuchsjahr so schnell, dass die Blüte und Samenreife vor Austrocknung des Bodens erreicht wird. Durch die bereits im ersten Jahr tief gehende Wurzel gelten die beiden *Melilotus*-Arten als dürreresistent und frostsicher. Sie überstehen längere Trockenperioden und auch strenge Winter. In den Steppen und Halbwüsten Westsibiriens und Kasachstan finden sich xeromorphe, auf diese Gebiete beschränkte Formen von

Melilotus officinalis und *albus*. MÜLLER-STOLL (1936) ordnet die europäische Form von *Melilotus albus* als Mesophyt der Artengruppe mit der relativ geringsten Trockenresistenz zu. KUTSCHERA (1960) beschreibt *Melilotus officinalis* als noch trockenresistenter; KÖSEGLU (1970) erzielte auf lehmigen Sand die besten Leistungen bei der Stufe „feucht“ mit 75 % Wasserkapazität, während bei „trocken“ (25 % Wasserkapazität) ein starker Abfall der Wuchsleistung hingenommen werden musste. KÖSEGLU (1970) folgert daraus, dass *Melilotus officinalis* bei freier Konkurrenz durch langlebige und Ausläufer treibende Stauden aus seinem Wasseroptimum auf wechselfeuchte bis trockene Rohböden verdrängt wird, wo er auch aufgrund seiner regelmäßigen Vermehrung aus Samen eine relativ höhere Konkurrenzkraft gegenüber anderen Arten hat. Eine wesentliche Bedingung für die Etablierung einer Pflanze ist jedoch ein feuchter Vorfrühling, der einerseits eine rasche Keimung des hartschaligen Samens begünstigt und andererseits ein rasches Vordringen der Pfahlwurzel in den allmählich austrocknenden Boden erlaubt. So kann eine zeitweilige Austrocknung überstanden werden.

Der Weißblühende Bokharaklee hat für die heutige Landwirtschaft, insbesondere für den Futterbau, praktisch keine Bedeutung mehr. Als Gründe dafür gelten: sein Kumaringehalt, seine hohen Ansprüche an den Aciditätsbereich (Kalk liebend) und ein damit verbundenes Anbaurisiko, ein auf mittleren und besseren Böden vergleichsweise geringer Futterwert sowie die Gefahr des Widerausschlagens in der Folgefrucht. Auf sandigen Böden spricht eine kontinuierliche Kalkung gegen den Bokharaklee, da die auf diesen Böden typischen Pflanzen (Lupine) andere Aciditätsbereiche haben. Trotzdem kam PÄTZOLD (1961) schon vor einigen Jahrzehnten zu dem Schluss, dass über die Anbauwürdigkeit des Bokharaklees „noch kein endgültiges Urteil gefällt werden kann“, da er trotz der genannten Probleme zu einer beachtlichen Biomassebildung befähigt ist. PÄTZOLD (1961) berichtet von Trockenmasseerträgen im Hauptnutzungsjahr von 125 dt/ha bei zwei Schnitten auf mittleren Böden. Nach 10 Vegetationsmonaten stellte der Autor 89,5 dt/ha organische Wurzelmasse fest. Hierin dürfte seine große aktuelle Bedeutung für die trockenen Sandböden bestehen.

STÄHLIN (1957) misst dem Bokharaklee als Bienenpflanze eine größere Bedeutung zu als seiner Nutzung für Fütterungszwecke. Ein Cumeringlycosid, ein zur Spaltung notwendiges Enzym sowie freies Cumarin, deren Gehalte je nach Steinkleestamm, Standort, Wuchsphase und sogar tageszeitlich in den einzelnen Pflanzenteilen variieren, seien dafür verantwortlich, dass der Weiße Steinklee als Weide und auch im Grünfutter nur ungern gefressen würde und es bei Reinverfütterung zu einer in Nordamerika als „*sweetclover disease*“ bekannten Krankheit mit möglicherweise tödlichem Verlauf kommen könne.

Nach Einstellung des Anbaus von Bokharaklee in den fünfziger und sechziger Jahren des letzten Jahrhunderts weisen neuerdings einige Autoren (MAKOWSKI et al., 2007) auf die mögliche Bedeutung des Bokharaklees als Energiepflanze und Gründungspflanze hin.

Der Maisanbau ist das dominierende Verfahren zur Produktion von Biomasse. Die Leistungen des Maises für die energetische Nutzung können durch die Züchtung in kürzester Zeit sehr deutlich gesteigert werden. Durch sehr spät reifende Maishybriden in Verbindung mit verbesserter Kältetoleranz und Einkreuzung von Kurztagsgenen kann die vegetative Entwicklung der Pflanze noch verlängert werden. Nach Angaben eines Züchters werden Energiemaissorten mit stabilen Biomasseerträgen von 30 t/ha Trockenmasse in den nächsten acht Jahren für die Landwirtschaft verfügbar sein (SAATENUNION, 2007).

Mais und Sorghum-Hirsen stellen nur geringe Ansprüche an den Boden. Der Anbau von Zuckerhirsen und Sudangras kann auf sandigen, sommertrockenen Standorten erfolgen (ADAM, 2008). Die schnelle Erwärmung sandiger Böden kommt auch dem Mais entgegen. Für einen erfolgreichen Maisanbau sind Niederschläge von mindestens 250 mm in der Wachstumszeit notwendig (PEYKER, 2006). Auf Bodentemperaturen unter 16 °C reagieren Sorghum-Hirsen mit deutlicher Keimverzögerung. Selbst in Hauptfruchtstellung ist eine Aussaat vor Mitte Mai aus diesem Grund abzulehnen. Die Ansprüche von Mais, Sudangrashybride und Zuckerhirsen an die Vorfrucht ist eine ausreichend frühe und unkrautfreie Feldräumung. Die Fruchtarten sind weitestgehend selbstverträglich und können Getreide betonte Fruchtfolgen auflockern, da Fußkrankheiten des Getreides nicht übertragen werden (STOLZENBURG, 2006). Hirsen, als Sammelbegriff für Sorghum-, Sudangras bzw. Sorghum-Sudangras-Hybriden, gewinnen bei der Biomasseproduktion zunehmend Zuspruch, da ihnen geringere Ansprüche an die Bodengüte und Wasserversorgung nachgesagt werden (KLOSTERMANN, 2009). In einer Versuchsanstellung in Bayern konnten mit Hirsen in Hauptfruchtstellung allerdings nur 87 % der Trockenmasseerträge und 60 % der Nährstoffleistung (kStE) des Maises produziert werden (ZSCHEISCHLER, 1972). Ähnliche Ertragsrelationen erzielt KLOSTERMANN (2009) auf einem Versuchsstandort in Nordostdeutschland und LÜTKE ENTRUP (in LÜTKE ENTRUP und OEHMICHEN, 2000) am Niederrhein. Auch in Zweitfruchtstellung ist der Mais an diesem Standort besser geeignet als Hybridsorghum. Die Ertragssicherheit des Maises wird von KLOSTERMANN (2009) höher eingeschätzt. Als Energiepflanze der Grenzstandorte Brandenburgs sieht ADAM (2008) in Sorghumhirsen eine echte Alternative zum Mais, die auch aufgrund des stark erweiterten Sortensortiments zu einer Auflockerung der Fruchtfolge beitragen kann.

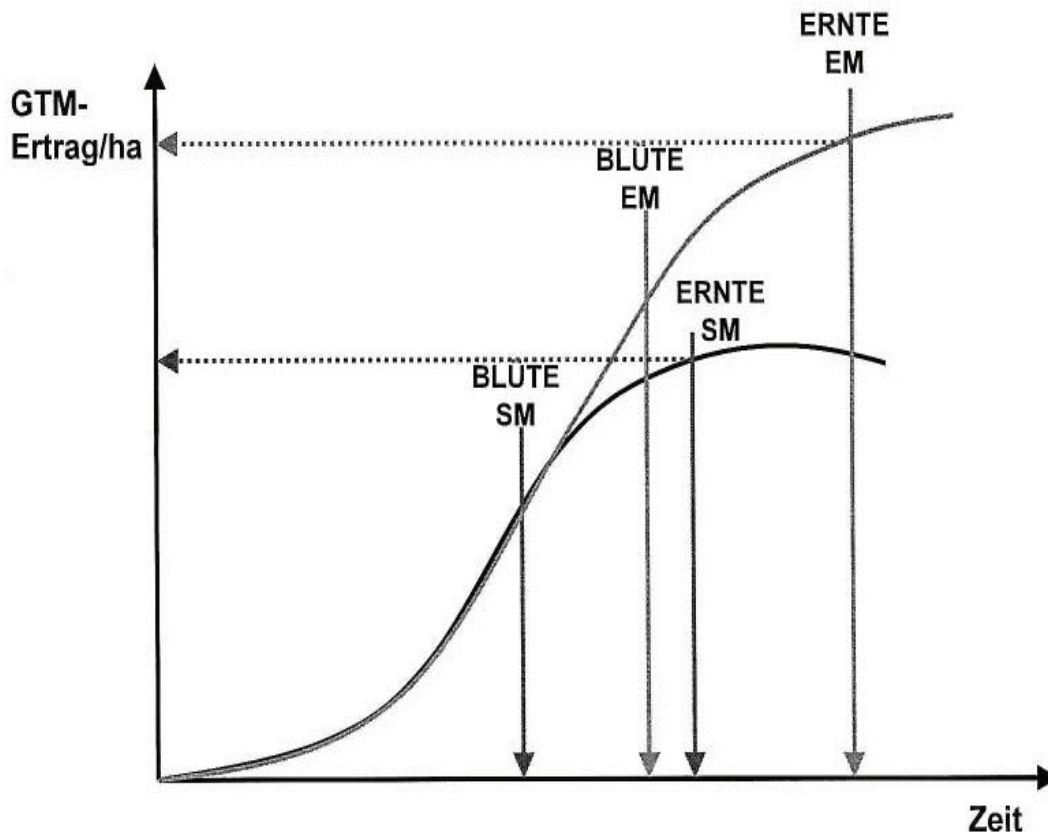


Abb. 25: Wachstumsverlauf eines Silomaises (SM) und eines Energiemaises (EM) (KWS, 2005 „Energiepflanzentagung“ der FNR in Berlin)

Im Versuchswesen wurden Hirsen immer wieder geprüft, Praxiserfahrungen, gerade von Gemengen mit Hirsen, liegen kaum vor. Als mögliche Mischungspartner wurden schon vor Jahrzehnten Felderbsen, Mais, Lupine und Wicken genannt (SEIFFERT, 1968; BECKER und NEHRING, 1969).

Literaturquellen zum Bokharaklee als Untersaat im Mais sind nicht bekannt. In den Tropen erfolgt der Maisanbau häufig in alternierenden Reihen mit Leguminosen, Sojabohnen (*Glycine max*) und Munkbohne (*Phaseolus radiatus*), oder aber mit Sorghum-Hirsen oder Knollenfrüchten. In Baumplantagen und im Ratoon-Zuckerrohr wird Mais als Zwischenkultur gebaut (FRANKE, 1981).

In den 70-iger Jahren wurde auch in Deutschland der Mischanbau mit Soja untersucht. Der Rohproteinерtrag konnte allerdings nicht in dem Maß gesteigert werden, um den Verlust des kStE-Ertrages zu kompensieren (SEITNER und SCHELLER, 1978). Aufgrund dieser Versuchsergebnisse und der nicht geklärten Frage einer effektiven Unkrautbekämpfung kommt ZSCHEISCHLER (1990) zu dem Schluss, dass dieses Gemenge ebenso nicht empfohlen werden kann wie der gemeinsame Anbau von Silomais und Markstammkohl. Untersaaten im Mais sind ebenfalls Gegenstand vieler Forschungsbemühungen (LÜTKE ENTRUP, 1987, 1988, 1989; BÄR, 1987; BUCHNER, 1987, 1988). Die im Handel erhältlichen Produkte werden unter Namen wie „HUMUS PLUS“ oder „HUMUS PLUS

ENERGY“ geführt, was einen Hinweis auf die erwünschten Vorteile derartiger Untersaaten gibt: Einschränkung von Nitratauswaschung und Erosion, Humusbildung und bessere Befahrbarkeit zur Ernte sowie eine ertragreiche Winterzwischenfrucht, nach der wiederum Mais folgen kann.

4.2.2.1 Anbautechniken

Zum Anbauverfahren des Bokharaklees gibt es sehr unterschiedliche Meinungen (MEYER, 2005; SEIFFERT, 1968; PETERSEN, 1967; SIMON, 1960b; PÄTZOLD, 1961). Die Einordnung in die Fruchtfolge kann sehr flexibel gestaltet werden.

Eigene Untersuchungen im Rahmen des Mischfruchtanbaus decken sich grundsätzlich besser mit angloamerikanischen Literaturquellen. Der in der deutschsprachigen Literatur vertretenen Meinung, dass eine späte Herbstaussaat aufgrund der guten Winterhärte des Steinklees zu bevorzugen sei (SIMON, 1960b; PETERSEN, 1967;) muss widersprochen werden. Frühljahrsaussaaten bei ausreichender Bodenfeuchte sind durchaus optimal. Es sind auch spätere Aussaattermine möglich. Der späteste Aussaattermin des Steinklees mit Aussicht auf Erfolg liegt in Nordostdeutschland nach Wintergerste. Allerdings bleibt bei Spätsommer- und Herbstaussaaten der Pflanze zu wenig Zeit, um eine kräftige Pfahlwurzel auszubilden. Der hohe Nährstoffgehalt im Wurzelsystem sichert die Winterhärte des Steinklees (MEYER, 2005).

Zur Bodenbearbeitung Folgendes: Das Saatbett sollte fein und gut abgesetzt sein. Beim Anbau auf Sandböden ist es wichtig, dass das Saatbett nicht zu trocken ist, da ansonsten eine flache Ablage des Saatgutes erschwert wird. Grundsätzlich ist auch eine pfluglose Bodenbearbeitung möglich, es muss jedoch bedacht werden, dass für die Unkrautkontrolle im Steinklee keine zugelassenen Herbizide zur Verfügung stehen.

Die Aussaatmenge wird in der Literatur unterschiedlich angegeben. Nordamerikanischen Quellen (RHYKER und HANKING, 2007) folgend, sind ca. 12 bis 18 kg/ha ausreichend. SEIFFERT (1968) gibt eine Aussaatmenge zwischen 20 bis 30 kg/ha an, die bei Verwendung von geritztem Saatgut um 20 bis 30 % reduziert werden kann. Besonders bei Verwendung frisch geernteten Saatgutes kann die Hartschaligkeit des Saatgutes bis zu 50 % betragen (MEYER, 2005). Durch Ritzen („*Scarification*“) des Saatgutes wird erreicht, dass Wasser durch die Samenschale dringen kann.

Bei erstmaligem Anbau wird das Impfen des Saatgutes mit Rhizobien empfohlen, die auch für den Luzerneanbau Verwendung finden (RHYKER und HANKING, 2007). In Deutschland wird der für den Steinkleeanbau passende Rhizobium-Stamm unter dem Namen Radicin Nr. 2 geführt.

Bezüglich der Aussaatiefe besteht Einigkeit darüber, dass das Saatgut möglichst flach zwischen 0,5 und 2 cm (SEIFFERT, 1968; MEYER, 2005) abgelegt werden sollte.

Tab. 26: Auflafraten und -dauer bei Steinkleesaaten in Abhängigkeit von der Aussaatiefe (nach MEYER, 2005)

Aussaattiefe (inches*)	Auflafrate (%)	Auflaufdauer (d)
0,5	98	4
1,0	88	5
1,5	46	6
2,0	20	7
2,5	2	9
3,0	0	-

*1 inch=2,54 cm

Steinklee gilt als sehr wüchsig. Die Entwicklung der oberirdischen Biomasse verläuft zugunsten der Wurzelentwicklung unter Anbaubedingungen Mecklenburg-Vorpommerns sehr langsam. Ein Bestandesschluss ist erst sechs Wochen nach Auflauf gegeben. Insofern stellt sich die Frage nach einer effektiven Unkrautkontrolle. Leguminosen schonende Herbizide werden vertragen; weniger selektiv wirkende Herbizide werden nicht vertragen (eigene Untersuchungen). SEIFFERT (1968) hält einen Eggstrich als mechanische Maßnahme für ausreichend. MEYER (2005) setzt pro Tonne produziertem Futter Entzüge von ca. 5,5 kg P_2O_5 und 23 kg K_2O an. Als Leguminose benötigt der Steinklee keine Stickstoffdüngung.

Im Falle einer Schnittnutzung im ersten Jahr wird eine Schnitthöhe von 15 bis 30 empfohlen (PETERSEN, 1967; PÄTZOLD, 1960), weil sich der Steinklee aus den Achsenknospen regeneriert. Da für die Überwinterung die Einlagerung von Kohlenhydraten in die Wurzel wichtig ist, kann ein Ernteschnitt zur falschen Zeit im Ansaatjahr zu Ertragsverlusten im Hauptnutzungsjahr führen.

Tab. 27: Überwinterungsrate in Abhängigkeit vom Erntezeitpunkt im Ansaatjahr beim Steinklee in Ohio (nach SMITH und GORZ, 1965)

Schnitttermin	Überwinterungsrate (%)
Beginn „Nährstoffspeicherung“	25
Mitte „Nährstoffspeicherung“	47
Ende „Nährstoffspeicherung“	88
Kein Schnitt	95

Die von verschiedenen Autoren (SMITH und GORZ, 1965; MEYER, 2005) als „food storage period“ bezeichnete Wachstumsphase beschreibt den Zeitpunkt, wenn Nährstoffe aus der oberirdischen Biomasse in die Wurzel verlagert werden. Damit einher geht die Bildung der Überdauerungsknospen auf der Wurzelkrone. Für Ohio wird als Zeitraum für den Beginn der Nährstoffeinspeicherung Anfang September, für den Abschluss der Nährstoffeinspeicherung Anfang November genannt (SMITH und GORZ, 1965). In Mecklenburg-Vorpommern kann eine Bildung von Überdauerungsknospen ab Mitte August beobachtet werden. Diese Wachstumsphase wird durch kürzer werdende Tage, also durch photoperiodische Reize, ausgelöst (KASPERBAUER et al., 1962).

Nach bisherigen Erfahrungen in Mecklenburg-Vorpommern wirkt sich ein Ernteschnitt ab Mitte September nicht negativ auf die Bestandesentwicklung im Folgejahr aus. Zu diesem Zeitpunkt kann mit einem Trockensubstanzgehalt von ca. 35 % gerechnet werden, sodass die Ernte mit Feldhäcksler möglich wird. BECKER und NEHRING (1969) berichten von einer erfolgreichen Silierung vor der Blüte im Hauptnutzungsjahr.

Mais nahm 2007 bundesweit eine vorher nie erreichte Anbaufläche von nahezu 1,9 Million Hektar ein. Der Anstieg der Anbaufläche beruht einzig auf einer Ausdehnung des Silomaisanbaus für die Nutzung in Biogasanlagen (DEUTSCHES MAISKOMITEE, 2009).

Tab. 28: Sorten, Saatstärke und N-Düngung von Bokharaklee, Mais und Sudangras in Reinsaat und Gemenge

Reinsaat	Sorte	botanische Bezeichnung	Saatstärke (kg/ha)	N (kg/ha)
Bokharaklee		<i>Melilotus albus</i>	25	0
Mais	Lacta	<i>Zea mais</i>	8*	120
Sudangras	Susu	<i>Sorhum halepense</i> var. <i>sudanense</i>	40	120
Gemenge				
1. Kultur		2. Kultur	% der Reinsaat	Modular
Bokharaklee		Mais	50:75	80
Bokharaklee		Sudangras	50:75	80

*keimfähige Körner/m²

Die Ansprüche an die Nutzungsrichtung Silomais bzw. Energiemais unterscheiden sich. Beim Silomais richtet sich die Sortenwahl nach der regional verfügbaren Wachstumszeit. Spät reifende Sorten versprechen höhere Trockenmasseerträge. Während für den erfolgreichen Silomaisanbau ein

Trockensubstanzgehalt größer 30 Prozent für eine sichere Abreife angestrebt wird, stehen für die energetische Verwertung im Fermenter maximale Masseerträge durch die optimale Ausnutzung der Vegetationszeit im Vordergrund (WIKIPEDIA, 2010). Dies spiegelt sich auch in den Sortenempfehlungen für Energie- (MICHEL, 2010a) und Silomais (MICHEL, 2010) für Mecklenburg-Vorpommern wider. Für die D-Nord Standorte werden beim Silomais Sorten der frühen bis mittelfrühen und beim Energiemais Sorten der mittelfrühen bis mittelspäten Reifegruppe empfohlen.

Für eine schnelle Keimung und günstig verlaufende Jugendentwicklung der Maispflanze wirkt sich eine gleichmäßige Bodenstruktur mit guter Wasser- und Nährstoffversorgung fördernd aus. Diese Bedingungen können mit einer Herbstfurche (auf Sandböden kann auch im Frühjahr gepflügt werden) und einer grobkrümeligen Herrichtung des Saatbettes geschaffen werden. HOFHANSEL (2006) hält eine konservierende Bodenbearbeitung unter den Anbaubedingungen Mecklenburg-Vorpommerns für vorteilhaft. Mulchsaatverfahren nach den Zwischenfrüchten Ölrettich, Senf oder Phacelia wirken sich in niederschlagsarmen Jahren positiv auf die Wasserführung im Boden aus. Die Mulchauflage wirkt als Verdunstungsschutz und in exponierten Lagen erosionsmindernd.

Mais sollte bei Bodentemperaturen unter 8 bis 10 °C nicht gelegt werden. In Abhängigkeit von der Bodenart sollte die Ablagetiefe 4 bis 6 cm betragen. Die Reihenweite wird mit 75 cm angegeben. Bei reihenunabhängigen Ernteverfahren und insbesondere für die Energiemaisproduktion empfiehlt RECKLEBEN (2009) Reihenabstände von unter 40 cm mit dem Vorteil einer besseren Flächen- und Nährstoffnutzung. Während PEYKER (2006) die Bestandesdichte in Abhängigkeit von der Nutzungsrichtung sieht, hält HOFHANSEL (2006) die Wasserversorgung des Standortes und den Sortentyp für ausschlaggebend. Entsprechend reicht die Empfehlung von 6 bis 13 Pflanzen pro m².

Pro dt Frischmasse (28 % TS) enthält Silomais 0,38 kg N, 0,16 kg P₂O₅, 0,45 kg K₂O und 0,11 kg Mg (HOFHANSEL, 2006). Eine zu hohe Stickstoffverfügbarkeit zur Saat wird kritisch eingeschätzt, da 85 % des Stickstoffbedarfs auf die Entwicklungsphase zwischen 8-Blatt-Stadium und Eintrocknen der Narbenblätter fällt (MEßNER, 2000). Von den organischen Düngern kommt der Gülleüngung die größte Bedeutung zu. Die Ausbringung sollte zeitnah zur Aussaat erfolgen (MEßNER, 2000).

Maisbestände sollten zwischen 4- bis 8-Blattstadium frei von Unkraut sein. Danach auflaufende Unkräuter verursachen keinen wirtschaftlichen Schaden. Für Vorsaat-, Vorauf- und Nachaufverfahren steht eine große Bandbreite von Wirkstoffen zur Verfügung. Bei mechanischer Pflege ist zu beachten, dass Mais ein Flachwurzler ist.

Vorraussetzungen für die Einschränkung von Krankheiten sind die richtige Sortenwahl sowie gebeiztes Saatgut (Fusarium- und Pythiumarten), ein rechtzeitiges Unterpflügen der Maisstoppen im

Herbst (Maiszzünsler) und ausreichende Anbaupausen (Westlicher Maiswurzelbohrer) (HOFHANSEL, 2006). Als Schädlinge treten Fritfliege und Drahtwürmer auf.

Die Siloreife des Maises ist zur Teigreife bei Trockenmasseerträgen zwischen 28 und 35 % erreicht. Die Maissilierung wird als unproblematisch eingestuft. Als optimale Häcksellänge für eine gute Verdichtung des Silos wird ein Bereich zwischen 4 und 7 mm angegeben (MEßNER, 2000). Während in der Tierernährung die Strukturwirksamkeit des Futtermittels bedacht werden muss, ist eine möglichst geringe Häcksellänge für den Einsatz in Biogasanlagen vorteilhaft.

Das Sortenangebot von Sudangrashybriden und Zuckerhirsen ist steigend, regionale Empfehlungen hingegen fehlen noch (ADAM, 2008). Für den Energiepflanzenanbau sollten massebetonte, ausreichend standfeste, späte Sorten gewählt werden, die sicher die für eine verlustfreie Silierung notwendigen Trockensubstanzgehalte erreichen. Die Saatbettbereitung und Aussaat erfolgt bei den Sorghumhirsen wie beim Mais. Die Reihenabstände sind enger zu wählen. ADAM (2008) nennt für Sudangrashybriden eine Spanne von 25 bis 50 cm und für Zuckerhirsen 50 cm. Die Aussaattiefe sollte zwischen 2 und 3 cm betragen.

Die Stickstoffdüngung erfolgt nach einer $N_{\min}$ -Untersuchung. Stabilisierte Stickstoffdünger zur Saat der Sorghum-Hirsen ermöglichen den Verzicht auf eine zweite Stickstoffgabe zu Beginn des Massewachstums (ADAM, 2008). Den Phosphor- und Kaliumbedarf der Sorghum-Hirsen gibt ADAM (2008) mit 30 bis 40 bzw. 150 bis 200 kg/ha an.

Wie der Mais verwerten Zuckerhirsen und Sudangrashybriden anfallende Gülle gut. Auch für diese Kulturen gilt, dass die Gülle zwischen Aussaat und Bestandesschluss auszubringen ist (STOLZENBURG, 2006).

Für Sorghum-Hirsen gibt es seit 2007 erste Zulassungen. ADAM (2008) favorisiert Herbizide im Nachauflauf, um bei guter Bestandesentwicklung gegebenenfalls auch auf chemische Unkrautbekämpfung verzichten zu können. Saatgutbeizung wird grundsätzlich empfohlen.

Für Sudangrashybride und Zuckerhirsen gibt ADAM (2008) den Erntetermin nach 120 bis 130 Wachstumstagen an. Bei einer frühen Aussaat Mitte Mai wäre ein Erntetermin zwischen Milch- und Teigreife der Körner ab der zweiten Septemberdekade möglich. Über ein zweischnittiges Nutzungsregime bei Sorghum-Hirsen kann nach Ansicht von ADAM (2008) unter den Umweltbedingungen Brandenburgs kein Mehrertrag erzielt werden.

Der Silierungserfolg bei Sorghum-Hirsen ist in erster Linie vom Erreichen eines entsprechenden Trockensubstanzgehaltes abhängig. Werden bei der Zuckerhirse Trockensubstanzgehalte von 24 bis

26 % bzw. bei den Sudangrashybriden von 26 bis 28 % erzielt, können befriedigende Ergebnisse erreicht werden.

LÜTKE ENTRUP (2000) formuliert klare Vorgaben für Untersaaten im Mais: der Ertrag der Deckfrucht darf durch die Untersaat nicht gefährdet werden, Herbizidmaßnahmen sollten, wenn möglich, unterbleiben und die Zusatzkosten müssen durch ackerbauliche und ökologische Vorteile ausgeglichen werden.

Den Fragen nach dem richtigen Zeitpunkt der Einsaat und zu welchem Einsaatzeitpunkt welche Untersaat vorteilhaft erscheint, widmen sich STEMANN et al. (1993). Am günstigsten erscheint eine Aussaat ab dem 2–3-Blattstadium, bei wüchsigem Wetter und unter Verwendung von Untersaaten mit langsamer Jugendentwicklung. Für frühere Untersaaten wird Rotschwingel, für spätere Untersaaten Deutsches Weidelgras und Knautgras und schließlich für späte Einsaattermine Welsches Weidelgras empfohlen.

Kleeuntersaaten haben im ökologischen Landbau eine gewisse Verbreitung. ZSCHEISCHLER (1990) verweist auf die große Bedeutung der Leguminosen als Stickstoffquelle bei dieser Wirtschaftsweise. 25 kg Erdklee sollen mit Schleuderdüngerstreuer in den 40 cm hohen Maisbestand ausgebracht werden. Der späte Aussaatzeitpunkt ist angebracht, da der ökologische Maisanbau auf mehrfache mechanische Unkrautbekämpfung angewiesen ist. Ein Stickstofftransfer kann denn N-Bedarf des Maises jedoch nicht annähernd decken (HOF und RAUBER, 2003).

Der Bokharaklee sollte wegen der langsamen Jugendentwicklung spätestens zum 4-Blattstadium eingesät werden. Organische Düngung sollte dann nicht mehr erfolgen. Auch eine chemische Unkrautbekämpfung ist danach allenfalls mit Leguminosen schonenden Mitteln möglich. Dazu zählt beispielsweise „*Certrol B*“ bei halbierter Aufwandmenge.

4.2.2.2 Ertragsleistungen

Im Mittel aller Standorte und Versuchsjahre wurden mit dem Mais, wie erwartet, die höchsten Erträge erzielt. Eine Ertragserfassung der Prüfglied Sudangras und des Gemenges aus Sudangras und Bokharaklee gelang aus bereits genannten Gründen nur einmalig 2006 auf dem Standort „AZ 30“.

Durchschnittlich wurden mit den Prüfgliedern dieser Ertragsgruppe rund 76 dt Trockenmasse pro ha erzielt. Bezogen auf diesen Durchschnittsertrag wurden für Mais und Mais/Bokharaklee relative Erträge von 129 bzw. 104 % errechnet. Der Bokharaklee erreicht bei einschnittigem Nutzungsregime einen Relativertrag von 87 %.

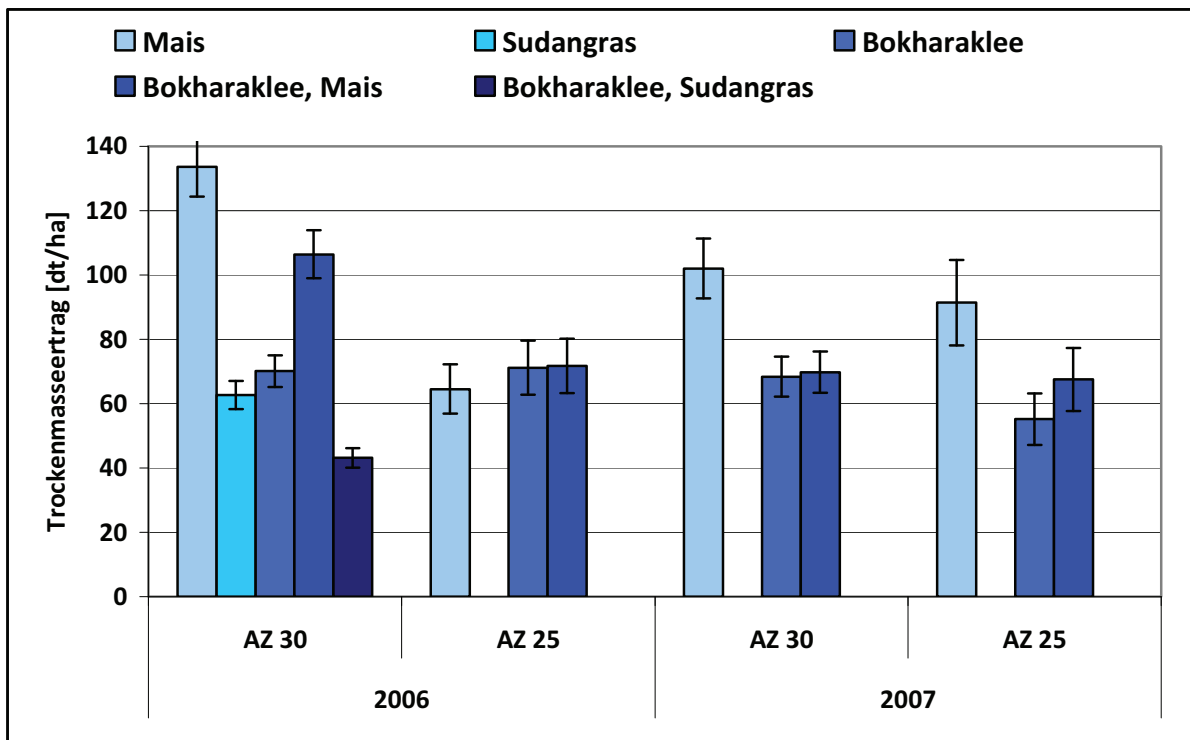


Abb. 26: Adjustierte Mittelwerte (n = 4) für die Erträge Mais-, Sudangrasmischungen und Reinsaaten der einzelnen Versuchsjahre und -standorte sowie die Standardfehler

Die Ertragsunterschiede von Mais gegenüber den übrigen Prüfgliedern der Einzeljahre und Standorte ist fast immer signifikant (Tab. 29). Für das Jahr 2006 auf dem Standort „AZ25“ konnten allerdings keine signifikanten Ertragsunterschiede ermittelt werden.

Der Jahreseffekt ist bei dieser Ertragsgruppe kleiner als der Standorteinfluss. Bezogen auf die mittleren Naturalerträge aller Prüfglieder der Standorte und Versuchsjahre wurde im Durchschnitt der Jahre auf dem Standort „AZ 25“ ein relativer Ertrag von 93 % bzw. auf dem Standort „AZ 30“ ein Relativertrag von 107 % erreicht. Die durchschnittlichen Erträge der Standorte der einzelnen Versuchsjahre gleichen sich sowohl 2006 als auch 2007 weitestgehend dem Versuchsmittel der untersuchten Ertragsgruppe an.

Tab. 29: Signifikanztabelle der Ertragsleistungen Mais-, Sudangrasmischungen und Reinsaaten der einzelnen Versuchsjahre und -standorte

Erntejahr	2006								2007							
Standort	AZ 25				AZ 30				AZ 25				AZ 30			
	Sudangras	Bokharaklee	Bokharaklee, Mais	Bokharaklee, Sudangras	Sudangras	Bokharaklee	Bokharaklee, Mais	Bokharaklee, Sudangras	Sudangras	Bokharaklee	Bokharaklee, Mais	Bokharaklee, Sudangras	Sudangras	Bokharaklee	Bokharaklee, Mais	Bokharaklee, Sudangras
Mais	+	-	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Sudangras		+	+	+		-	+	+		+	+	+		+	+	+
Bokharaklee			-	+			+	+			-	+			-	+
Bokharaklee, Mais				+				+				+				+

+ signifikant; - nicht signifikant (t-test, $\alpha = 0,05$)

4.2.2.3 Ertragsanteile der Gemengepartner

Der relative Gesamtertrag der Gemenge aus Bokharaklee und Mais bzw. Sudangras fällt negativ aus. Da für das Sudangras und das Gemenge aus Sudangras und Bokharaklee nur einjährig Erträge vorliegen, können die Ergebnisse nicht abschließend bewertet werden. Aber auch bei dem Gemenge aus Bokharaklee und Mais ist der relative Gesamtertrag gegenüber den Reinsaaten deutlich herabgesetzt. In beiden Gemengen hat der Bokharaklee einen Ertragsanteil von unter 30 % bezogen auf den Ertrag der Reinsaat. Als Untersaat in den Mais konnte einerseits kein ausreichend feines Saatbett hergestellt werden. Außerdem spricht die langsame Jugendentwicklung der Leguminose mit hohem Lichtanspruch gegen eine Einsaat zur einsetzenden Masseentwicklung des Mais. Die im Vergleich mit den anderen Prüfgliedern guten Ergebnisse dieses Gemenges sind auf die hohe Ertragsleistung der einzelnen Maispflanze zurückzuführen.

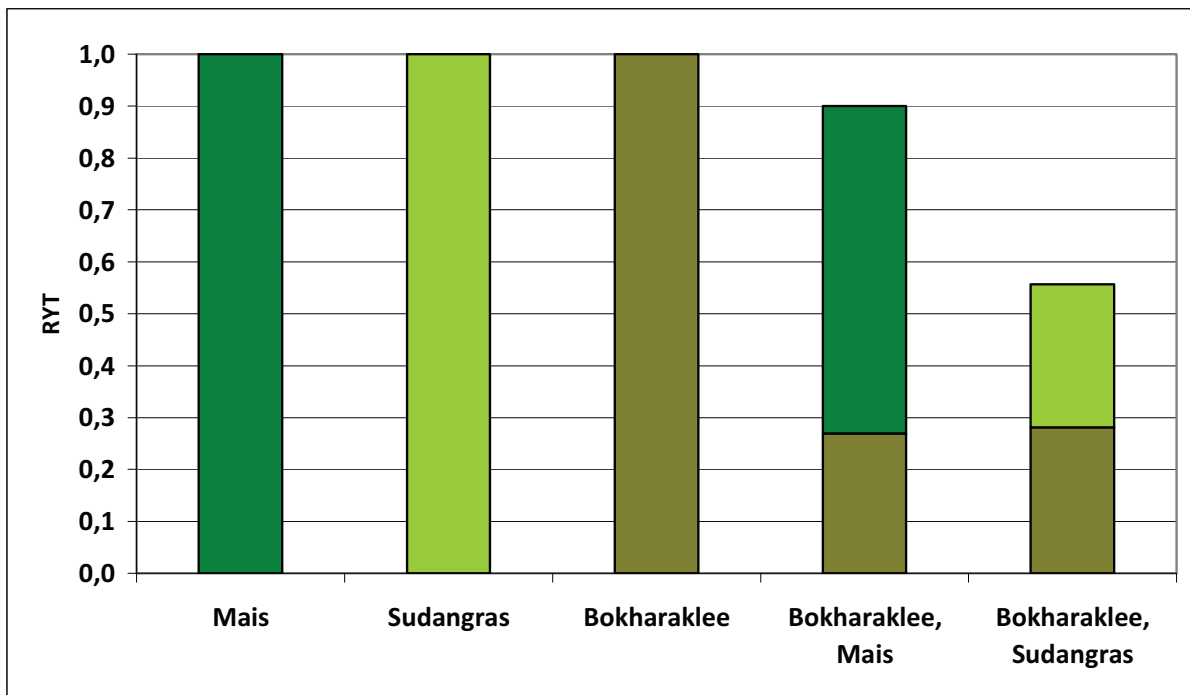


Abb. 27: Relativer Gesamtertrag (RYT) der Gemenge aus Bokharaklee und Mais bzw. Sudangras gegenüber den jeweiligen Reinsaaten der Standorte und Versuchsjahre

Durch eine in diesem Gemenge reduzierte Pflanzendichte, abgesenkte Stickstoffdüngung und unterbliebene Pflanzenschutzmaßnahmen konnte das Ertragspotenzial des Maises mit nur 63 % Ertragsleistung gegenüber der Reinsaat nicht ausgeschöpft werden (Abb. 28).

Bei dem Gemenge aus Sudangras und Bokharaklee wurde zwar eine gleichzeitige Aussaat vorgenommen, trotzdem ist gegenüber der anderen Mischung keine Steigerung der Flächenproduktivität des Steinklees feststellbar. Zudem beträgt der relative Gesamtertrag des Sudangrases in dieser Mischung unter 0,3.

4.2.2.4 Methanerträge

Zwischen den Methoden zur Ermittlung des spezifischen Methanertrages kommt es bei den Prüfgliedern Mais und Bokharaklee zu einer guten Übereinstimmung der Werte. Umso weniger lässt sich der Unterschied des spezifischen Methanertrages von 24 % bei dem Gemenge aus Bokharaklee und Mais erklären. Die spezifischen Methanerträge des Maises sind mit angegebenen Werten in der Literatur vergleichbar (KTBL, 2009). Für den Bokharaklee finden sich weder Vergleichswerte noch neuere Untersuchungen zur Verdaulichkeit der Rohnnährstoffe.

Die Berechnungen beruhen auf Verdaulichkeitskennziffern aus der älteren Literatur (BECKER und NEHRING, 1969) zum Vegetationsstadium „Beginn Blüte“, während im Batchversuch Probenmaterial verwendet wurde, das im Herbst geerntet wurde. Es ist davon auszugehen, dass bezüglich der

Nährstoffgehalte und der Verdaulichkeit der Rohnährstoffe erhebliche Unterschiede zwischen den Vegetationsstadien auftreten, die sich im Vergleich der Methoden bei den spezifischen Methanerträgen nicht widerspiegeln.

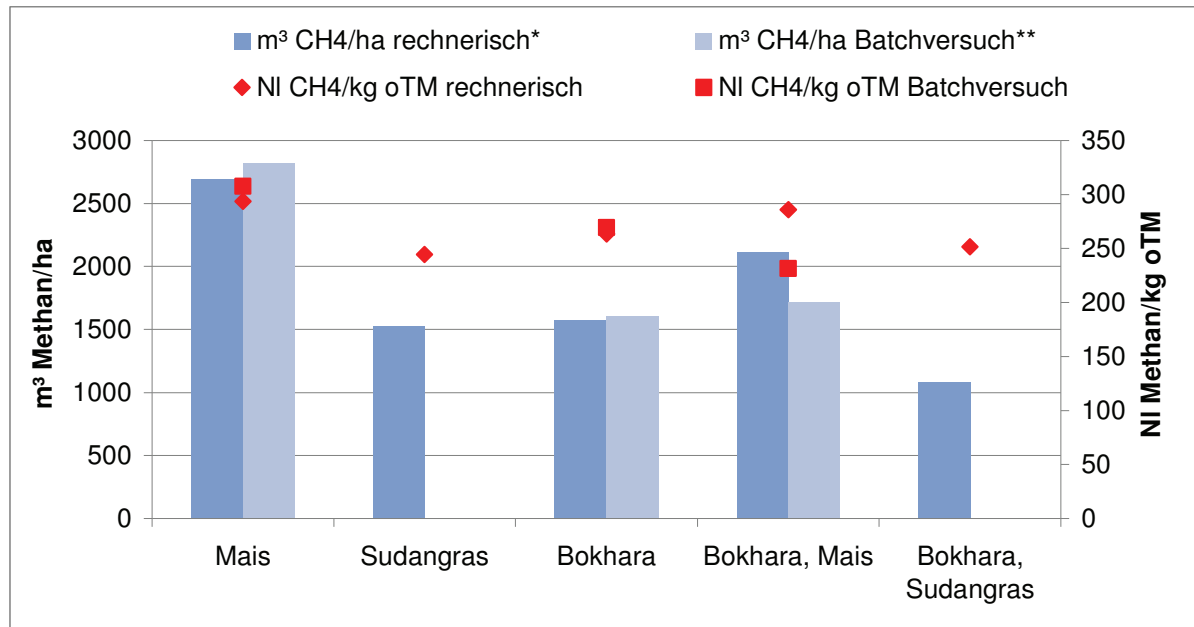


Abb. 28: Adjustierte Mittelwerte (n = 4) für die Methanerträge (m³/ha) Mais-, Sudangrasmischungen und Reinsaat sowie die spezifischen Methanausbeuten (NI/kg oTM)

Mit dem Prüfglied Mais werden im Mittel der Jahre und Versuchsstandorte die höchsten Methanerträge pro Flächeneinheit erreicht. Die Werte zu den Prüfgliedern Sudangras und dem Gemenge aus Sudangras und Bokharaklee beruhen auf einjährigen Versuchsergebnissen.

4.2.2.5 Energiebilanz

Anders als bei der Ertragsgruppe „Sommergetreide“ lassen sich für die in Abb. 29 dargestellten Prüfglieder große Unterschiede bei den absoluten kumulierten Energieaufwendungen und bei den relativen Anteilen der Verfahrensabschnitte am Gesamtverfahren feststellen.

Die geringfügigen Abweichungen des kumulierten Energieaufwandes beim Verfahrensabschnitt „Bodenbearbeitung und Aussaat“ lassen sich mit unterschiedlichen Saatgutmengen erklären. Bei „Ernte und Transport“ sind die Unterschiede einerseits auf höhere Erntemengen und damit höheren Transportaufwand zu erklären, andererseits wurden für die Prüfglieder verschiedene Ernteverfahren kalkuliert. Die höchsten kumulierten Energieaufwendungen und auch größten Abweichungen innerhalb eines Teilverfahrens sind bei der Düngung zu beobachten. Für die Produktion einer dt Trockenmasse Mais müssen, bezogen auf die kumulierten Energieaufwendungen, für die Düngung 104 MJ aufgewendet werden, während für die gleiche Erntemenge beim Bokharaklee nur 43 MJ

aufgewendet werden müssen. Zwar sind die Naturalerträge beim Mais höher, allerdings liegen zwischen den Verfahren 120 kg Stickstoff pro ha.

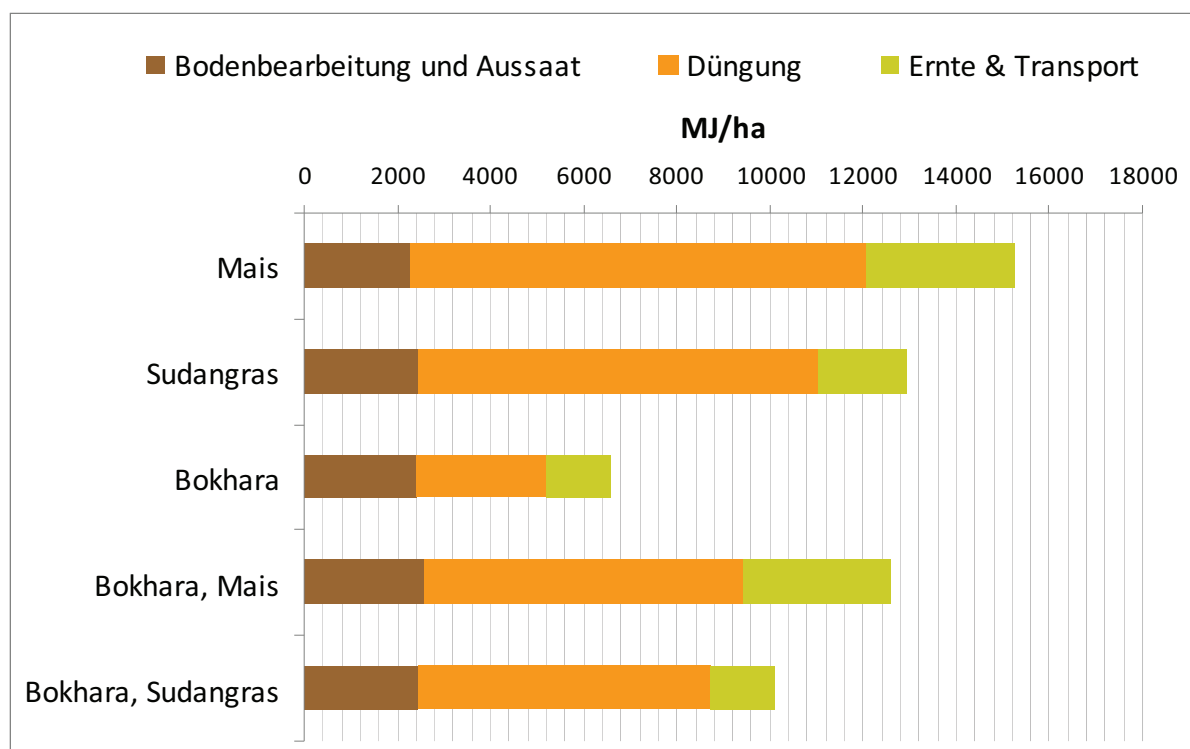


Abb. 29: Kumulierter Energieaufwand Mais-, Sudangrasmischungen und Reinsaat (Datengrundlage siehe Anhang)

Im Verhältnis der kumulierten Energieaufwendungen zu den Nettoenergieerträgen ergibt sich für das Verfahren Bokharaklee auch der höchste Ertragsfaktor.

Tab. 30: Energieertrag, kumulierter Energieaufwand und Ertragsfaktor Mais-, Sudangrasmischungen und Reinsaat (Datengrundlage siehe Anhang)

Fruchtart	Brutto-energieertrag Methan	Netto-energieertrag	kumulierter Energie-aufwand	Ertragsfaktor
	GJ/ha			GJ/GJ
Mais	96,81	81,57	15,54	5,35
Sudangras	54,95	42,01	12,94	3,25
Bokharaklee	56,47	49,91	6,56	7,60
Bokharaklee, Mais	75,96	63,39	12,57	5,04
Bokharaklee, Sudangras	38,99	28,90	10,08	2,87

4.2.2.6 Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen

Mit dem Prüfglied Mais wurden die höchsten Erträge aller Prüfglieder im Versuch erzielt. Trotzdem errechnet sich für diese Kultur nicht die niedrigste Produktionsschwelle. Einen großen Anteil an den Kosten beim Verfahren Mais haben die Ernte und der Transport. Der Bokharaklee weist eine im Vergleich niedrige Produktionsschwelle auf. Der Verzicht auf mineralische N-Düngung drückt bei Nutzungskosten von 143 € pro Hektar die Produktionsschwelle des Bokharaklees unter die des Mais. Wird bei hohen Getreidepreisen ein entgangener Erlös von 425 € pro Hektar vorgehalten, verändert sich die Produktionsschwelle aufgrund des höheren Ertragsniveaus zugunsten des Maisanbaues.

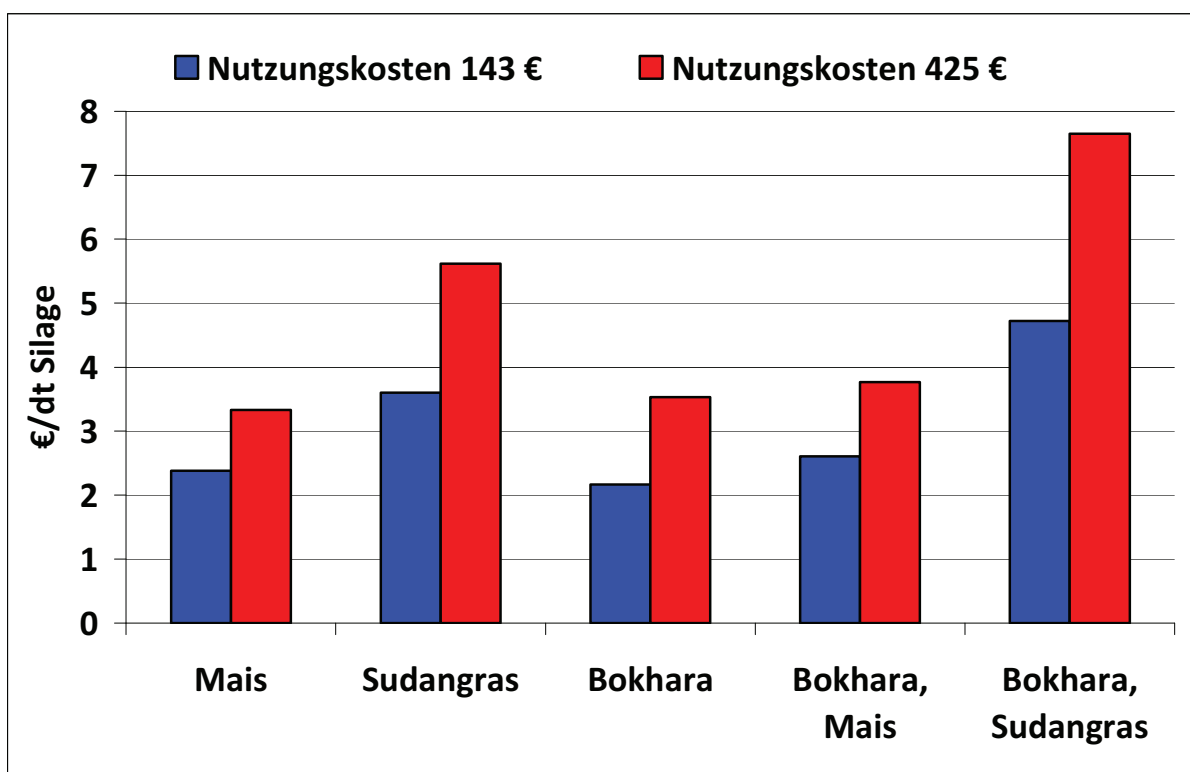


Abb. 30: Produktionsschwelle inklusive Nutzungskosten, Lohnanspruch und Energiepflanzenprämie Mais-, Sudangrasmischungen und Reinsaaten

Auch für die Varianten dieser Ertragsgruppe gilt, dass die unterstellten Marktpreise für Getreide einen höheren Einfluss auf die Produktionsschwelle haben als die Kosten für Betriebsmittel.

Werden 0,30 €/m³ Methan Erlöst, ergeben sich positive Deckungsbeiträge für Mais und Bokharaklee (135 € und 94 € pro Hektar). Der Deckungsbeitrag des Sudangrases wird erst bei 0,31 €/m³ Methan positiv. Die bereinigten Stückkosten des Gemenges aus Mais und Bokharaklee liegen bei 0,28 €/m³ Methan (Deckungsbeitrag von 42 € pro Hektar).

4.2.3 Lupine und Lupinengemenge

Im Folgenden wird auf die Gemenge aus Lupine und Sommergerste mit Saflor (*Carthamus tinctorius*) bzw. Bokharaklee und Bokharakleeuntersaat im Hafer sowie auf die entsprechenden Reinsaaten, sofern sie noch nicht besprochen wurden, eingegangen.

Die Blaue Lupine (*L. angustifolius* L.) und die Gelbe Lupine (*Lupinus luteus* L.) gelten ebenso wie der Bokharaklee als Pionierpflanzen. Daneben ist für den Anbau auf den besseren Böden die Weiße Lupine (*Lupinus albus* L.) bekannt. Hülsenfrüchte im Mähdruschverfahren und zur Futterproduktion in Hauptfrucht- und Zwischenfruchtstellung haben in Mecklenburg-Vorpommern aus der Sicht der Fruchtfolgegestaltung und der Bodenfruchtbarkeit zwar einen hohen Stellenwert, aber aus wirtschaftlichen Gründen werden immer weniger Leguminosen angebaut. Die günstigen Fruchtfolgeeffekte des Lupinenanbaus beruhen auf einer Stickstofffixierung, einer intensiven Bodendurchwurzelung, dem Aufschluss schwerlöslicher Nährstoffe und auf der Unterbrechung von Infektionsketten in verengten Fruchtfolgen.

Tab. 31: Unterscheidungsmerkmale und Standortansprüche von Lupinen (verändert nach FRAUEN, 1996 und erweitert nach EGLE, 2002)

Merkmal	Gelbe Lupine	Blaue Lupine	Weiße Lupine
Bodenanspruch	leichte Böden	mittlere Böden	mittelschwere Böden
Bodenreaktion	sauer	sauer - neutral	neutral
Wasserversorgung	verträgt Trockenheit	benötigt ausreichende Wasserversorgung	benötigt ausreichende Wasserversorgung
Wärmeanspruch	hoch	geringer	hoch
Spätfröste	empfindlich	weniger empfindlich	empfindlich
Vegetationszeit (d)	135 – 180	120 - 150	140 - 180
Proteoidwurzeln (Phosphatlöslichkeit)	nicht vorhanden	nicht ausgeprägt	ausgeprägt

Die Lupine selber stellt keine besonderen Ansprüche an die Vorfrucht, außer, dass sie mit sich selber und anderen Leguminosen nicht verträglich ist. Anbaupausen von 4 bis 6 Jahren sollten eingehalten werden.

Neben ihren unterschiedlichen Standortansprüchen muss als wesentliches Kriterium für die Auswahl einer Art die höhere Anfälligkeit der Gelben und Weißen Lupine für die Pilzkrankheit Anthraknose gewertet werden. Nach LÜTKE ENTRUP (in LÜTKE ENTRUP und OEHMICHEN, 2000) werden im

Zwischenfruchtanbau fast ausschließlich Blaue Bitterlupinen verwendet, zumal der Ertrag der oberirdischen und unterirdischen Biomasse gegenüber den anderen Arten höher ist.

Zu Grünfütterzwecken beschreiben BECKER und NEHRING (1969) Gemenge der Lupine mit den Leguminosen Serradella, Peluschken, Saatwicke und Inkarnatklée oder mit für den Sommerzwischenfruchtanbau geeigneten Pflanzen wie Sonnenblume und Hirse. Hervorgehoben wird die lange Nutzungsdauer der Lupine, die von der Knospenbildung bis zur Milchreife der Körner reicht. Als Mischungspartner für die Futter- oder Biomasseproduktion ist die Lupine dadurch sehr flexibel. Für die Körnernutzung wird von BECKER-DILLINGEN (1929) als „lohnendste Gemengefrucht“ der Hafer genannt. Gemenge mit Bokharaklee, Saflor und Sommergerste finden keine ausdrückliche Erwähnung in der Literatur. Durch die Beisat der Lupine zu einer Getreidepflanze wird nach Meinung des Autors eine bessere Gare des Bodens erreicht als mit dem Getreideanbau in Reinsaat. Durch die sehr tief reichenden Wurzeln werden auch untere Bodenschichten aufgelockert und durchlüftet.

Saflor, auch Färberdistel genannt, wird als Ölpflanze im Weltmaßstab im nennenswerten Umfang nur in Indien und Mexiko angebaut. In Europa hat Saflor nur auf der Iberischen Halbinsel eine gewisse Verbreitung. Der Anbau ist in den wärmeren Gebieten Deutschlands auf die Zeitspanne zwischen dem 16. und 18 Jahrhundert beschränkt (SCHUSTER, 1992). SCHEIBE (1938) bemühte sich um die züchterische Bearbeitung und Wiederbelebung des Anbaus als Alternative zu Raps und Rüben auf trockenen Standorten. SESSOUS (1940) beschreibt den Saflor als eine 80 bis 100 cm hohe Pflanze mit einer tiefreichenden, kräftigen Pfahlwurzel, der die Pflanze ihre Trockenresistenz verdankt. Im Nordostdeutschen Raum reift der Saflor nicht sicher ab. SCHARRER und SCHREIBER (1940, 1941, 1942) prüften den Saflor als Futterpflanze bei Milchkühen, Schafen und Schweinen.

4.2.3.1 Anbautechniken

Die Aussaat sollte für alle genannten Reinsaat und Gemenge einerseits so zeitig wie möglich durchgeführt werden. Andererseits kann sie aber auch flexibel gestaltet werden. Es besteht eine gewisse Artenabhängigkeit. Um Wasserverluste zu vermeiden, wird eine Herbstfurche empfohlen (LÜTKE ENTRUP, 2000; TLL, 2008; SCHULZ, 2006). Sommergetreide und Lupinen haben ähnliche Ansprüche an die Saatbettbereitung (LÜTKE ENTRUP, 2000; SCHULZ, 2006). Die Färberdistel und Bokharaklee verlangen ein feinkrümeliges, gut abgesetztes Saatbett. Mit 2 bis 3 cm Aussaat tiefe ist bei Lupine, Sommergetreide und Saflor kein Kompromiss notwendig. Beisaaten des Bokharaklees erfordern, sofern ein zweiter Arbeitsgang vermieden werden soll und auch kein zweiter Säkasten für Klee und Gräser verfügbar ist, dass das Saatgut nicht tiefer als 2 cm abgelegt wird. Saatgutbeizung bei

Lupine gegen Erreger der Anthraknose und bei Sommergetreide gegen Flugbrand (*Ustilago nuda*, *Ustilago avenae*, *Ustilago hordei*) die Streifenkrankheit der Gerste (*Helminthosporium gramineum*) und Mehltaubefall (*Erysiphe graminis*) ist ratsam (GRIGO, 1986). Im ökologischen Landbau ist auf zertifiziertes Saatgut zu achten. Bei der Lupine wird zwischen Verzweigungs- und endständigen Sortentypen unterschieden. Die für den Sommerzwischenfruchtanbau beim Bundessortenamt eingetragene Sorte „Azuro“ unterscheidet sich bezüglich der Pflanzenlänge erheblich von den Sorten im Hauptfruchtstellung. Sortenanpassung an die jeweiligen Mischungskomponenten mit früh oder spät reifenden Sorten ist möglich. Die meisten Saflorsorten stammen aus Spanien und Italien; werden allerdings wegen der hohen Anfälligkeit für den Botrytiserreger nicht empfohlen (TLL, 2008). SCHEIBE (1938) weist bereits darauf hin, dass lokale Herkünfte vorzuziehen sind. Das heimische Sortiment beschränkt sich auf die 1998 zugelassene Sorte „Sabina“.

Tab. 32: Sorten, Saatstärke und N-Düngung von Lupine, Bokharaklee, Saflor und Sommergetreide in Reinsaat und im Gemenge

Reinsaat	Sorte	botanische Bezeichnung	Saatstärke (kfKö/m ²)	N (kg/ha)
Blaue Lupine	Borlu	<i>Lupinus angustifolius</i>	90	0
Bokharaklee		<i>Melilotus albus</i>	25*	0
Saflor	Sabina	<i>Carthamus tinctorius</i>	75	80
Sommergerste	Djamila	<i>Hordeum vulgare</i>	280	80
Sommerhafer	Revisor	<i>Avena sativa</i>	320	80
Gemenge				
1. Kultur	2. Kultur	3. Kultur	% der Reinsaat	Modular
Blaue Lupine	Sommergerste	Bokharaklee	50:50:50	60
Blaue Lupine	Sommergerste	Saflor	50:50:50	60
Blaue Lupine	Sommergerste		75:75	60
Sommerhafer	Bokharaklee		75:50	60

*kg/ha

Die Notwendigkeit einer Rhizobienimpfung beim Bokharaklees wurde erläutert. Für die Lupine wird bei erstmaligen Anbau oder bei Anbaupausen von mehr als 8 Jahren das Produkt Radicin Nr. 6 flüssig und in Granulatform angeboten (SCHULZ; 2006). Auch auf Düngungs- und Pflanzenschutzempfehlungen des Sommergetreides wurde bereits hingewiesen. Im Gemenge mit Lupine und Saflor bzw. Bokharaklee ist eine Reduzierung der mineralischen Stickstoffdüngung denkbar (MAKOWSKI, mündl. Mitt. 2008), auf die im ökologischen Anbau und bei Reinsaaten der

Leguminosen auch im konventionellen Landbau ganz zu verzichten ist. Beim Körneranbau der Färberdistel, der eine mineralische Stickstoffdüngung von 90 kg/ha fordert, soll eine organische Düngung unterbleiben, um eine verzögerte Abreife zu verhindern (TLL, 2008). Auch für die übrigen Kulturen in Rein- und Mischsaat ist eine organische Düngung nicht angesagt. Der Lupinenanbau erfordert keine zusätzliche Grunddüngung, zumal die Pflanze ein sehr hohes Aneignungsvermögen für Phosphor hat (SCHULZ, 2006). Phosphatlöslichkeit im Boden wird über Säureausscheidungen der Proteoidwurzeln bewirkt (siehe Tab. 31). In Gefäßversuchen haben HORST und WASCHKIES (1987) nachgewiesen, dass in phosphorarmen Substraten die Sprosstrockenmasse des Weizens im Gemenge mit der Weißen Lupine gegenüber der Reinsaat deutlich gesteigert werden konnte. SCHILLING (2000) gibt für die Körnerlupine folgenden Nährstoffbedarf pro Hektar an: 10 bis 20 kg P, 25 bis 45 kg K und 4 bis 6 kg Mg. Innerhalb der Fruchtfolge kann auch der Nährstoffbedarf der Färberdistel bei mittlerer Versorgungsstufe des Bodens gedeckt werden. Die Entzüge werden mit 15 bis 20 kg P pro ha, 80 bis 100 kg K pro ha und 8 bis 10 kg Mg pro ha angegeben (TLL, 2008).

Der Einsatz von Herbiziden bereitet erhebliche Probleme. Bei den besprochenen Gemengen handelt es sich um Mischungen ein- und zweikeimblättriger Pflanzen. Die Reaktionen der einzelnen Arten auf die Herbizide sind sehr unterschiedlich. Eine generelle Kulturverträglichkeit wird gegenwärtig nicht erreicht.

Der Herbizideinsatz in reinen Lupinenbeständen ist im Voraufbau mit Stomp SC (1,5 – 4,0 l/ha) und/oder Boxer (4,0 l/ha) auch in Tankmischung möglich. Im Nachaufbau gegen Gräser gibt es eine Zulassung für Fusilade Max (1,0 – 2,0 l/ha). SCHULZ (2006) verweist darauf, dass seit 2006 auch Gardo Gold nach § 18a PflSchG eine Zulassung hat, das im Voraufbau ein- und zweikeimblättrige Unkräuter sehr gut bekämpft. Wie in diesem Zusammenhang schon häufiger erwähnt, ist die Schadschwelle bei der Körnerproduktion eine andere als bei der Biomasseproduktion. Striegeln im Voraufbau ist sowohl bei der Lupine in Reinsaat, als auch bei den Gemengen eine effektive Maßnahme zur Unkrautunterdrückung.

Für die Färberdistel gibt es keine Kulturzulassung eines Wirkstoffes, sodass ggf. nach § 18b PflSchG eine Genehmigung erteilt werden kann. Bei weiteren Reihenabständen ist ein Einsatz der Maschinenhacke möglich (TLL, 2008).

Als Erntetermin der Färberdistel für die Futterproduktion wird von SCHARRER und SCHREIBER (1940) „vor Blüte“ genannt. Zu diesem Zeitpunkt hat die Biomasse ein Trockensubstanzgehalt um 15 %, was für eine Silierung nachteilig ist. Trotzdem konnte unter Verwendung der Zusätze Amasil und Biosil eine Silage hergestellt werden, die BECKER und NEHRING (1969) mit „sehr gut“ bezeichnen. Da für

die Futterproduktion die Verdaulichkeit der Rohnnährstoffe im Vordergrund steht, stellt sich die Frage, ob für die energetische Nutzung ein späterer Erntetermin mit zwar schlechterer Verdaulichkeit der Rohnnährstoffe, jedoch mit höheren Trockensubstanzgehalten und höheren Naturalerträgen vorteilhaft wäre.

Der geringe Gehalt leicht löslicher Kohlenhydrate und die hohen Eiweißgehalte der Lupine sowie basische Aschenbestandteile wirken sich negativ auf die Silierbarkeit der Lupine aus. Leicht vergärbare Gemengepartner, wie Saflor oder Ganzpflanzengetreide, verbessern die Silierfähigkeit (BECKER und NEHRING, 1969).

4.2.3.2 Ertragsleistungen

Der durchschnittliche Ertrag aller Prüfglieder dieser Ertragsgruppe über die Versuchsjahre und Standorte gemittelt beträgt einschließlich der in Abb. 31 nicht abgebildeten Reinsaaten von Sommergerste, Hafer und Bokharaklee (siehe 4.2.1.2) 52,71 dt Trockenmasse pro ha. Bezogen auf das Versuchsmittel werden mit den Getreidereinsaaten Sommergerste und Hafer Relativerträge von 108 bzw. 99 % erreicht, mit dem Bokharaklee sogar 126 %. Ebenfalls überdurchschnittliche Erträge weisen die Gemenge aus Lupine und Sommergerste (103 %) bzw. Lupine, Sommergerste und Saflor (115 %) auf. Die Relativerträge der Reinsaaten Lupine und Saflor liegen mit 73 bzw. 93 % deutlich unter dem Versuchsmittel.

Signifikante Ertragsunterschiede bestehen entsprechend zwischen den Gemengen mit Sommergerstenanteil und den Reinsaaten, Lupine und Saflor sowie dem aus Bokharaklee und Hafer (Tab. 33).

Bezogen auf den Durchschnittsertrag ist der Einfluss des Versuchsjahres, als auch des Versuchsstandortes gleich zu bewerten. Im Mittel der zwei Versuchsjahre wurde auf dem Standort „AZ 25“ ein relativer Ertrag von 92, auf dem Standort „AZ 30“ relativer Wert von 108 % errechnet. Die Ertragsunterschiede zwischen den Jahren entsprechen auch in der Höhe exakt den Abweichungen zwischen den Standorten, wobei im Versuchsjahr 2006 durchschnittlich höhere Erträge erzielt wurden als 2007.

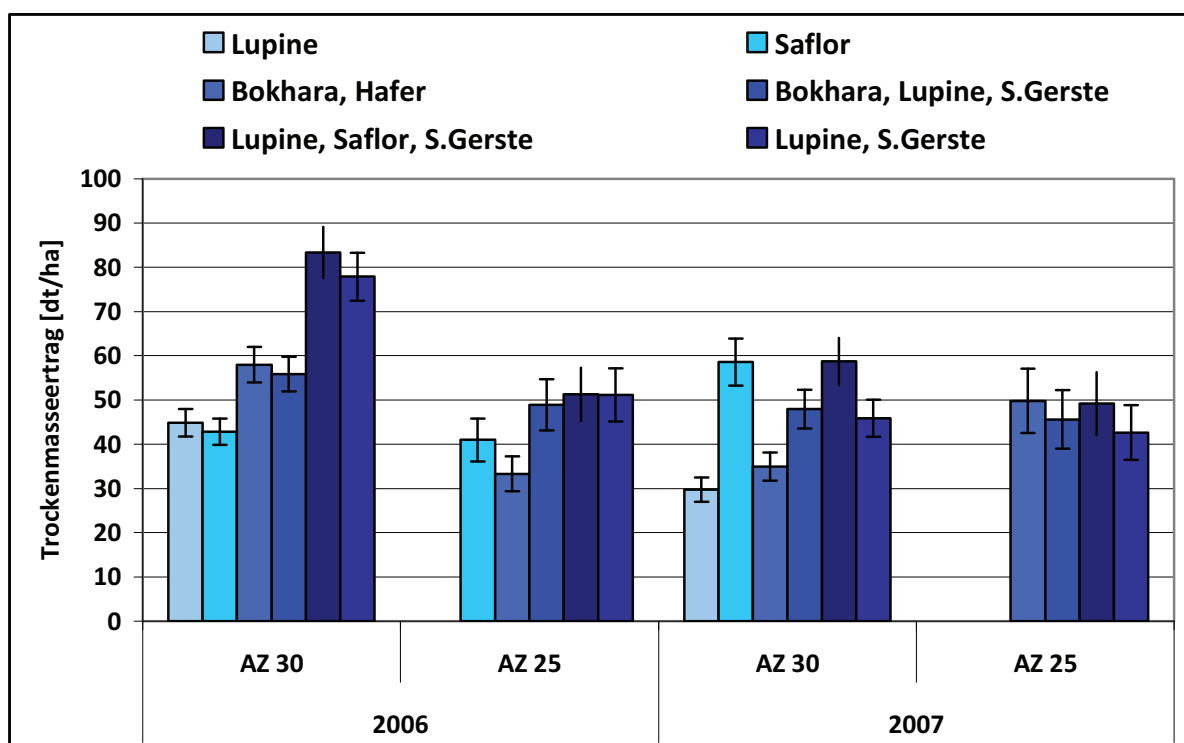


Abb. 31: Adjustierte Mittelwerte (n = 4) für die Erträge der Lupinenmischungen und Reinsaaten der einzelnen Versuchsjahre und -standorte sowie die Standardfehler

Tab. 33: Signifikanztabelle der Ertragsleistungen der Prüfglieder Lupine, Saflor, und den Gemengen aus Lupine und Sommergerste mit Beimengungen von Saflor bzw. Bokharaklee der einzelnen Versuchsjahre und -standorte

Erntejahr	2006										2007									
Standort	AZ 25					AZ 30					AZ 25					AZ 30				
	Saflor	Bokharaklee, Hafer	Bokharaklee, Lupine, S.Gerste	Lupine, Saflor, S.Gerste	Lupine, S.Gerste	Saflor	Bokharaklee, Hafer	Bokharaklee, Lupine, S.Gerste	Lupine, Saflor, S.Gerste	Lupine, S.Gerste	Saflor	Bokharaklee, Hafer	Bokharaklee, Lupine, S.Gerste	Lupine, Saflor, S.Gerste	Lupine, S.Gerste	Saflor	Bokharaklee, Hafer	Bokharaklee, Lupine, S.Gerste	Lupine, Saflor, S.Gerste	Lupine, S.Gerste
Lupine	+	-	+	+	+	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	+	+	+
Saflor	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	+	+	+	+	+	+	-	-	+
Bokharaklee, Hafer	-	+	+	+	+	-	+	+	+	+	-	+	+	+	+	-	+	+	+	+
Bokharaklee, Lupine, S.Gerste	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Lupine, Saflor, S.Gerste	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+

+ signifikant; - nicht signifikant (t-test, $\alpha = 0,05$)

4.2.3.3 Ertragsanteile

Legt man den relativen Gesamtertrag zur Beurteilung der Ertragsleistung der Gemenge zugrunde, dann sind die Mischungen aus Lupine und Sommergerste mit Saflor- und Bokharakleenanteilen positiv einzuschätzen.

Auffällig ist wiederum, dass der relative Gesamtertrag des Bokharaklees in beiden Gemengen mit Kleeanteilen deutlich unter 0,2 liegt.

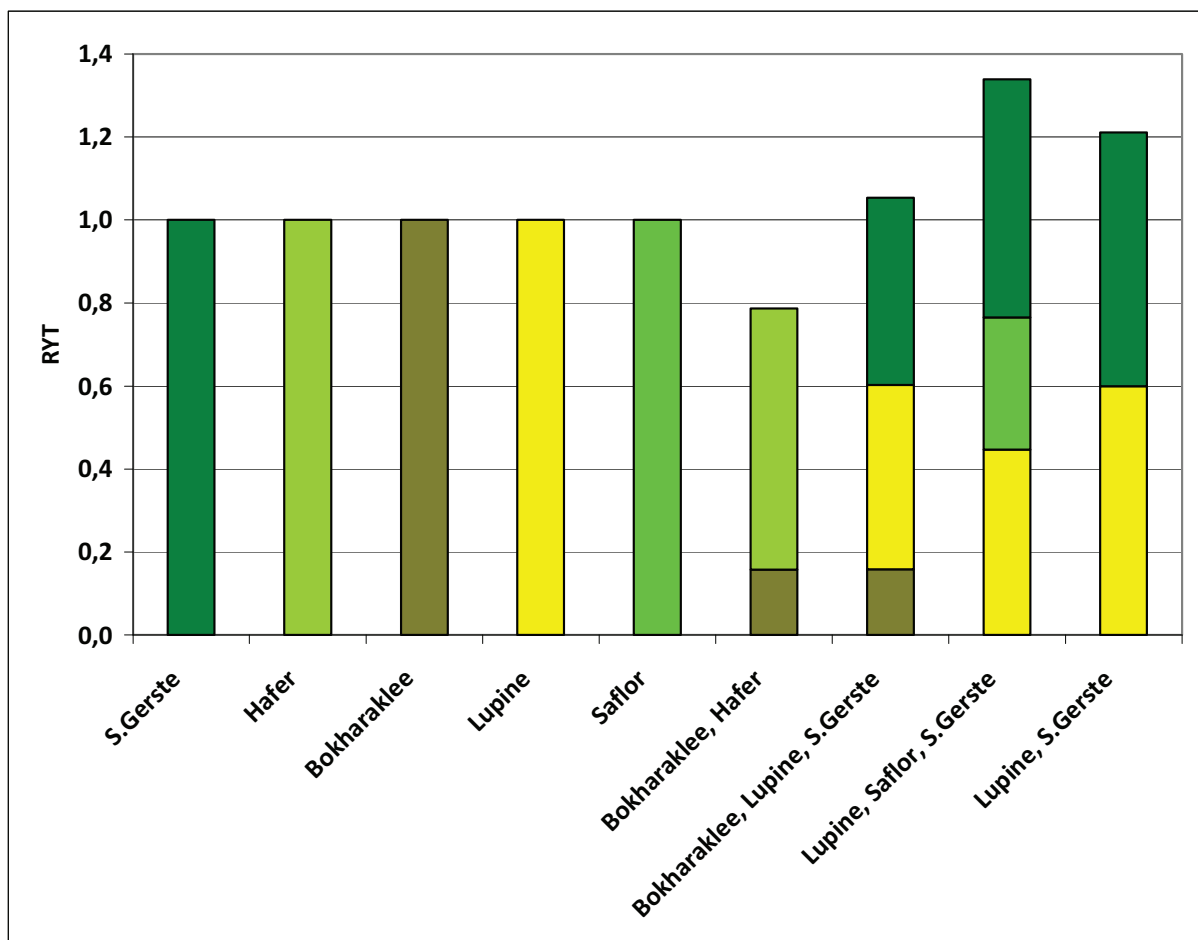


Abb. 32: Relativer Gesamtertrag (RYT) der Gemenge aus Lupine und Sommergerste mit Beimengungen von Saflor bzw. Bokharaklee gegenüber den jeweiligen Reinsaat der Standorte und Versuchsjahre

Im Vergleich der Mischung Lupine, Sommergerste und Bokharaklee mit dem Gemenge aus Lupine, Sommergerste und Saflor ist eine Steigerung des relativen Gesamtertrages der Sommergerste von 0,45 auf 0,57 bei vergleichbarer Saatstärke feststellbar (Abb. 32, Tab. 32), obwohl gleichzeitig der relative Gesamtertrag des Saflors gegenüber dem Steinklee zunimmt. Der Ertragsanteil der Lupine ist in beiden Gemengen nahezu konstant. In der Mischung aus Sommergerste und Lupine wurde die Aussaatstärke der Mischungspartner gegenüber den Gemengen mit dritter Mischungskomponente erhöht. Die Steigerung des relativen Gesamtertrages beider Gemengepartner kann damit begründet

werden. Trotzdem fällt der relative Gesamtertrag des gesamten Gemenges gegenüber der Mischung aus Sommergerste, Lupine und Saflor ab.

4.2.3.4 Methanerträge

Für die Berechnung der spezifischen Methanausbeuten aller Prüfglieder mit Saflor- und Bokharakleeanteilen muss berücksichtigt werden, dass die Werte zur Verdaulichkeit der Rohnährstoffe älterer Literatur entnommen wurde (NEHRING und BECKER, 1962) und somit nicht immer dem zur Ernte im Versuch tatsächlich festgestellten Vegetationsstadium entspricht.

Auch innerhalb dieser Ertragsgruppe kommt es durch die Abweichungen zwischen den Ermittlungsmethoden zu großen Unterschieden bezüglich der spezifischen Methanausbeute (bis zu 31 % bei dem Gemenge aus Bokharaklee, Lupine und Sommergerste). Die im Batchversuch ermittelten spezifischen Methanausbeuten der Gemenge aus Sommergerste, Lupine und Saflor bzw. Bokharaklee sind mit über 350 NI Methan pro kg oTM im Vergleich sehr hoch, während die rechnerisch ermittelten spezifischen Methanerträge dieser Prüfglieder sich entsprechend der Werte der Reinsaaten einordnen.

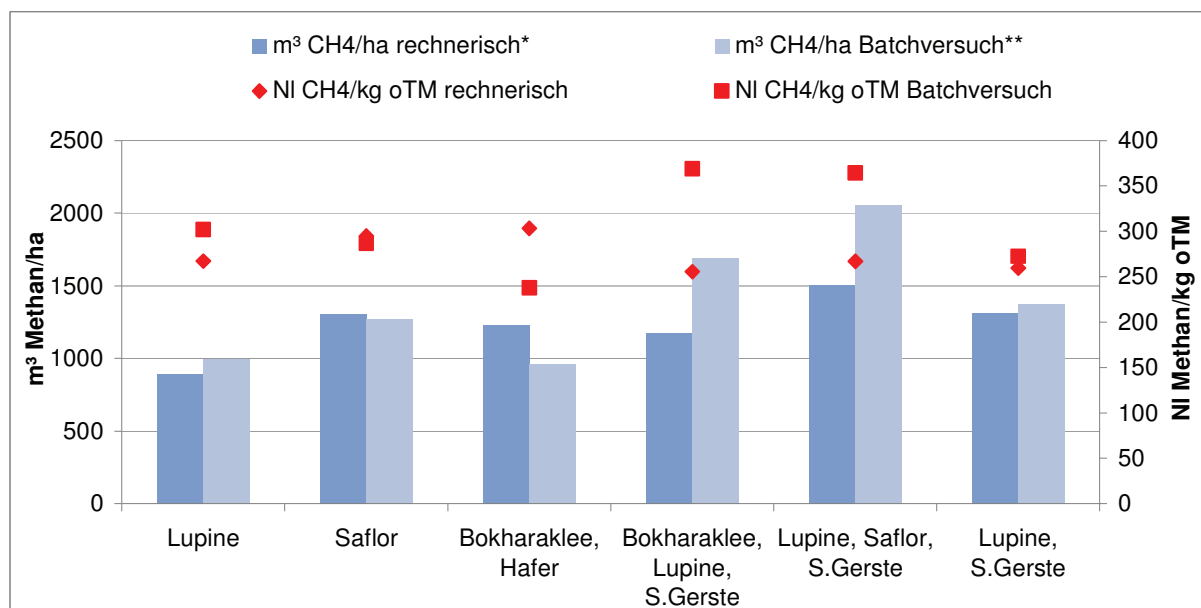


Abb. 33: Adjustierte Mittelwerte (n = 4) für die Methanerträge (m³/ha) Lupinenmischungen und Reinsaaten sowie die spezifischen Methanausbeuten (NI/kg oTM)

Dadurch kommt es zu großen Unterschieden bei der Einschätzung der flächenbezogenen Methanerträge. Trotz höherer Naturalerträge der Prüfglieder Lupine/Sommergerste werden mit dem Gemenge aus Lupine, Sommergerste und Bokharaklee höhere Flächenenerträge Methan erzielt, wenn

als Berechnungsgrundlage die spezifischen Methanerträge aus den Batchversuchen herangezogen werden.

4.2.3.5 Energiebilanz

Auch innerhalb dieser Ertragsgruppe lassen sich große Unterschiede zwischen den einzelnen Prüfgliedern feststellen. Sowohl die absolut bewerteten kumulierten Energieaufwendungen als auch die relativen Anteile der einzelnen Verfahrensabschnitte am Verfahren insgesamt weichen zwischen den Verfahren zum Teil deutlich ab. Die Differenzen bei „Bodenbearbeitung und Aussaat“ lassen sich auf unterschiedliche Aussaatstärken, die bei „Ernte und Transport“ auf den unterschiedlichen Transportanfall und abweichende Ernteverfahren zurückführen.

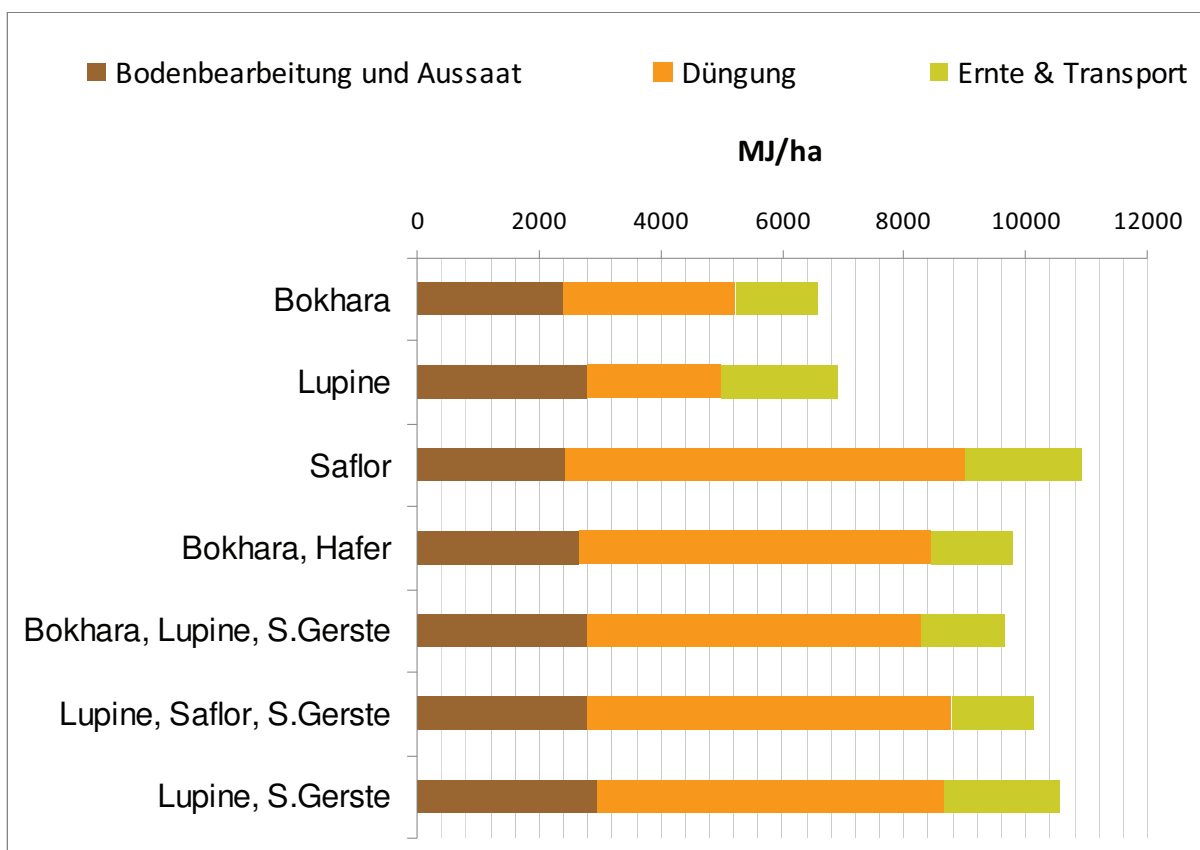


Abb. 34: Kumulierter Energieaufwand der Lupinenmischungen und Reinsaaten (Datengrundlage siehe Anhang)

Durch die unterschiedlichen Ansprüche der einzelnen pflanzenbaulichen Verfahren an eine mineralische Stickstoffdüngung und abweichende Nährstoffentzüge durch verschiedene Ertragsergebnisse ergibt sich bezogen auf die kumulierten Energieerträge eine ungleiche „Effizienz“ der einzelnen Prüfglieder. Bei der Lupine müssen 71 MJ aufgewendet werden, um eine dt Trockenmasse produzieren zu können. Das Verfahren Lupineanbau unterscheidet sich vor dem Hintergrund einer energetischen Bilanzierung von dem Verfahren Saflor dadurch, dass die

Färberdistel eine Stickstoffgabe von 80 kg pro ha erhalten hat, während die Lupine als Leguminose nicht mit mineralischem Stickstoff gedüngt wurde. Um mit dem Saflor eine dt Trockenmasse produzieren zu können müssen bei diesem Verfahren 157 MJ aufgewendet werden.

Dieser Unterschied zwischen den Verfahren wird auch in der Tab. 34 durch den Ertragsfaktor sichtbar. Trotz signifikanter Ertragsunterschiede zwischen den Prüfgliedern Lupine und Sommergerste wird pro aufgewendete Energie ein höherer Ertrag im Verfahren Lupineanbau realisiert.

Tab. 34: Energieertrag, kumulierter Energieaufwand und Ertragsfaktor Lupinenmischungen und Reinsaaten (Datengrundlage siehe Anhang)

Fruchtart	Brutto- energieertrag Methan	Netto- energieertrag	kumulierter Energie- aufwand	Ertragsfaktor
	GJ/ha			GJ/GJ
S. Gerste	49,72	38,87	10,85	3,58
Hafer	48,78	37,64	11,14	3,38
Bokharaklee	56,47	49,91	6,56	7,60
Lupine	32,09	25,19	6,89	3,65
Saflor	46,82	35,89	10,92	3,29
Bokharaklee, Hafer	44,01	34,22	9,79	3,50
Bokharaklee, Lupine, S. Gerste	42,15	32,50	9,65	3,37
Lupine, Saflor, S. Gerste	53,98	43,84	10,14	4,33
Lupine, S. Gerste	47,16	36,62	10,54	3,47

4.2.3.6 Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen

Die bereits besprochenen Verfahren Sommergerste, Hafer und Bokharaklee weisen die niedrigste Produktionsschwelle aller Verfahren dieser Ertragsgruppe auf (Abb. 35 vgl. Punkt 4.2.1.6 und 4.2.2.6). Unabhängig von den Nutzungskosten wird mit dem Gemenge aus Lupine, Saflor und Sommergerste eine günstigere Produktionsschwelle erreicht als mit den Reinsaaten Lupine und Saflor. Trotz der im Vergleich der Mischungen höchsten Produktionsschwelle des Gemenges aus Hafer und Bokharaklee wird nur mit diesem Verfahren ein positiver Deckungsbeitrag erreicht.

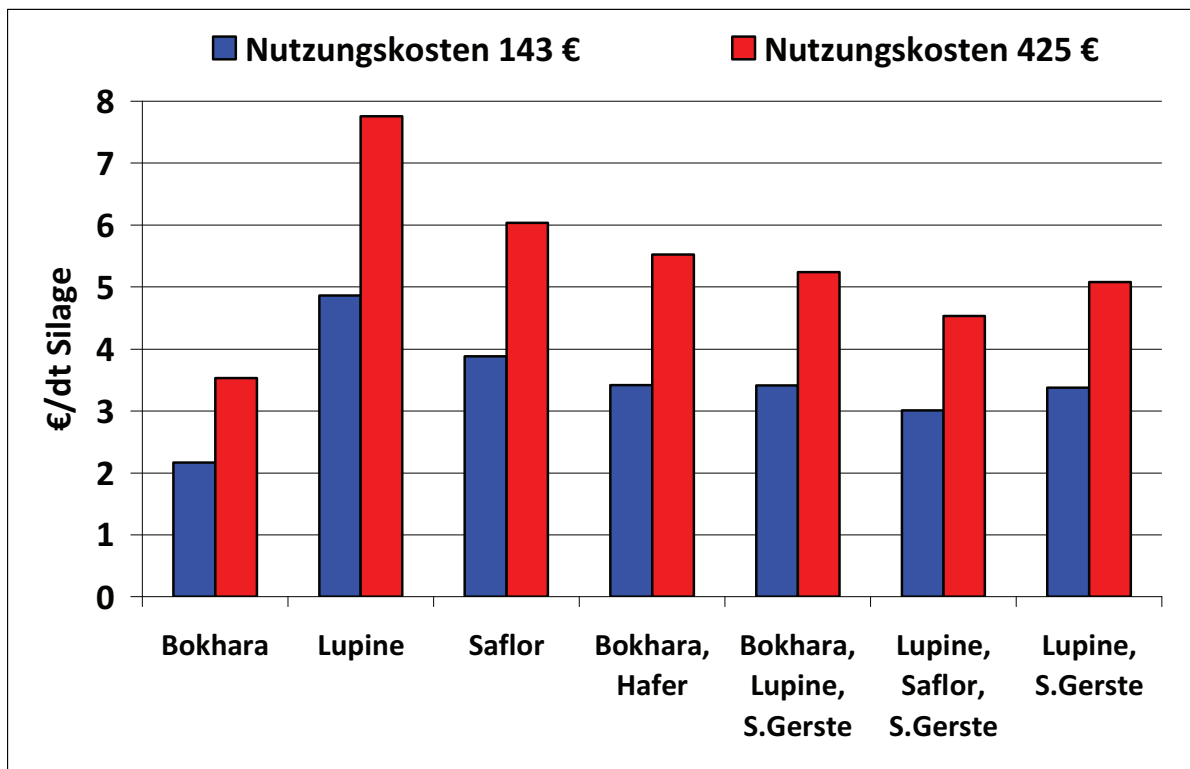


Abb. 35: Produktionsschwelle inklusive Nutzungskosten, Lohnanspruch und Energiepflanzenprämie Lupinenmischungen und Reinsaaten

Die Prozesskosten, d. h. die Summe aus Direktkosten, zuteilbaren Lohnkosten und variablen Maschinenkosten liegen bei dem Verfahren Bokharaklee/Hafer deutlich unter denen der übrigen Prüfglieder. Erst durch die Berücksichtigung der entgangenen Erlöse wirken sich die im Vergleich niedrigen Erträge dieses Gemenges negativ auf die relative Vorzüglichkeit aus. Die größten Unterschiede in den Kosten dieser Verfahren liegen beim Saatgut. Ähnlich wie durch die Zottelwicke beim Wickroggen wird auch bei den Gemengen mit Lupinenanteilen das wirtschaftliche Ergebnis durch die vergleichsweise hohen Saatgutkosten negativ beeinträchtigt.

5 Schlussfolgerungen

Durch die Literaturrecherche, den durchgeführten Experimenten, Analysen zur Pflanzenproduktion und Vegetationsbeobachtungen ergeben sich folgende Schlussfolgerungen:

Die gegenwärtige Pflanzenproduktion ist durch eine hohe Konzentration und Spezialisierung geprägt. Diese Entwicklung hat wirtschaftliche Gründe und steht einer nachhaltigen Landbewirtschaftung entgegen. Die attraktiven Marktfrüchte wie Qualitätsweizen und Winterraps nehmen in Deutschland fast zwei Drittel der Ackerfläche ein. Sehr bedenklich sind die erheblichen Einschränkungen des Anbaus von klein- und großkörnigen Leguminosen im Haupt- und Zwischenfruchtanbau und der Rückgang der sehr leistungsfähigen Hackfrüchte. Obgleich die gegenwärtigen Anbauverhältnisse in der Mehrzahl der Agrarbetriebe keine festen Fruchtfolgen zulassen, die erforderlichen Anbaupausen nicht eingehalten werden können und die Konzentrationsgrenzen für die einzelnen Feldfrüchte überschritten werden, kam es in den beiden letzten Jahrzehnten zu erheblichen Ertragssteigerungen (MAKOWSKI, 2009a). In Mecklenburg - Vorpommern betrugen die Ertragssteigerungen bei Winterraps 27%, bei Winterweizen 36%, bei Kartoffeln 42% und bei Zuckerrüben 44% (MAKOWSKI und GIENAPP, 2010). Von befragten Landwirten wurden folgende Gründe für die Steigerung der Naturalerträge genannt:

- Züchtungsfortschritte (Ertragspotenzial, Krankheitsresistenz)
- Moderne Agrartechnik mit geringerer Störanfälligkeit und Service
- Bedarfsgerechte Verfügbarkeit von Pflanzenschutzmitteln
- Optimierte Düngung (Stickstoff, Spurenelemente)
- Erkenntniszuwachs in der Produktionstechnik.

Aus den veränderten Anbauverhältnissen und der Ertragsentwicklung darf keinesfalls abgeleitet werden, dass Fruchtfolgen überholt und in der hoch technisierten modernen Pflanzenproduktion nicht mehr erforderlich sind. Durch den erzielten Erkenntnisfortschritt und seine praktikable Umsetzung in der Produktion hat sich die Bedeutung der Fruchtfolge gewandelt. Nach wie vor gilt, Monokultur möglichst zu vermeiden, da sie Biotope für spezifische Schaderreger schaffen. Auch wenn es gegenwärtig gelingt, mit Herbiziden, Insektiziden und Fungizide die Schaderreger erfolgreich zu bekämpfen, weisen Resistenzen und Akkumulationen von Agrochemikalien auf mögliche Grenzen eines artenarmen Pflanzenbaus hin. Eine artenreiche Fruchtfolge ist durch ein geringeres Schaderregerpotenzial charakterisiert und erfordert gegenüber einer artenarmen einen wesentlich geringeren Einsatz von Pflanzenschutzmitteln. Die Artenarmut in unseren Fruchtfolgen einerseits und

eine gewisse Unverträglichkeit der bevorzugt angebauten Arten untereinander andererseits stellen ein kardinales Problem in der derzeitigen Pflanzenproduktion da. Trotz der ökonomischen Erfordernisse und Notwendigkeiten dürfen von der optimalen Gestaltung des Agroökosystems keine Abstriche gemacht werden. In dem Zusammenhang kommt dem Bodenschutz, der Wahrung der Bodenfruchtbarkeit, dem Stoffkreislauf, der Einhaltung der Konzentrationsgrenzen aus phytosanitärer Sicht sowie der zeitlichen und räumlichen Folge der Feldfrüchte eine besondere Bedeutung zu. Neben zwingend notwendiger Fördermaßnahmen für den Anbau von klein- und großkörnigen Leguminosen stellt die Erweiterung des Artenspektrums im Anbauverhältnis eine wichtige Aufgabe der Gegenwart dar.

Da neben der Erzeugung von Grundstoffen für die menschliche Ernährung und die Tierfütterung zunehmend Biomasse für die energetische und stoffliche Nutzung gefragt ist, verbinden sich damit Hoffnungen und Wünsche für eine größere Diversität an anbauwürdigen Feldfrüchten.

Nach dem gegenwärtigen Stand erfüllen sich die Erwartungen jedoch nicht. Die oben genannten freigewordenen Flächen werden fast ausschließlich mit Silomais bestellt, da dieser mit Abstand die höchste Wirtschaftlichkeit der Biomasseproduktion garantiert. Durch die Erweiterung des Anbaues von Silomais schreitet eigentlich die Konzentration weniger Feldfrüchte in den Fruchtfolgen weiter voran. Abgesehen von den möglichen Schäden durch Monokultur (Wurzelbohrer, Zünsler) ist die Beeinträchtigung des Winterweizens durch *Fusarium* die größte Gefahr. Hinzu kommt, dass auch bei Rückführung der Gärreste in den Stoffkreislauf sich die Humusbilanz negativ gestaltet. Neue Lösungen sind insbesondere aus ökologischen Gründen zwingend erforderlich.

Aus den vorliegenden Arbeitsergebnissen kann abgeleitet werden, dass durch den Mischanbau zur Verbesserung der Situation in der Pflanzenproduktion und zur effektiven ökologischen Erzeugung von Biomasse für die Energiegewinnung beigetragen werden könnte. Die Formulierung erfolgt deshalb im Konjunktiv, weil durch die Kürze des Untersuchungszeitraumes und durch teilweise extreme Witterungseinflüsse auf die Feldversuche die wissenschaftliche Aussagefähigkeit der Ergebnisse begrenzt wurde.

Die Vorteile des Mischfruchtanbaues bestehen im Wesentlichen in einer Einschränkung von Krankheiten und Schädlingen, in der effektiveren Ausnutzung des Lichtes, in der gegenseitigen Beeinflussung der Pflanzen durch Blatt- und Wurzelausscheidungen, in der Anpassung an sehr differenzierte Standortverhältnisse, in der Konkurrenz gegenüber Unkräutern und in der Wachstums- und Entwicklungsförderung von Pflanzenbeständen (z.B. „Stützfrucht“). Kritisch betrachtet sind die aus der Literatur bekannten Erkenntnisse über die gegenseitige Beeinflussung unterschiedlicher

Feldfrüchte auf einem Feld ungenügend, sie haben einen mehr empirischen Charakter. Es bietet sich aus den eigenen Untersuchungen eine Reihe von Ansatzpunkten für weiterführende Forschungsarbeiten an.

Auf der Basis des derzeitigen Erkenntnisstandes ergeben sich für die Forschung, die landwirtschaftliche Praxis und für die Agrarverwaltung folgende Schlussfolgerungen:

5.1 Für die Agrarforschung

5.1.1 Ausbreitung von Krankheiten und Schädlingen

Darunter sind Untersuchungen zur Ausbreitung von Krankheiten und Schädlingen in Abhängigkeit der jeweiligen Artenmischungen (Gemenge) und die Erarbeitung von chemischen und biologischen Maßnahmen zur Verhinderung von Schadwirkungen zu verstehen. Es liegen fast keine wissenschaftlichen Ergebnisse zum Mischanbau aus der gegenwärtigen Pflanzenproduktion in den konventionell wirtschaftenden Agrarbetrieben vor, da die Marktfruchtproduktion ausschließlich mit Reinsaaten erfolgt. Positive Ergebnisse konnten in den 1980er Jahren durch Sortenmischungen im Braugerstenanbau in Ostdeutschland erzielt werden. Dabei ging es um die Verringerung von Schäden durch Pilzkrankheiten. In Süddeutschland und Österreich haben sich Interessengemeinschaften des ökologischen Landbaus gebildet, die ab Mitte der 1990er Jahre sehr erfolgreich Marktfrüchte (Getreide, Körnerleguminosen, Ölfrüchte) gemischt anbauen und verwerten. Die wissenschaftliche Begleitung entspricht nicht den Erfordernissen und infolgedessen gibt es kaum Informationen zum Auftreten von Krankheiten und Schädlingen und auch keine Hinweise zur Bekämpfung von Schaderregern. In den eigenen Experimenten traten bei einigen Varianten der Mischsaaten biotische Schäden auf, die eine Bekämpfung erfordert hätten, um Ertragsausfälle zu verhindern. Bei den Forschungsarbeiten sollte grundsätzlich beachtet werden, dass der Einsatz von Fungiziden und Insektiziden eher den Ausnahmefall darstellt, da bei der Biomasseproduktion höhere Schadschwellen geduldet werden können. Durch die in der Regel frühe Ernte der Grünschnittpflanzen kommt es auch nur in Ausnahmefällen zu Beeinträchtigungen durch Pilzkrankheiten und Insekten.

5.1.2 Herbizide für den Mischfruchtanbau

Die Verunkrautung stellt ein besonderes Problem bei der Biomasseproduktion mit Mischsaaten dar. Sie ist die größte Schwachstelle des Produktionsverfahrens Biomasseerzeugung mit Mischsaaten. Die Verunkrautung verhinderte häufig den normalen Aufwuchs und die weitere Entwicklung unterschiedlicher Bestände. Während in Reinsaaten problemlos und erfolgreich Herbizide eingesetzt

werden können, traten in der Regel bei Gemischen aus mono- und dikotylen Pflanzen erhebliche Schäden auf. Obgleich auch Experimente zum Einsatz von Herbiziden angelegt und durchgeführt wurden, konnten keine Lösungen zur Bekämpfung von Unkräutern in diesen Mischungen gefunden werden. Die Notwendigkeit, Insektizide und Fungizide im Mischanbau einzusetzen, ist wesentlich geringer als die des Einsatzes von Herbiziden. Aus ökologischen und wirtschaftlichen Gründen sollten in diese Forschungsaufgabe auch mechanische Maßnahmen wie der Schröpfschnitt einbezogen werden. Auf letztere wurde bereits im Rahmen der Pflegearbeiten der Feldversuche zurückgegriffen.

5.1.3 Stickstofftransfer im Mischfruchtanbau

Aus der Futterpflanzenforschung ist bekannt, dass Leguminosen durch Bakteriensymbiose ihren eigenen Stickstoffbedarf zu 50 bis 90 % selbst abdecken. Die absoluten Mengen belaufen sich bei Klee und Luzerne auf 100 bis 600 kg N / ha. Die Menge hängt von den Standortfaktoren und auch von der Untersuchungsmethode ab. Erhebliche Differenzierungen bestehen auch zwischen den Leguminosenarten.

In Gemischen mit anderen Pflanzen gehen die Leguminosen mit diesen unterschiedliche Wechselverbindungen ein. Die aus der Literatur bekannten Ergebnisse sind teilweise widersprüchlich. Sie reichen von der Konkurrenz bis zur gegenseitigen Förderung. Recht einheitlich sind die Ergebnisse zum N-Transfer von der Leguminose zum Graspartner. Durch Wurzelausscheidungen der Leguminose (N-Verbindungen) in die Bodenlösung und Mineralisierung abgestorbener Leguminosenteile steht der Partnerpflanze aufnehmbarer Stickstoff zur Verfügung. Die Minderung des pflanzenverfügbaren Stickstoffs soll sogar die N-Fixierung begünstigen. Es gibt aber auch gegenläufige Ergebnisse. Die Vielzahl der möglichen Mischungen mit sehr unterschiedlichen Leguminosen sollte in Hinblick auf ihre Praxiswirksamkeit Anlass sein, sich dieser Forschungsaufgabe vertieft zu widmen.

5.1.4 Standortspezifische Pflanzengemeinschaften

Diese Forschungsaufgabe beinhaltet im Prinzip die Fortsetzung und Vertiefung des vorliegenden Forschungsthemas. Die Mischungen mit Futterpflanzen folgen in ihrer Zusammensetzung uneingeschränkt den vieljährigen Erfahrungen des Futterbaus. Zunehmend werden in der Praxis, insbesondere im Ökolandbau in Süddeutschland und Österreich, Mischungen aus sogenannten „verloren gegangenen“ Pflanzen „(z. B. Leindotter, Saflor, Linsen u. a.) mit Getreide, Mais und Körnererbsen hergestellt. Nicht selten zählen die spontan zusammengestellten Mischungen bis zu fünf Partner. Dabei bleiben die Verträglichkeitsbeziehungen, wenn sie überhaupt bekannt sein

sollten, unberücksichtigt. Auch Differenzierungen in den Standortansprüchen werden unzureichend beachtet. Diese Entwicklung kann nicht befürwortet werden. Erforderlich ist ein schrittweises Vorgehen zur Ermittlung der Verträglichkeitsbeziehungen von Mischungen. Sind „passende“ Partnerschaften daraus ermittelt worden, können auf dieser Basis entsprechende standortspezifische Produktionsverfahren für die Praxis entwickelt werden.

5.1.5 Wiedereinführung „verloren gegangener“ Pflanzen.

Die von Bayern ausgehende erfolgreiche Wiedereinführung von Leindotter sollte dazu ermutigen, sich nochmals mit Pflanzen früherer Jahre zu befassen, die im Zuge der Entwicklung nicht mehr angebaut werden. In den viehlosen Ökobetrieben nahmen Körnerfuttererbsen in den Fruchtfolgen einen hohen Stellenwert ein. Von ihrem Anbau wurde Anfang der 1990er Jahre zunehmend Abstand genommen. Aufgrund der hohen Niederschläge in dieser Region konnten keine wirtschaftlich tragbaren Erträge erzielt werden. Die Aufgabe des Erbsenanbaues hätte auch das Ende vieler bäuerlicher Ökobetriebe bedeutet. Mit der Wiedereinführung des Leindotters im Mischfruchtanbau tat sich sogar für die Betriebe eine neue Perspektive auf. Vergleichbares soll mit der Wiedereinführung von Steinklee erreicht werden, wie aus dem Text der vorliegenden Arbeit hervorgeht. Es wäre wünschenswert, wenn in der Pflanzenbauwissenschaft nach den Ursachen für das Ausscheiden einiger früher weit verbreiteter Arten geforscht und ihre Eigenschaften ermittelt würden. Auf dieser Basis könnte zu einer Erhöhung der Artenvielfalt in den Fruchtfolgen beigetragen werden, wenn es um die Bereitstellung von Biomasse zur Energiegewinnung geht.

5.2 Für die Agrarverwaltung

5.2.1 Förderung von Leguminosen

Die Bilanz des Anbaus von Leguminosen ist erschreckend. Gegenwärtig nehmen sie auch in ganz Deutschland weniger als ein Prozent des Ackerlandes ein. Obgleich die ackerbaulichen Vorteile der Leguminosen offensichtlich sind, lässt sich die Entwicklung in den Agrarbetrieben aus wirtschaftlichen Gründen nachvollziehen. Selbst bei hohen Erträgen wird gegenwärtig keine Wirtschaftlichkeit bei Körnerleguminosen erreicht. Der Wert der Leguminosen kann nicht allein am Ertrag gemessen werden, sondern wesentlich ist ihr Beitrag an der Bodenfruchtbarkeit. Nach Abdeckung des Eigenbedarfs verbleiben etwa 30 bis 60 kg N/ha für die Nachfrucht. Diese Leistungen der Körnerleguminosen sind nicht hoch genug zu bewerten, wenn man den hohen Energieaufwand für die Herstellung von N-Mineraldüngern berücksichtigt.

Aus Gründen einer nachhaltigen Landwirtschaft, des Umweltschutzes und im Interesse der Einsparung von N-Mineraldüngern (CO₂-Bilanz) sind deutlich bessere Fördermaßnahmen durch die EU für Leguminosen erforderlich. Die neuen Fördermaßnahmen müssten auch Gemische von groß- und kleinkörnigen Leguminosen mit Getreide, Gräsern und Ölfrüchten einschließen.

5.2.2 Förderung „verloren gegangener“ Feldfrüchte.

Im Verlauf der letzten 50 Jahre haben sich in Deutschland die Anbauverhältnisse erheblich verändert. Durch die hohe Konzentration marktgängiger Kulturen haben weniger attraktive Feldfrüchte ihre Anbauberechtigung verloren. Auch Veränderungen in der Nutzung der Pflanzen trugen zu dieser Entwicklung bei. In der vorliegenden Arbeit zählt der Steinklee zu diesen Pflanzen, die nicht mehr angebaut werden. Ursache war der hohe Kumaringehalt, der die Aufnahme durch die Rinder erheblich einschränkte. In Anbetracht der gestiegenen Milchleistung wurde zur Bedarfsdeckung auf andere Futtermittel ausgewichen. Aus ackerbaulicher Sicht stellte das auf den Sandböden aber einen großen Verlust dar. Keine Feldfrucht ist auf trockenen Sandböden zu so hohen Biomasseleistungen befähigt wie der Steinklee. Heute bietet er sich zur Nutzung für die Energieerzeugung an. Diese „verlorenen“ Pflanzen haben den Nachteil, dass sie in den letzten Jahrzehnten auch nicht züchterisch bearbeitet wurden. Die private deutsche Pflanzenzüchtung muss sich nach dem Markt richten und dieser ist für die genannten Pflanzen gegenwärtig nicht aufnahmefähig, nicht vorhanden. Um die guten genetischen Eigenschaften sowohl für die hochintensive als auch für die ökologische Landwirtschaft zu nutzen, sind entsprechende Programme zur Wiedereinführung aufzulegen und zu fördern. Darin müssen züchterische Arbeiten und Ziele sowie Projekte zur Ausschöpfung des Ertragspotenzials dieser Pflanzen enthalten sein. Ohne Fördermaßnahmen wird keine Wiedereinführung erfolgen können. Diese Förderung geht über die Belange der Landwirtschaft hinaus, sie ist ein Beitrag zur Wahrung der deutschen Agrarkultur.

5.3 Für die landwirtschaftliche Praxis

5.3.1 Winterzwischenfrüchte

Beim Anbau von Winterzwischenfrüchten sollte weiterhin an dem schon als klassisch geltenden Winterroggen festgehalten werden. Vergleichbar hohe Erträge werden auch mit Wintergerste in Reinsaat erzielt. Diese hat jedoch den Nachteil, dass sie aufgrund ihrer frühen Saatzeitanprüche schwerer in die Fruchtfolgen einzuordnen ist. Nach Feldfrüchten mit zeitiger Feldräumung müssen vorrangig die wirtschaftlich attraktiven Kulturen wie Weizen und Raps folgen. Außerdem ist bei den

derzeitigen Anbauverhältnissen, z. B. hohe Konzentration von Weizen und Gerste, aus phytosanitärer Sicht der Roggen zu bevorzugen.

Von den geprüften Mischungen sind nur der Wickroggen und die als Mischung geplante Variante Winterroggen und Steinklee (Winterroggen Dünnsaat) mit den Reinsaaten wettbewerbsfähig. Empirisch können bei diesen Varianten etwa 20 % des erforderlichen Stickstoffs eingespart werden. Wirtschaftliche und ökologische Vorteile sprechen bei den Winterzwischenfrüchten für die Mischsaat. Erfreulich ist das gute Abschneiden des Wickroggens. Obgleich die Prüfung dieser Mischfrucht nicht auf trockenem Sandboden erfolgte, wird unter Einbeziehung der Ergebnisse der Literaturrecherche der Wickroggen für diese Standorte empfohlen. Landsberger Gemeinde, das ursprünglich für Trockengebiete zur Heugewinnung entwickelt wurde, erreicht nicht die Naturalerträge der Winterungen. Das trifft auch für weitere Gemische von Futterpflanzen zu. Mit letzteren konnte auch unter ungünstigen Jahresbedingungen keine höhere Ertragssicherheit erreicht werden.

5.3.2 Sommerkulturen

Bei den Sommerungen steht der Silomais mit seiner Biomasseleistung mit Abstand an der Spitze. Der real einschätzbare Züchtungsfortschritt wird zu einer weiteren Anbauausweitung führen. Aus dem Blickwinkel der Fruchtfolgegestaltung ist diese Entwicklung nicht positiv zu werten. Durch eine zu hohe Konzentration könnte es zu einer Beeinträchtigung des Qualitätsweizenanbaus durch die Übertragung von Fusariosen kommen. Die Phytopathologen befassen sich mit der Problematik. Gegenwärtig sollten die Mais- und Weizenschläge kontinuierlich überwacht werden.

Weder der Sommerroggen noch alle anderen geprüften Sommerungen erreichen das Ertragsniveau des Mais. Bemerkenswert ist die Ertragsleistung der Mischung von Mais mit Steinklee. Mit dieser Mischfruchtvariante dürften auf den trockenen Sandböden, die nicht maissicher sind, ansprechende Biomasseerträge zu erreichen sein. Bis zu einer Empfehlung des Mischanbaus von Mais und Steinklee sind weitere produktionstechnische Untersuchungen notwendig. Der relative Gesamtertrag dieses Gemenges deutet darauf hin, dass das Ertragspotenzial der Mischungspartner in der Mischung gegenüber einer Reinsaat aufgrund sehr unterschiedlicher Faktoransprüche in dieser Weise nicht genutzt werden kann.

5.3.3 Unkrautbekämpfung

Die Unkrautbekämpfung stellt ein besonderes Problem bei den Mischsaaten dar. Darauf wurde bereits mehrmals verwiesen. Für die Reinsaaten – mit Ausnahme der „verloren gegangenen“ Kulturen - gibt es in der Regel Zulassungen und Anwendungsvorschriften für Herbizide. Für Mischsaaten existieren keine chemischen Unkrautbekämpfungsmaßnahmen. Die Möglichkeiten mit mechanischen Maßnahmen die Unkrautkonkurrenz (Unkrautstriel, Schröpschnitt) auszuschalten, sind begrenzt. Die beste Möglichkeit, die Unkräuter auszuschalten, ist, konkurrenzstarke Bestände zu schaffen. Das gelingt am ehesten durch eine optimale Bodenbearbeitung, ausreichende Düngung und eine termingerechten Aussaat. Können diese Parameter nicht eingehalten werden, muss mit beachtlichen Abstrichen bei den Biomasseerträgen gerechnet werden.

5.3.4 Methanerträge

Der Methanertrag je Flächeneinheit hängt entscheidend vom erzielten Naturalertrag ab. Es empfiehlt sich, bei den Winterungen auf Reinsaat von Winterroggen und bei Mischbau auf Wickroggen zu orientieren. Wichtig ist, dass durch optimierte Produktionstechnik eine hohe Ausschöpfung des Ertragspotenzials angestrebt wird. Von den Sommerungen gilt der Silomais als die beste Nutzpflanze zur Methangewinnung. Auf den trockenen Sandböden sollten die Landwirte nach durchgeführten Praxisexperimenten Mischungen von Mais und Steinklee erproben. Da auch das Substrat Einfluss auf die Methanausbeute hat, ergeben sich in der Ausbeute von Methan bei den Mischungen mit Leguminosen einige Abstriche. Es empfiehlt sich, bei den Entscheidungen über die Mischungen neben den Naturalerträgen die substratabhängige Methanausbeute, die N-Düngemiteileinsparung und die Produktionskosten zu berücksichtigen. Nach bisher vorliegenden Ergebnissen kann bei beschriebenen Standortbedingungen mit folgenden Methanerträgen je Hektar gerechnet werden:

Tab. 35: Rechnerische Methanflächenenerträge der untersuchten Varianten

Winterzwischenfrüchte		Sommerkulturen	
Fruchtart	m ³ CH ₄ /ha	Fruchtart	m ³ CH ₄ /ha
W. Roggen	1571	Mais	2697
W. Roggen (Herbizid)	1555	Sudangras	1531
W. Roggen (Dünnsaat)	1381	S. Roggen	1821
W. Gerste	1440	S. Gerste	1385
W. Gerste (Herbizid)	1530	Hafer	1359
Welsches Weidelgras	1081	Saflor	1304
W. Rübsen	700	Lupine	894
Inkarnatklee	659	Bokharaklee	1573
W. Wicke	424	S. Roggen, S. Gerste, Hafer	1594
Wickroggen	1476	Bokharaklee, Mais	2116
Kleegrass	1086	Bokharaklee, Sudangras	1086
Landsberger Gemenge	967	Bokharaklee, Hafer	1226
W. Gerste, W. Rübsen	995	Bokhara., Lupine, S. Gerste	1175
W. Gerste, W. Rübsen, W. Wicke	1057	Lupine, S. Gerste	1314
		Lupine, S. Gerste, Saflor	1504

5.3.5 Wirtschaftlichkeit

In Tabelle 36 sind die bereinigten Stückkosten nochmals tabellarisch dargestellt. Im Vergleich mit der Produktionsschwelle wurden keine Nutzungskosten berücksichtigt. Dadurch verändert sich die relative Vorzüglichkeit einzelner Varianten. Bei den Winterzwischenfrüchten sind die bereinigten Stückkosten des Wickroggens beispielsweise höher als die des Kleegrases. Ebenso wie die Produktionsschwelle dienen in dieser Untersuchung auch die bereinigten Stückkosten als Orientierungshilfe. Genauere Berechnungen müssen einzelbetrieblich erfolgen. Dabei spielen die

Nutzungskosten eine gewichtige Rolle. Auch wenn für den Sommerroggen niedrigere bereinigte Stückkosten als für den Silomais ausgewiesen sind, ist anhand der Tabelle 35 leicht zu erkennen, dass der Landwirt zur Produktion einer durch die Betriebsbedingungen vorgegebenen Methanmenge mehr als 30 % Ackerfläche für die Biogasproduktion binden muss, wenn er auf Sommerroggen statt Silomais als Co-Substrat zur Versorgung seiner Biogasanlage setzt. Stimmen die einzelbetrieblichen Voraussetzungen für die Teilnahme an Förderprogrammen des Landes, wie z. B. erosionsmindernder Ackerfutterbau oder Winterbegrünung mit Mulch- und Direktsaatverfahren, kann sich die Wertigkeit einzelner Kulturen nochmals verschieben.

Tab. 36: Bereinigte Stückkosten der untersuchten Varianten

Winterzwischenfrüchte		Sommerkulturen	
Fruchtart	€/m³ CH₄*	Fruchtart	€/m³ CH₄*
W. Roggen	0,23	Mais	0,25
W. Roggen (Herbizid)	0,25	Sudangras	0,31
W. Roggen (Dünnsaat)	0,29	S. Roggen	0,21
W. Gerste	0,27	S. Gerste	0,29
W. Gerste (Herbizid)	0,28	Hafer	0,27
Welsches Weidelgras	0,29	Saflor	0,32
W. Rübsen	0,52	Lupine	0,42
Inkarnatklée	0,52	Bokharaklee	0,24
W. Wicke	0,97	S. Roggen, S. Gerste, Hafer	0,24
Wickroggen	0,29	Bokharaklee, Mais	0,28
Kleegras	0,28	Bokharaklee, Sudangras	0,34
Landsberger Gemenge	0,37	Bokharaklee, Hafer	0,30
W. Gerste, W. Rübsen	0,40	Bokharaklee, Lupine, S. Gerste	0,39
W. Gerste, W. Rübsen, W. Wicke	0,42	Lupine, S. Gerste	0,37
		Lupine, S. Gerste, Saflor	0,33

*auf Basis der Direkt- und Arbeitserledigungskosten

6 Zusammenfassung

1. Die experimentellen Untersuchungen zum Mischfruchtanbau erstreckten sich über den Zeitraum von 2005 bis 2007. Auf zwei Versuchsstandorten in Mecklenburg-Vorpommern wurden dazu exakte Feldversuche auf sandigen Böden (AZ von 25 bis 30) durchgeführt. In den Experimenten wurde der Ansatz verfolgt, mit Mischungen aus Getreide, Leguminosen und Ölpflanzen eine größere Ertragssicherheit bei gleichzeitig höheren Erträgen und reduziertem mineralischen Stickstoffeinsatz zu erreichen.
2. Bei der mathematisch-statistischen Auswertung der Einzelversuche ist die PIAFStat-Software, die als Bindeglied zwischen PIAF (Planungs-, Informations- und Auswertungssystem für das Feldversuchswesen) und SAS (Statistical Analysis System) fungiert, zur Anwendung gekommen. PIAF ist eine Windows-Anwendung, die bei der Versuchsplanung und Auswertung der entsprechenden öffentlichen Stellen in Deutschland genutzt wird und somit einen breiten Einsatz findet.
3. Im Mittel der Jahre und Standorte wurden mit den Winterkulturen Wintergerste und Winterroggen sowie Wickroggen und Winterroggen/Bokharaklee die höchsten Erträge erzielt. Beim Wickroggen und Winterroggen/Bokharaklee ist zu berücksichtigen, dass diese Prüfglieder trotz einer um 20 % verminderten Stickstoffdüngung an die Erträge der Reinsaaten heranreichten. Damit können sie bei steigenden Düngemittelpreisen gegenüber dem Winterroggen in Reinkultur an Vorzüglichkeit gewinnen. Die übrigen Mischungen blieben hinter den Ertragserwartungen zurück und brachten auch im Hinblick auf die Ertragssicherheit keinen Vorteil.
4. Ackerfuttermischungen aus Landsberger Gemenge und Klee gras lieferten zusammen mit Welschem Weidelgras bei mehrmaliger Schnittnutzung bei den hohen Niederschlagsmengen 2007 die höchsten Gesamterträge. 2006 konnte aufgrund der Sommertrockenheit nur ein einmaliger Schnitt erfolgen. Das schränkte die Ausschöpfung des Ertragspotenzials erheblich ein. Die Leistungen der Wintergetreidearten werden nicht erreicht.
5. Bei den Reinsaaten und Gemengen der Sommerkulturen schwankten die Ertragsleistungen zwischen den Jahren und den einzelnen Versuchsstandorten erheblich. Mais steht in der Biomasseleistung unangefochten an der Spitze. Die Mischung aus Mais und Bokharaklee brachte höhere Erträge als Sommerroggen, Reinsaat - Bokharaklee und die Sommergetreidemischung. Auch Sommergerste, Lupine und Saflor erwiesen sich für den Mischfruchtanbau als geeignet. Die

Ertragsüberlegenheit gegenüber Sommergerste-Reinsaat war im trockenen Jahr 2007 deutlicher ausgeprägt.

6. Die Ertragsunterschiede zwischen den Jahren waren in der Regel höher als zwischen den einzelnen geprüften Varianten, z. B. wurden im Mittel mit Wickroggen 51,23 dt TM/ha und im Höchstertragsbereich nahezu 75 dt TM/ha geerntet.
7. Der relative Gesamtertrag als Maßzahl zur Darstellung der komplementären Nutzung der Wachstumsfaktoren durch die Mischungspartner wurde für die untersuchten Varianten dargestellt. Bei den Winterkulturen ist der relative Gesamtertrag bei Mischungen mit Winterwickenanteil immer positiv. Die relative Ertragsleistung der Winterwicke im Gemenge liegt höher als in Reinsaat. Besonders deutlich zeigt sich dieser Effekt bei der Mischung aus Winterroggen und Winterwicke mit einem relativen Ertragsanteil der Wicke von 126 % bei halbierten Saatstärke gegenüber der Reinsaat. Einen negativen relativen Gesamtertrag weist das Gemenge aus Wintergerste und Winterrüben auf.

Bei den Sommerkulturen sind die relativen Gesamterträge mit Lupinenanteilen ebenfalls positiv. Ebenso wie bei der Winterwicke sind die Konkurrenzverhältnisse in den Lupinengemengen ausgeglichen und führen zu einem relativen Mehrertrag. Umgekehrt ist der relative Gesamtertrag der Mischung aus Mais und Bokharaklee kleiner 100 %. Der Schluss liegt nahe, dass die Konkurrenz um Wachstumsfaktoren sich negativ auf den relativen Gesamtertrag des Gemenges gegenüber der Reinsaat auswirkt.

8. Die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung erfolgt anhand der Produktionsschwelle. Einflussgrößen sind Naturalertrag, Direkt- und Arbeitserledigungskosten sowie Opportunitätskosten, die allerdings nicht bei den Winterzwischenfrüchten angesetzt werden. Analog zu den Ergebnissen der Naturalerträge wird die günstigste Produktionsschwelle bei den Winterzwischenfrüchten mit dem Winterroggen und dem Wickroggen erreicht. Bei den Sommerungen in Reinsaat sind bei hohen Opportunitätskosten der Mais vor dem Bokharaklee und Sommerroggen und bei niedrigen Opportunitätskosten die genannten Prüfglieder in umgekehrter Reihenfolge die günstigsten Varianten. Bei den Mischsaaten sind es die Mischungen aus Mais und Bokharaklee sowie das Sommergetreidegemenge.
9. Werden für die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung die über die Jahre gemittelten Erträge der einzelnen Standorte zugrunde gelegt, lassen sich unterschiedliche Anbaustrategien darstellen. Auf dem Standort AZ 25 ist die Produktionsschwelle des Sommerroggens bzw. Bokharaklees - unabhängig von den Nutzungskosten - günstiger als die der Variante Mais. Umgekehrt ist der

Ertragsunterschied zwischen den Varianten auf dem Standort AZ 30 ausreichend groß, sodass auch bei geringen Nutzungskosten Mais die Kultur der Wahl ist. Im Vergleich der Mischungen aus Mais und Bokharaklee und Sommerroggen, Sommergerste und Hafer ist die Produktionsschwelle des Sommergetreidegemenges auf jedem Standort und innerhalb der dargestellten Spanne der Nutzungskosten günstiger.

10. Die bereinigten Stückkosten je m^3 -Methan der geprüften Varianten schwanken zwischen 0,23 bis 0,97 €/m³ bei den Winterzwischenfrüchten und 0,21 bis 0,42 €/m³ bei den untersuchten Prüfgliedern der Sommerung. Auf der Grundlage der über die Jahre und Standorte gemittelten Erträge und der daraus rechnerisch ermittelten Methanerträge sowie der Direkt- und variablen Arbeitserledigungskosten der einzelnen Varianten wurden die günstigsten bei den Reinsaaten von Sommerroggen, Bokharaklee und Mais mit 0,21, 0,23 und 0,25 €/m³ und den Mischsaaten aus Sommerroggen, Sommergerste und Hafer sowie Mais und Bokharaklee mit 0,24 und 0,28 €/m³ erreicht.
11. Die spezifischen Methanausbeuten wurden nach SCHATTAUER und WEILAND (2005) berechnet. Darüber hinaus wurden Batchversuche zur Ermittlung der Methanpotenziale durchgeführt. Die spezifischen Methanausbeuten hängen von der Verdaulichkeit der Rohnährstoffe ab, die wiederum im Zusammenhang mit dem Reifestadium zu sehen sind. Eine Verbindung zwischen spezifischen Methanausbeuten und Mischsubstraten lässt sich aus dem Datenmaterial nicht erkennen. Höchste spezifische Methanerträge berechnen sich für die Gemenge aus W. Rübsen/W. Gerste (343 NI CH₄/kg oTS) und Hafer/Bokharaklee bei den Sommerkulturen (303 NI CH₄/kg oTS). Die niedrigsten spezifischen Methanerträge werden mit Sudangras und W. Gerste erzielt (244 und 258 NI CH₄/kg oTS). Abweichungen bei den Ergebnissen aus den Batchversuchen zwischen den Varianten lassen sich nicht immer schlüssig erklären. Bei dem Gemenge aus Bokharaklee, Lupine und S. Gerste werden 256 NI CH₄/kg oTS rechnerisch und 369 NI CH₄/kg oTS im Batchversuch erzielt. Es wird vermutet, dass die Probenhomogenisierung einen großen Einfluss auf die Methanausbeuten im Modell hat.
12. Der Methanflächenertrag wird von den spezifischen Methanausbeuten (NI CH₄/kg oTS: rechnerisch ermittelt) und den Naturalerträgen der einzelnen Varianten bestimmt. Hohe Naturalerträge lassen grundsätzlich hohe Methanerträge erwarten. Die höchsten Flächenerträge werden bei den Winterzwischenfrüchten mit Winterroggen (1571 m³ CH₄/ha) und bei den Sommerkulturen mit dem Mais (2697 m³ CH₄/ha) erzielt. Trotz höchster Methanflächenerträge ergibt sich gegenüber Sommerroggen erst ab Methanerlösen von 0,35 € je m³ Methan ein

höherer Deckungsbeitrag je Hektar, da die Prozesskosten beim Mais deutlich höher sind, als bei der Getreidevariante.

13. Die in dieser Untersuchung aufgeführten Energiebilanzen wurden auf der Grundlage der berechneten Methanerträge (Bruttoenergieertrag) einerseits und den ermittelten Aufwendungen der Verfahrensabschnitte Bodenbearbeitung/Aussaat, Düngung, Pflanzenschutz, Ernte und Transport (kumulierte Energieaufwendung) erstellt. Die Differenz aus Bruttoenergieertrag und kumulierte Energieaufwendungen wird als Nettoenergieertrag angegeben, der Quotient aus kumulierter Energieaufwendung und Nettoenergieertrag gibt an, wie viel Energie je eingesetzter Energie durch das Verfahren gewonnen werden kann (Ertragsfaktor).
14. Dem Verfahrensabschnitt „Düngung“ kommt die größte Bedeutung zu. Einerseits wird dieser Verfahrensabschnitt durch die Stickstoffdüngung, andererseits durch die Naturalerträge und damit verbundenen Entzüge der Nährstoffe Phosphor, Kalium, Magnesium und Kalzium beeinflusst. Bei den Winterkulturen werden Ertragsfaktoren zwischen 1,13 (W. Rübsen) und 4,59 GJ/GJ (W. Gerste mit Herbizid) erreicht. Dieser Unterschied ist einerseits auf die höhere Stickstoffdüngung des W. Rübens und andererseits auf den geringen Ertrag –auch infolge des im Vergleich zur Wintergerste sehr frühen Schnittes – zurückzuführen. Für den Winterroggen als Winterzwischenfrucht errechnet sich ein Ertragsfaktor von 3,94 GJ/GJ. Der Ertragsfaktor der Prüfglieder Winterroggen und Wickroggen ist vergleichbar. Die geringfügig höheren Bruttoenergieerträge der Reinsaat werden durch eine Reduzierung der Stickstoffdüngung um 20 kg pro ha bei der Mischung ausgeglichen.
15. Gemessen an allen untersuchten Prüfgliedern ist der Bokharaklee die Variante mit der höchsten Energieeffizienz (7,6 GJ/GJ). Im Vergleich wurden hohe Naturalerträge ohne mineralische Stickstoffdüngung erreicht. Die Ertragsfaktoren von Mais und Sommerroggen liegen bei 5,35 bzw. 5,03 GJ/GJ. Bei den Mischungen wurden mit den Varianten Mais/Bokharaklee, dem Sommergetreidegemenge und Lupine/Saflor/Sommergerste Ertragsfaktoren von 5,04, 4,10 und 4,33 GJ/GJ berechnet.
16. Die aus der deutschsprachigen Literatur bekannten agronomischen Eigenschaften des Bokharaklees konnten durchgängig in den Experimenten nicht bestätigt werden. Das betrifft besonders den Produktionsabschnitt Aussaat. In Nordostdeutschland kann die Frühljahrsaussaat als optimaler Saatzeitpunkt angesehen werden. Der späteste Aussaattermin liegt nach der

Körnerernte Wintergerste. Die Ausbildung einer kräftigen Pfahlwurzel ist für die Überwinterung entscheidend.

17. Von den „verloren gegangenen“ Pflanzen dürfte der Bokharaklee auf den Sandböden wieder Anbauberechtigung erhalten, da er als massewüchsige Leguminose für Low-Input-Systeme prädestiniert scheint. Das gilt sowohl für den Rein- als auch für den Mischanbau.
18. Die Frage nach Reinsaat oder Gemenge kann generell nicht beantwortet werden. Der erzielte Züchtungsfortschritt hat die Reinsaat begünstigt. So ist beispielsweise der Sommerroggen auf beiden Versuchsstandorten leistungsfähiger als das traditionelle Dreiergemisch (Roggen/Gerste/Hafer).
19. Da die Experimente nicht auf trockenen, grundwasserfernen Sandböden durchgeführt wurden und die Prüfzeit kurz war, traten mögliche Reaktionen (Überlegenheit der Mischsaat), die aus der Literatur bekannt sind, nicht ein.

7 Literatur

- AARSEN, L. W. (1983): Ecological combining ability and competitive combining ability in plants, *The American Naturalist* 112, 707-731
- Adam, L. (2008): Zu Hirse wechseln, in *Bauernzeitung* 13 / 2008 (vom 20.03.2008), S. 29 - 30
- AGÖL (2003): Projekt zur Sicherung gentechnikfreier Pflanzenzüchtung für den Ökologischen Landbau
- ANDERSON T.-H., DOMSCH K. H. (1989): Ratios of microbial biomass carbon to total organic carbon in arable soils. *Soil Biology & Biochemistry* 21, 471-479.
- ANDOW, D. A. (1991): Vegetational diversity and arthropod population response. *Annual Review of Entomology* 36: 561 – 586. In: ULBER, B. und KÜHNE S. (2007): Schädlingbefall an Raps in Rein- und Mischfruchtanbau im ökologischen Landbau: 96-107. Hrsg.: PAULSEN M. und SCHOCHOW, M. (2007): Anbau von Mischkulturen mit Ölpflanzen zur Verbesserung der Flächenproduktivität im ökologischen Landbau – Nährstoffaufnahme, Unkrautunterdrückung, Schaderregerbefall und Produktqualitäten. *Landbauforschung Völkenrode, Braunschweig*
- ANONYMUS (2002 – 2006): Statistische Jahrbücher über Ernährung, Landwirtschaft und Forst, Landwirtschaftsverlag GmbH, Münster-Hiltrup
- ANONYMUS (2004): Düngung: Hinweise und Richtwerte für die landwirtschaftliche Praxis – Leitfaden zur Umsetzung der Düngeverordnung. Crivitz
- ARMAN, B. (2003): Die Ökobilanz zur Abschätzung von Umweltwirkungen in der Pflanzenproduktion. Universität Hohenheim, 260 S.
- ASMUS, F. (1992): Einfluss organischer Dünger auf Ertrag, Humusgehalt des Bodens und Humusreproduktion. *Berichte über Landwirtschaft, Sonderheft 206, Bd. 4, Humushaushalt*, S. 127 – 139. Verlag Paul Parey, Hamburg und Berlin
- AUFHAMMER, W. (1999): Mischanbau von Getreide- und anderen Körnerfruchtarten, Eugen Ulmer Verlag, Stuttgart
- BACKHAUS, T. (2001): Betrachtungen zur Getreideproduktion in Mecklenburg - Vorpommern zwischen 1900 und 2000, Dissertation
- BAEUMER, K. (1994): Verfahren und Wirkung der Bodenbearbeitung; S. 68 – 87. In: DIERKS, R., HEITEFUSS, R. (Hrsg.) (2004): *Integrierter Landbau*, München
- BALESDENT, J., CHENU C, BALABANE, M. (2000): Relationship of soil organic matter dynamics to physical protection and tillage, *Soil Till. Res.*, 53: S. 215-230
- BÄR, A. (1987): Retten Untersaaten den Maisanbau. *Mais* 2/87
- BECK T. (1990): Der Einfluss langjähriger Bewirtschaftungsweise auf bodenmikrobiologische Eigenschaften. *Kali-Briefe (Büntehof)* 20, S. 17-29.
- BECKER, M. und NEHRING, K. (1969): *Handbuch der Futtermittel*. Verlag Paul Parey, Hamburg und Berlin
- BECKER-DILLINGEN, J. (1929): *Handbuch des Hülsenfruchtanbaues und Futterbaues*, Verlag Paul Parey, Berlin

- BENKE, M. (2006): Ackergräser und Leguminosen- Grasgemenge, S. 237 – 262. In: Energiepflanzen (2006): Hrsg.: KTBL, Darmstadt und ATB, Potsdam
- BENKE, M (2007): Ackerfuttergräser als Biogassubstrat. In: Symposium Energiepflanzen 2007. Schriftenreihe „Nachwachsende Rohstoffe“ Band 31.
- BERG, F. (1960): Mehr Beachtung dem Sommerroggenanbau zur Grün- und Saftfuttermittellversorgung unserer Rindviehbestände. D. Dtsch. Landwirtschaft. 11, S. 141 - 143
- BERGMANN, W. (1983): Ernährungsstörungen bei Kulturpflanzen: Entstehung und Diagnose. Verlag Gustav Fischer, Jena
- BLENKEN, B. (1948): Der Bokharaklee, eine wichtige Kultivierungs-, Gründüngungs- und Futterpflanze: Bedeutung, Anbau und Nutzung. Lüneburg u. Kinau
- BLOMEYER, A. (1889): Die Cultur der landwirtschaftlichen Nutzpflanze. 2 Bd., Leipzig
- BODENKUNDLICHE KARTIERANLEITUNG (1994): Ad-hoc-Arbeitsgruppe Boden der Staatlichen Geologischen Dienste und der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe. Hrsg. von der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe in Zusammenarbeit mit den Staatlichen Geologischen Diensten der Bundesrepublik Deutschland. Fachliche Red.: H. Sponagel, 4. Aufl., Stuttgart.
- BOELKE, B. (2007): mündliche Mitteilung
- BOGUSLAWSKI, v. E. (1965): Zur Entwicklung des Begriffes Bodenfruchtbarkeit. Z. Pflanzenern., Düng., Bodenk. 108, 97 – 115
- BOSCH, C. (1991): Bodenfruchtbarkeit und Bodenschutz im Konzept der ökologischen Landwirtschaft. Anonymous Bodennutzung und Bodenfruchtbarkeit. Bd. 1. Bodenfruchtbarkeit, Parey Hamburg, S.59-63.
- BUCHLI, M. (1936): Ökologie der Ackerunkräuter in der Nordostschweiz, Beitr. Geobot. Landesaufn. Schweiz 19
- BUCHNER, W. (1987): Silomais mit grünem Fuß. Mais 2/87
- BUCHNER, W. (1988): Lehren aus einem extremen Jahr. DLG-Mitt. 1/88
- BUCHNER, W. (2001): Möglichkeiten zur Verbesserung des Bodengefüges durch fruchtfolge-technische Anbaumaßnahmen. In: BRÜMMER, G. (2001) (Hrsg.): Schadverdichtungen in Ackerböden. Tagungsband der 14. Wissenschaftlichen Fachtagung der Landwirtschaftlichen Fakultät der Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität, 125-135.
- BUCHNER, W. (1993): Ertrag und Qualität von Brotgetreide. Abschlussbericht. Forschungs- und Entwicklungsvorhaben Alternativer Landbau Boshheide Hof 1979-1992. Forschung und Beratung, reihe C, Heft 49, S. 204 – 210
- BURKHARDT (1956): Zur Frage der Futterleistung und Gründüngungswirkung verschiedener Winterzwischenfrüchte, D. Dtsch. Landwirtschaft 7, S. 191 - 194
- BUTTLAR, C. v. und DIETZE, M (2006): Mischfruchtanbau, S. 355 - 357 In: Energiepflanzen (2006): Hrsg.: KTBL, Darmstadt und ATB, Potsdam
- DAHLMANN C., FRAGSTEIN, P, NIEMSDORFF (2007): Einfluss unterschiedlicher Konkurrenzverhältnisse beim Mischanbau von Sommergerste und Erbse auf den Kornertrag, die

- Kornqualitäten und der symbiontischen N₂-Fixierung. ZIKELI S., CLAUPEINI, W., DABBERT, S., KAUFMANN, B., MÜLLER, T., VALLE ZARATE, A. (Hrsg.); Zwischen Tradition und Globalisierung, Beiträge zur 9. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau, Band 1, Hohenheim, 129-132.
- DAUMER, K. und SCHUSTER, M. (1988): Stoffwechsel, Ökologie und Umweltschutz, Bayerischer Schulbuch-Verlag, Nördlingen
- DE WIT, C.T. (1960): On competition; Versl. Landbouwk. Onderz. 66.8.
- DEUMLICH (2008): Standortuntersuchungen, S. 5 – 13. In: ZALF (Hrsg.) (2008): Zwischenbericht: Ökologische Folgewirkungen des Energiepflanzenanbaus, Müncheberg
- DEUTSCHES MAISKOMITEE (2009): Bedeutung des Maisanbaues in Deutschland. http://www.maiskomitee.de/fb_fakten/03_02_03.htm. (Abgerufen: 14.10.2009)
- DIERKS, R., HEITEFUSS, R. (Hrsg.) (1994): Integrierter Landbau, München
- DIN ISO 10694 (1995): Bodenbeschaffenheit - Bestimmung von organischem Kohlenstoff und Gesamtkohlenstoff nach trockener Verbrennung (Elementaranalyse). Deutsches Institut für Normung e. V. (Hrsg.), Beuth Verlag, Berlin
- DIN ISO 11277 (1998): Bodenbeschaffenheit - Bestimmung der Partikelverteilung-Verfahren mittels Siebung und Sedimentation. Deutsches Institut für Normung e. V. (Hrsg.), Beuth Verlag, Berlin
- DIN ISO 11464 (2006): Bodenbeschaffenheit - Probenvorbehandlung für physikalisch-chemische Untersuchungen. Deutsches Institut für Normung e. V. (Hrsg.), Beuth Verlag, Berlin
- DIN ISO 13878 (2006): Bodenbeschaffenheit - Bestimmung des Gesamt-Stickstoffs durch trockener Verbrennung (Elementaranalyse). Deutsches Institut für Normung e. V. (Hrsg.), Beuth Verlag, Berlin
- DLG (1997): Futterwerttabelle Wiederkäuer, 7. Auflage
- DSV (2009): Landsberger Gemenge: <http://www.dsv-saaten.de/oeko/feldgrasmischungen/landsberger-gemenge.html> (Abgerufen: 14.10.2009)
- DUBSLAFF, H. (1960): Pflanzenbauliche Hinweise für eine ausreichende Futtergrundlage auf Sandböden mit geringem Dauergrünlandanteil, D. Dtsch. Landwirtschaft 11, 383-386
- EGLE, K. (2002): Untersuchungen zum Phosphor-, Kupfer, Zink- und Cadmium-Aneignungsvermögen von drei Lupinenarten und Weidelgras unter Berücksichtigung wurzelbürtiger organischer Säuren. Diss. Uni Göttingen. Shaker Verlag, Aachen
- EHWALD, E. (1963): Zum Begriff und Wesen der Bodenfruchtbarkeit. Dt. Akad. der Landwirtschaftswiss., Berlin
- EICH, D., FREYTAG, H. E. (1984): Versorgung der Böden mit organischer Substanz. FZB-Report, 5, Müncheberg
- EURALIS SAATEN (2005): Mischanbau Mais/Sonnenblume: www.euralis.de/fachinfo/mais/mischanbau-maissonnenblume/mais-solo/ (Abgerufen am 13.10.2009)
- FRANKE, G. (1981): Nutzpflanzen der Tropen und Subtropen, 3. Auflage, S. Hirzel Verlag, Leipzig
- FRAUEN, M. (1996): Öl- und Hülsenfruchtbau. S. 101 – 134. In: HEYLAND, K.-U. (1996): Spezieller Pflanzenbau, Ulmer, Stuttgart

- FREIER, B., PIETSCH, G., HRBEK, R. und WINTER, S. (2005): Futter- und Körnerleguminosen im Biologischen Landbau, Agrarverlag, Leopoldsdorf
- GACEK, E. S., FINCKH, M. R., HUREJ, M., PARYLAK, D., CZEMBOR, H. J. und WOLFE, M. S. (1996): The use of cultivar and species mixtures for restriction of diseases, weed infestations and other pests, Proc. Of the 9th European and Mediterranean Cereal Rusts and Powdery Mildews Conference, 2-6
- GAILLARD, G., CRETZ, P., HAUSHEER, J. (1997): Umweltinventar der landwirtschaftlichen Inputs im Pflanzenbau. FAT Schriftenreihe 46. Tübingen
- GIEFFERS, W. und HESSELBACH, J. (1988): Krankheitsbefall und Ertrag verschiedener Getreidesorten in Rein- und Mischbau, Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz 95, 203-209
- GRIGO, E. (1986): Pflanzenschutz. S. 131 – 217. In: OEHMICHEN, J. (1986): Pflanzenproduktion Bd. 2 Produktionstechnik, P. Parey Verlag, Berlin
- GRUBER, H., THAMM, U. (2006): Eignung von ausgewählten Zwischenfruchtgemengen für Anbau und Verfütterung im ökologischen Anbau, Abschlussbericht, Hrsg.: Landesforschungsanstalt für Landwirtschaft und Fischerei Mecklenburg-Vorpommern, Institut für Acker- und Pflanzenbau
- GRUBER, H., THAMM, U., BURMANN, B. (2004): Standortspezifische Auswirkungen einer langjährigen, ökologischen Bewirtschaftung auf acker- und pflanzenbauliche sowie umweltrelevante Parameter. Forschungsbericht (23/02/00/04), Landesforschungsanstalt für Landwirtschaft und Fischerei Mecklenburg-Vorpommern
- GRÜMMER, G. (1955): die gegenseitige Beeinflussung höherer Pflanzen – Allelopathie, VEB Gustav Fischer Verlag, Jena
- GURGEL, A., PETERS, J. (2009): Einordnung von Energiepflanzen in die Fruchtfolge – Ergebnisse des Eva-Projektes nach 4 Jahren. In: Tagungsband 3. Rostocker Bioenergieforum. S. 221-228
- HAIDER K. & GRÖBLINGHOFF F.-F. (1990): Biochemische Umsetzungen und Humusbildung in Böden unterschiedlicher Bewirtschaftung. Kali-Briefe (Büntehof) 20, S. 31-48.
- HAIDER, K. (1996): Biochemie des Bodens, Stuttgart
- HARTLEB, H. und SKADOW, K. (1990): Erfahrungen mit dem Anbau von Sortenmischungen bei Sommergerste in der DDR. Arbeitstagung der "Arbeitsgemeinschaft der Saatzuchtleiter" innerhalb der Vereinigung österreichischer Pflanzenzüchter 20. Bis 22. November 1990 an der Bundesanstalt für alpenländische Landwirtschaft Gumpenstein, Irnding, 275 -282
- HEGI, G. (1964): Illustrierte Flora von Mitteleuropa mit Berücks. von Deutschland, Österreich und der Schweiz IV/3, 1236/1248, München
- HEILMANN, H., LEHMANN, E. (2007): Mit Roggen Geld verdienen, Getreide Magazin 3/2007, S. 192 - 195
- HEYLAND, K.-U. (1996): Spezieller Pflanzenbau, Ulmer, Stuttgart
- HOF, C. und RAUBER, R. (2003): Anbau von Gemengen im ökologischen Anbau, Göttingen
- HOFHANSEL, A (2006): Anbautelegramm Mais. In: <http://www.lfamv.de>. (Abgerufen: 03.03.2010).
- HORST, W. J., WASCHKIES, C. (1987): Phosphatversorgung von Sommerweizen (*Triticum aestivum* L.) in Mischkultur mit Weißer Lupine (*Lupinus albus* L.), Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde 150, 1 - 8

- JOKINEN, K. (1991): Competition and yield advantage in barley-barley and barley-oats mixtures, J. Agric. Sci. in Finland 63, 255-285
- KALTSCHMITT, M., REINHARDT, G. A. (1997): Nachwachsende Energieträger – Grundlagen, Verfahren, ökologische Bilanzierung, Vieweg Verlag, Braunschweig
- KÄMPF, R., NOHE, E., PETZOLDT, K., SNEYD, J. (1985): Feldfutterbau, DLG-Verlag, Frankfurt/Main
- KARPENSTEIN-MACHAN, M. (2002): Low Input Energy Crop Rotation without Herbicides, Pflanzenbauwissenschaften 6 (1), S. 36 – 46
- KASPERBAUER, M. J., GARDNER, F. P. & LOOMIS, W. E. (1961): Interaction of Photoperiod and Vernalization in Flowering of Sweet Clover (*Melilotus*), Journal Paper No. J-4187 of the Iowa Agricultural and Home experimental Station Ames, S. 165 - 170
- KIEFMANN, R. (1966): Schmetterlingblütler (Papilionatae) (einschli. Kleeartige Ackerfutterpflanzen) Illustr. Best. Buch für Wiesen und Weiden mitteleuropäischen Flachlandes, T. C., 2. Aufl., Freisingen/Weihenstephan
- KLITSCH, CL. (1962): Der Futterbau, Verlag Fischer; Jena
- KLOSTERMANN, I. (2008): Anbau von Energiemais unterschiedlicher Reifezahl nach Winterzwischenfrüchten, S. 42 – 45. In : Jahresbericht zur Futterproduktion 2009. Hrsg.: Landesforschungsanstalt für Landwirtschaft und Fischerei Mecklenburg-Vorpommern, Gültow
- KLOSTERMANN, I. (2009): Alternative Energiepflanzen zum Mais – Anbautechnik von Sorghumhirsen und Energiegetreide für Biogasanlagen, S. 11 – 16. In : Jahresbericht zur Futterproduktion 2009. Hrsg.: Landesforschungsanstalt für Landwirtschaft und Fischerei Mecklenburg-Vorpommern, Gültow
- KÖHNLEIN, J., VETTER, H. (1953): Ernterückstände und Wurzelbild, P. Parey Verlag, Hamburg und Berlin
- KÖNNECKE, G. (1951): Ertragssteigerung und Erhaltung der Bodenfruchtbarkeit durch Umstellung von Fruchtfolgen. Kühn-Archiv 64, S. 107 - 224
- KÖNNECKE, G. (1966): Fruchtfolgen, VEB Deutscher Landwirtschaftsverlag, Berlin
- KÖPKE, U. (1989): N₂-Fixierung, Vorfruchtwirkung und Fruchtfolgegestaltung. Raps 7, 90-92.
- KÖPPEN, D. (2004): Entwicklung und Bedeutung der Bodenfruchtbarkeit, S. 15 – 102. In: KÖPPEN, D. (Hrsg.) (2004): Bodenfruchtbarkeit im Agroökosystem, Teil 1, Hamburg
- KÖSEOĞLU, M. (1970): Dissertation: *Melilotus officinalis* und *albus* als Pionierpflanzen: Beobachtungen und experimenteller Vergleich, Hannover
- KTBL (2005): Gasaussbeute in landwirtschaftlichen Biogasanlagen, Heft 50, Darmstadt
- KTBL (2006): Energiepflanzen, Darmstadt
- KTBL (2006a): Betriebsplanung Landwirtschaft 2006/07, Darmstadt
- KTBL (2009): Biogasrechner. <http://www.ktbl.de/index.php?id=824> (Abgerufen: 14.10.2009)
- KÜBLER, E. (1996): Getreide. S.155 – 202. In: HEYLAND, K.-U. (1996): Spezieller Pflanzenbau, Ulmer, Stuttgart
- KUNTZE, H. (1964): Die Verbesserung der Marschböden durch Düngung. Leer u. Rautenberg

- KUTSCHERA, L. (1960): Wurzelatlas Mitteleuropäischer Ackerunkräuter und Kulturpflanzen, Frankfurt a. M.
- KWS LOCHOW GMBH (2008): Anbauempfehlung Grünschnittroggen „Vitallo“. http://www.kws-lochow.de/resource/gruenschnittroggen_dossier_05_2007.pdf (Abgerufen: Mai, 2009)
- KWS SAAT AG (2009): Perko PVH: <http://www.kws.de/go/id/cktk/> (Abgerufen 14.10.2009)
- LEHMANN, E. (2006): Silomaisanbau für die Biogaserzeugung –welche Erlöse müssen unter hiesigen Anbaubedingungen erzielt werden? Vortrag: Tag der Betriebswirtschaft, Landesanstalt für Landwirtschaft, Forsten und Gartenbau Sachsen-Anhalt, November, 2006
- LERCH, G. (1991): Pflanzenökologie, Akademie Verlag, Berlin
- LÜDDECKE, F. (1976): Ackerfutterbau, VEB Deutscher Landwirtschaftsverlag, Berlin
- LÜTKE-ENTRUP, N. (1987): Umweltschonende Verfahren im Maisanbau – ökologische Aspekte und pflanzenbauliche Lösungsansätze. Mais-Kolloquium Einbeck
- LÜTKE-ENTRUP, N. (1988): Umweltsünder Mais? DLG-Mitt. Plus 13/88
- LÜTKE-ENTRUP, N. (1989): Maisanbau mit Untersaaten, Mais 2/1989: S. 14 – 17
- LÜTKE-ENTRUP, N. (2000): Feldfutterbau und Ackerbegrünung. In: LÜTKE-ENTRUP, N. und OEHMICHEN, J. (2000): Lehrbuch des Pflanzenbaues, Band 2: Kulturpflanzen; Gelsenkirchen
- LÜTKE-ENTRUP, N. und OEHMICHEN, J. (2000): Lehrbuch des Pflanzenbaues, Band 2: Kulturpflanzen; Gelsenkirchen
- MAKOWSKI, N. (2000): Ölfrüchte, S. 513 – 551. In: LÜTKE-ENTRUP, N. und OEHMICHEN, J. (2000): Lehrbuch des Pflanzenbaues, Band 2: Kulturpflanzen; Gelsenkirchen
- MAKOWSKI, N. (2005): Alternative Anbauverfahren, S. 95 – 112. In: (Hrsg.) MEYER, R. (2005): Alternative Kulturpflanzen und Anbauverfahren, 1. Bericht zum TA-Projekt, Karlsruhe
- MAKOWSKI, N. (2006): Die Mischung macht's. Neue Landwirtschaft 5, S.52-53
- MAKOWSKI, N. (2008): mündliche Mitteilung
- MAKOWSKI, N. (2009): Braugerste hat gehobene Ansprüche. Bauernblatt 63/159, 16, S. 40-41
- MAKOWSKI, N. (2009a): Betrachtungen zur Pflanzenproduktion in Mecklenburg-Vorpommern. Natur- und Landeskunde Nr. 10-12 116. Jahrgang, S.158-170, Husum
- MAKOWSKI, N. Klaas, H. (1999): "Wo die Braugerste überwintert". Neue Landwirtschaft 8. S. 40-42
- MAKOWSKI, N., BRANDT, D. (2000): Mischanbau von Leindotter und Erbsen ist attraktiv. Institut für Energie- und Umwelttechnik München, unveroeff. Manuskript, 6 S.
- MAKOWSKI, N., GIENAPP, C. (2010): Hafer – eine Alternative bei hoher Getreidekonzentration. Neue Landwirtschaft, 2/2010, S. 71-73
- MAKOWSKI, N., KELLER, J., DREWS, R., GIENAPP, C. (2009): Viel Erfahrung mit Weizen. Neue Landwirtschaft 11/2009, S.72-74
- MAKOWSKI, N., KELLER, J., DREWS, R., GIENAPP, C. (2009a): Erfolgreicher Weizenanbau auf diluvialen Standort. Getreide Magazin 4/2009 14.Jg., S.226-229
- MAKOWSKI, N., LEHMANN, E. (2007): „Mehr Masse mit zwei Kulturen“. Bauernzeitung 48, S. 14-15

- MAKOWSKI, N., SCHELUTO, B., NIKONOWITSCH, I., DIETZE, M. (2007): Pionierpflanze für Sandböden, Neue Landwirtschaft, 9/2007, S. 50–51
- MEAD, R., WILLEY, R. W. (1980): The concept of a “Land Equivalent Ratio” and advantages in yields from intercropping. *Experimental Agriculture* 16, S. 217 - 228
- MENNING, P., SCHEIL, A. (1995): Bodendeckencharakter Ökofeld Gülzow/ Mecklenburg. Mitteilungen der Landesforschungsanstalt für Landwirtschaft und Fischerei M/V, Heft 8, S 1–4
- MEßNER, H. (2000): Mais (*Zea mays*). S. 398 – 427: In: LÜTKE-ENTRUP, N. und OEHMICHEN, J. (2000): Lehrbuch des Pflanzenbaues, Band 2: Kulturpflanzen; Gelsenkirchen
- MEUSEL, H., JÄGER, E. und E. WEINERT (1965): Vergleichende Chorologie der zentraleuropäischen Flora, Jena
- MEYER, D. (2005): Sweetclover Production and Management: <http://www.ag.ndsu.edu/pubs/plantsci/hay/r862w.htm> (Abgerufen 14.10.2009)
- MICHEL, V (2010): Sortenempfehlung Silomais 2010, Anbaugebiet D-Nord/MV-Süd. In: <http://www.lfamv.de>. (Abgerufen: 03.03.2010).
- MICHEL, V (2010a): Sortenempfehlung „Energimais“ 2010, Anbaugebiet D-Nord/MV-Süd. In: <http://www.lfamv.de>. (Abgerufen: 03.03.2010).
- MICHEL, V., ZENK, A. (2007): Konzipierung, Entwicklung und Einführung von PIAF (Planungs-, Informations- und Auswertungssystem für das Feldversuchswesen), S. 59 – 60. In: Beiträge zum Sorten- und Versuchswesen und zur Biostatistik, Heft 37, Hrsg.: Landesforschungsanstalt für Landwirtschaft und Fischerei Mecklenburg-Vorpommern, Plau
- MICHEL, V., ZENK, A., SCHMIDTKE, J. (2007): Gülzower PIAF-Verfahren – Standard der Versuchsauswertung in Deutschland, S. 61 – 71. In: Beiträge zum Sorten- und Versuchswesen und zur Biostatistik, Heft 37, Hrsg.: Landesforschungsanstalt für Landwirtschaft und Fischerei Mecklenburg-Vorpommern, Plau
- MIEDANER, T. (2007): Roggen - Getreide mit Zukunft Erstauflage 2007, DLG-Verlag, Frankfurt
- MOLISCH, H (1937): Der Einfluss einer Pflanze auf die andere – Allelopathie, Jena
- MÜLLER; G. (1965): Bodenbiologie, Jena
- MÜLLER-STOLL, W. R. (1935/36): Ökologische Untersuchungen an Xerthermpflanzen des Kraichgaues, Z. Bot. 29, 161-253, Jena
- NEUMANN, H. (2008): Eine Lanze für das Gras, Energiepflanzen 1/2008, S. 10 - 13
- NILSSON, C. (2003): Parasitoids of Pollen beetles. In: Biocontrol of oilseed rape pests. ED D. V. Alord. Blackwell Science, Oxford: 74 – 85
- OEHMICHEN, J. (1986): Pflanzenproduktion Bd. 2 Produktionstechnik, P. Parey Verlag, Berlin
- PÄTZOLD, H. (1961): Die Anbauwürdigkeit des Weißen Steinklees (*Melilotus albus* Med.) auf leichten Böden, Beiträge zur Bewirtschaftung leichter Böden, ADL, Berlin
- PÄTZOLD, H. (1963): Die Anwendung der ergebniss der Wurzelforschung für den Ackerbau, Die Deutsche Landwirtschaft 14/12, S. 581 - 584

- PAULSEN H. M. (2003): Fruchtfolgegestaltung in Ökobetrieben zur Erlangung einer Treibstoffautarkie. In: Tagungsband Landesgewerbeamt Baden-Württemberg; Dezentrale Pflanzenölnutzung, 5. Tagung Erneuerbare Energien in der Landwirtschaft, Aulendorf
- PAULSEN H. M. und PSCHIEDL, M. (2007): Drilltechnik zur Etablierung von Mischfruchtanbausystemen im ökologischen Landbau: 108 – 114. In: Hrsg.: PAULSEN M. und SCHOCHOW, M. (2007): Anbau von Mischkulturen mit Ölpflanzen zur Verbesserung der Flächenproduktivität im ökologischen Landbau – Nährstoffaufnahme, Unkrautunterdrückung, Schaderregerbefall und Produktqualitäten. Landbauforschung Völkenrode, Braunschweig
- PAULSEN M. und SCHOCHOW, M. (2007): Anbau von Mischkulturen mit Ölpflanzen zur Verbesserung der Flächenproduktivität im ökologischen Landbau – Nährstoffaufnahme, Unkrautunterdrückung, Schaderregerbefall und Produktqualitäten. Landbauforschung Völkenrode, Braunschweig
- PETERSEN, A. (1951): Die Bekämpfung der Ackerunkräuter, Leipzig
- PETERSEN, A. (1967): Klee und Kleeartige, Akademie-Verlag, Berlin
- PEYKER, W. (2006): Mais. S. 95 – 130. In: Energiepflanzen (2006): Hrsg.: KTBL, Darmstadt und ATB, Potsdam
- PIEPER, B., S. POPPE, R. ROICKE, A. REICHETANZ, M. GABEL und J. MERTENS (2004): Übersicht zu weiteren Forschungs- und Entwicklungsarbeiten, Tagungsbericht 8. Symposium »Fütterung und Management von Kühen mit hohen Leistungen«, Neuruppin, 28.10.2004, 207-223.
- PIETSCH, G. FREYER, B. und HRBEK, R. (2006): Merkblatt Erbse; Hrsg.: Institut für ökologischer Landbau, Universität für Bodenkultur, Wien
- RADEMACHER, B. (1941): Über den antagonistischen Einfluss von Roggen und Weizen auf Keimung und Entwicklung mancher Unkräuter, Pflanzenbau 17, 449-465
- RATSCHOW, J.-P. (2000): Energie- und Rohstoffpflanzen, S. 756 – 771. In: LÜTKE-ENTRUP, N. und OEHMICHEN, J. (2000): Lehrbuch des Pflanzenbaues, Band 2: Kulturpflanzen; Gelsenkirchen
- RAUHE, K. (1960): Maßnahmen zur Verbesserung der Bodenfruchtbarkeit in der LPG, Deutscher Landwirtschaftsverlag, Berlin
- RECKLEBEN, Y. (2009): Anbausysteme für Mais - Welcher Reihenabstand ist der Richtige? Landpost, 47, S. 38-40
- REHM, S. und EPSIG, G. (1995): Die Kulturpflanzen der Tropen und Subtropen: Anbau, wirtschaftliche Bedeutung, Verwertung, Ulmer Verlag, Stuttgart
- REISCH, E., KNECHT, G. (1995): Betriebslehre, Ulmer, Stuttgart
- REUTER, G., BÖTTCHER, H., HONERMEIER, B., KOPP, H., LANGE, G., MAKOWSKI, N., MUELLER, K. und K. TELTSCHIK (2007): Diversity of humus stocks in the arable soils of the Late Pleistocene ground moraines in Mecklenburg-Vorpommern, West Pomerania, Germany, Archives of Agronomy and Soil Science; 53(2-3), S. 231-240
- RHYKER, C. L., HANKING, B. J. (2007): Sweetclover Production and Utilization in Indiana.:<http://www.agry.purdue.edu/Ext/forages/publications/ay233.htm#OTHER%20USES%20OF%20SWEETCLOVER> (Abgerufen: 14.10.2009)
- RIESTOCK, H., FUCHS, E., WACKER, H., BESCHOREN, W. (2005): Futterroggensilage: Erfahrungen mit Anbau, Konservierung und Rationsgestaltung: <http://www.dr-pieper.com/file/99.pdf> (Abgerufen 16.10.2009)

- RISCH, S. J.; ANDOW, D. und ALTIERI, M. A. (1983): Agroecosystems diversity and pest control, *Environmental Entomology* 12, 625-629
- ROSCHE, I. (1987): Allelopathische Wirkung als Ursache von Verträglichkeitsbeziehungen: 287 – 290. In: *Fruchtfolgeforschung und Fruchtfolgegestaltung*: Hrsg.: Akademie der Landwirtschaftswissenschaften der DDR (1988), Tagungsband 261, Berlin
- SAATENUNION (2007): Biogas-Mais: Bringen uns spätere Sorten weiter? <http://www.archiv.saatenunion.de/index.cfm/nav/424/article/2770.html>. (Abgerufen: 03.03.2010)
- SAUERBECK, D. (1992): Funktion und Bedeutung der organischen Substanz für die Bodenfruchtbarkeit – ein Überblick. *Berichte über Landwirtschaft*, Sonderheft 206. Bd. 4, Humushaushalt S. 13 – 29, Verlag Paul Parey, Hamburg und Berlin
- SCHARRER, K., SCHREIBER, R. (1940): Über die Verdaulichkeit von Saflor (*Carthamus tinctorius* L.) im frischen und eingesäuerten Zustand bei Schafen. *Zeitschrift für Tierernährung und Futtermittelkunde* 4, S. 42 – 53
- SCHARRER, K., SCHREIBER, R. (1941): Vergleichende Mastversuche mit Saflorgärfutter als Ersatz des Eiweißfutters zu Schweinen. *Zeitschrift für Tierernährung und Futtermittelkunde* 6/3.
- SCHARRER, K., SCHREIBER, R. (1942): Über die Wirkung von Saflor-Gärfutter auf Milchertrag und Milchqualität. *Zeitschrift für Tierernährung und Futtermittelkunde* 14/6, S. 417 - 423
- SCHATTAUER, A., WEILAND, P., 2005: Grundlagen der anaeroben Fermentation; Handreichung Biogasgewinnung und –Nutzung. Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. Gülzow, S. 25-35
- SCHEFFER, F., SCHACHTSCHABEL, P (2002): Lehrbuch der Bodenkunde. 15. Auflage. Spektrum akademischer Verlag, Stuttgart
- SCHEFFER, K., (2002): Grundwasser und Bodenschutz durch den Anbau von Energiepflanzen, Konferenzband "Der Landwirt als Energie- und Rohstoffwirt", EUROSOLAR-Verlag, S.23 – 26
- SCHEIBE, A. (1938): Zucht- und Anbauverfahren mit Saflor (*Carthamus tinctorius* L.). *Pflanzenbau* 15, S. 129 – 159
- SCHILLING, G. (2000): Pflanzenernährung und Düngung. Ulmer-Verlag, Stuttgart
- SCHILLING, K. (1951): Lebensgemeinschaften der Gartenpraxis. Ertragssteigerungen auf biologischem Wege, Berlin
- SCHMIDTKE, K. (2004): Körnerfruchtgemenge mit Leguminosen – neue Strategien im Ackerbau des ökologischen Landbaus, *Gäa-Journal*, 3/2004, S. 11-13
- SCHÖNBERGER, H., KROPF, U. (2000): Winter- und Sommergerste (*Hordeum vulgare*), S. 325 – 361. In: LÜTKE-ENTRUP, N. und OEHMICHEN, J. (2000): *Lehrbuch des Pflanzenbaues*, Band 2: Kulturpflanzen; Gelsenkirchen
- SCHÖNE, F. (2007): Anforderungen an die Energiepflanzenproduktion aus Sicht des Natur- und Umweltschutzes. In: Schriftenreihe "Nachwachsende Rohstoffe", Band 31, Symposium Energiepflanzen 2007, Gelsenkirchen
- SCHRÖDER, G. (2010): Zünslern und Bohren den Schneid abkaufen. In: Ratgeber Pflanzenschutz, Sonderheft 1/2010 der Bauernzeitung, S. 57-58
- SCHRÖDER, G., GRAENTZ, K. H. (1964): Zweitfruchtfutterbau auf schweren Boden im VEG Cambs. *Z. Feldwirtschaft* 5, S. 175

- SCHULZ, O. E. (1901): Monographie der Gattung Melilotus, Bot. Jb. 29, 660-735, Leipzig
- SCHULZ, R.-R. (2006): Anbautelegramm Blaue Lupine. Hrsg.: Landesforschungsanstalt für Landwirtschaft und Fischerei Mecklenburg-Vorpommern. <http://lfa.info-agrarportal.de/index.php?/content/view/full/1775> (Abgerufen: 14.10.2009)
- SCHUPHAN, W. (1948): Ein Beitrag zur physiologischen Wechselwirkung einer Pflanze auf die andere. Gemüseversuche im Allein- und Mischbau. Botanica oeconomica 1, 1 – 15
- SCHUSTER, W. (1992): Ölpflanzen in Europa, DLG-Verlag, Frankfurt/Main
- SEGGL, A., MIEDANER, T., WILDE, P., GUDEHUS, J.-C. (2007): Energieroggen als Substrat für Biogasanlagen. Getreidemagazin 4/2007, S. 240 - 243
- SEIFFERT, M. (1968): Landwirtschaftlicher Pflanzenbau, Berlin
- SEITNER, M., SCHELLER, H. (1978): Stoppelfrüchte – Aufwuchsmenge und Ertragsbeeinflussung der folgenden Hauptfrucht. Bayer. Landw. Jahrbuch 55 (2), S. 205 – 222
- SESSOUS, G. (1940): Saflor- eine neue Ölpflanze. Mitteilungen für die Landwirtschaft 18, S. 312 - 313
- SIEBOLD, F. (1957): Zünftiger Klee grasanbau, DLG, Frankfurt a. M.
- SIMON, U. (1987): Feldfutterbau, S. 337 – 386. In: VOIGTLÄNDER, G., JACOB, H. (1987): Grünlandwirtschaft und Futterbau, Ulmer, Stuttgart
- SIMON, W. (1960a): Sandige Ackerböden : Bodenkunde, Pflanzenbau, Ökonomie ; Für praktische Landwirte und Agronomen als Anleitung zum Handeln, für alle lernenden und lehrenden Landwirte als Nachschlagwerk über das Grundsätzliche und Besondere sandiger Ackerböden, VEB Dt. Landwirtschaftsverlag, Berlin
- SIMON, W. (1960b): Luzerne, Klee und Klee gras, VEB Deutscher Landwirtschaftsverlag, Berlin
- SIMON, W. (1962): Haben Bokharaklee und Phacelia Anbauberechtigung? D. Dtsch. Landwirtschaft 13, Beil. Zu Heft 6
- SIMON, W. (1993): Grundfutter für Qualitätsmilch, Schwerin
- SMITH, W. K., H. J. GORZ (1965): Sweetclover improvement, Advances in Agronomy 17, 163-231
- SPECHT, G. (1955): Über die Ergebnisse von Zwischenfruchtversuchen, Z. landw. Versuchswesen 1, 271-288
- SPECHT, G. (1965): Erfolgreicher Zweitfruchtanbau durch eine richtige Anbautechnik und rechtzeitige Ernte der Winterzwischenfrüchte. Z. Feldwirtschaft 6. S. 185
- STÄHLIN, A. (1957): Die Bedeutung der Futtermittel, Neumann, Radebeul und Berlin
- STEMANN, G., LÜTKE ENTRUP, N., GRÖBLINGHOFF, F. F. (1993): Maisanbau mit Grasuntersaat – ein Baustein zu mehr Umweltschutz. Z. Gesunde Pflanzen 5, S. 171 – 177
- STOLZENBURG, K. (2006): Zuckerhirse. S. 131 – 140. In: Energiepflanzen (2006): Hrsg.: KTBL, Darmstadt und ATB, Potsdam
- STÜLPNAGEL (2008): Zweikultur-Nutzungssystem, S. 32 – 34.: In: Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (2008): Standortangepasste Anbausysteme für Energiepflanzen, Hürth
- SUVOROV, V. V. (1950): Der Steinklee – Melilotus (Turn.), Adans. Em. Kulturpflanzen der UDSSR 13, 345-502

- SYNGENTA SEEDS (Hrsg.) (2005): NK-News, Oktober 2005, Bad Salzuflen
- TFZ (2008): Artikel: Anbauhinweise Topinambur. In: Technologie und Förderzentrum im Kompetenzzentrum für Nachwachsende Rohstoffe: http://www.tfz.bayern.de/rohstoffpflanzen/16022/pfl_anbau_topinambur.pdf (Abgerufen: 22. Oktober 2008)
- THAYSEN, J. (2000): Grundlagen und Technik der Futterkonservierung, S. 820 – 839. In: LÜTKE-ENTRUP, N. und OEHMICHEN, J. (2000): Lehrbuch des Pflanzenbaues, Band 2: Kulturpflanzen; Gelsenkirchen
- TLL (2008): Anbautelegramm Saflor (*Carthamus tinctorius* L.). Hrsg.: Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft: <http://www.tll.de/ainfo/pdf/safl0208.pdf> (Abgerufen: 14.10.2009)
- TITZE, A. (2005): Ergebnisse eines Gärversuches aus Sommerzwischenfrüchten, Landesforschungsanstalt für Landwirtschaft und Fischerei MV, unveröffentlicht
- TRÄNKER, A. und WELTZIEN, H. C. (1989): Untersuchungen an Artenmischungen von Winterweizen und Winterroggen, Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz 96, 11-18
- TROLL, H. J. (1960): Beiträge zur Bedeutung der ökologischen Streubreite physiologischer und morphologischer Merkmale bei Zucht- und Landsorten von Winterraps und Winterrüben sowie deren Bastarden. Tagungsbericht 32 Dtsch. Akad. d. Landw.-Wiss., Berlin, S. 53 - 67
- UJVAROSI, M. (1952): Experimente auf Äckern zur Untersuchung der Unkraut bekämpfenden Wirkung der verschiedenen Getreidesaaten. Acta Agron. Acad. Sci. Hungaricae 2, 149 - 207
- ULBER, B. (2007): Parasitoids of stem weevils. In: Biocontrol of oilseed rape pests. ED D. V. Alord. Blackwell Science, Oxford: 87 - 95
- ULBER, B. und KÜHNE S. (2007): Schädlingsbefall an Raps in Rein- und Mischfruchtanbau im ökologischen Landbau: 96-107. Hrsg.: PAULSEN M. und SCHOCHOW, M. (2007): Anbau von Mischkulturen mit Ölpflanzen zur Verbesserung der Flächenproduktivität im ökologischen Landbau – Nährstoffaufnahme, Unkrautunterdrückung, Schaderregerbefall und Produktqualitäten. Landbauforschung Völkenrode, Braunschweig
- UMWELTBUNDESAMT(2009a): Energiebilanz Bereitstellung Dieselkraftstoff ab Tankstelle; <http://www.probas.umweltbundesamt.de/php/profisuche.php?&prozessid={9F010C0D-A18D-4163-B86D-22E8656276F7}&id=1&step=4&op={C1514E16-0620-11D4-9103-00000E00ECC7}&nace=-1&loc=&ref=&org=&prid=&pageid=1> (Aufgerufen:13.10.2009)
- UMWELTBUNDESAMT(2009b): Energiebilanz Kalzium; <http://www.probas.umweltbundesamt.de/php/procid.php?&prozessid={D6A13F9D-1497-47B9-AA90-A0D540F9C73E}&id=65793&sid=2&step=4&search=&prozessid={6191E5AA-0899-4905-BBA5-E11BCA2894B1}&style=procid> (Aufgerufen:13.10.2009)
- UMWELTBUNDESAMT(2009c): Energiebilanz Stickstoff; <http://www.probas.umweltbundesamt.de/php/procid.php?&prozessid={D6A13F9D-1497-47B9-AA90-A0D540F9C73E}&id=65793&sid=2&step=4&search=&prozessid={6FF9C0FB-B331-4D9D-BE8C-D11B7EC96DCD}&style=procid> (Aufgerufen:13.10.2009)
- UMWELTBUNDESAMT(2009d): Energiebilanz Phosphor; <http://www.probas.umweltbundesamt.de/php/procid.php?&prozessid={D6A13F9D-1497-47B9-AA90-A0D540F9C73E}&id=65793&sid=2&step=4&search=&prozessid={5EE3A45D-E703-4F2F-92C4-AD673866631F}&style=procid> (Aufgerufen:13.10.2009)

- UMWELTBUNDESAMT(2009e): Energiebilanz Kalium; <http://www.probas.umweltbundesamt.de/php/procid.php?&prozessid={D6A13F9D-1497-47B9-AA90-A0D540F9C73E}&id=65793&sid=2&step=4&search=&prozessid={29FD0CE5-8932-47DF-A79C-0FE2909DE802}&style=procid> (Aufgerufen:13.10.2009)
- UMWELTBUNDESAMT(2009f): Energiebilanz chemischer Pflanzenschutz; <http://www.probas.umweltbundesamt.de/php/procid.php?&prozessid={D6A13F9D-1497-47B9-AA90-A0D540F9C73E}&id=65793&sid=2&Step=4&search=&prozessid={0E0B2742-9043-11D3-B2C8-0080C8941B49}&style=procid> (Aufgerufen:13.10.2009)
- VANDERMERR, J. (1989): The ecology of intercropping, Cambridge University Press
- VD LUFA (1991): Methodenhandbuch: Band I. VD LUFA-Verlag, Darmstadt
- VOGEL, T., AHLHAUS, M. (2009): Nutzung von Landschaftspflegematerial in Biogasanlagen. In: Tagungsband 3. Rostocker Bioenergieforum. S. 237-246
- VOIGTLÄNDER, G., JACOB, H. (1987): Grünlandwirtschaft und Futterbau, Ulmer, Stuttgart
- WIKIPEDIA (2010): „Energiemais“. In: Wikipedia, Die freie Enzyklopädie. Bearbeitungsstand: <http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Energiemais&oldid=67877740> (Abgerufen: 3.03.2010)
- WIKIPEDIA, (2008a): Artikel *Dünger*. In: Wikipedia, Die freie Enzyklopädie. Bearbeitungsstand: 20. Oktober 2008, 09:13 UTC. URL: <http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=D%C3%BCnger&oldid=52031375> (Abgerufen: 22. Oktober 2008, 08:05 UTC)
- WIKIPEDIA, (2008b): Artikel *Untersaat*. In: Wikipedia, Die freie Enzyklopädie. Bearbeitungsstand: 21. September 2008, 09:51 UTC. URL: <http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Untersaat&oldid=50982403> (Abgerufen: 22. Oktober 2008, 08:44 UTC)
- WILLIAMS I. H. (2004): Advances in insect pest management of oilseed rape in Europe. In: Insect Pest Management – Field and Protected Crops. Ed. Horowitz A. R. and ISHAAYA I. Springer-Verlag, Heidelberg: 181 – 208. In: ULBER, B. und KÜHNE S. (2007): Schädlingbefall an Raps in Rein- und Mischfruchtanbau im ökologischen Landbau: 96-107. Hrsg.: PAULSEN M. und SCHOCHOW, M. (2007): Anbau von Mischkulturen mit Ölpflanzen zur Verbesserung der Flächenproduktivität im ökologischen Landbau – Nährstoffaufnahme, Unkrautunterdrückung, Schaderregerbefall und Produktqualitäten. Landbauforschung Völkenrode, Braunschweig
- WILSON, J. B. (1988): Shoot competition and root competition; J. Appl. Ecol. 25, 279 - 296
- WIRTH, A. G. (1942): Höchsterträge durch Mischkulturen wahlverwandter Gemüsearten, Stuttgart
- WOLBER, D. M., HENZE, P., HENZE, S. (2008): Fungizidempfehlungen Getreide. Getreide Magazin 1/2008, S. 28 – 38
- WORTMANN, G. (2007): Strategien der Saatenunion im Bereich der Energiepflanzenzüchtung, S. 123 – 133. In: Schriftenreihe "Nachwachsende Rohstoffe", Band 31, Symposium Energiepflanzen 2007, Gelsenkirchen
- ZIMMERMANN, K. (1955): Technik des Versuchswesens und der Pflanzenzüchtung, 3. Aufl., S. Hierzel Verlag, Leipzig
- ZSCHEISCHLER, J. (1972). Sorghum and Sudangrass varieties compared with Maize for silage under Bavarian climatic conditions. Proc. of the 6th meeting of EUCARPIA Maize and Sorghum Section Weihenstephan, 14

ZSCHEISCHLER, J. (1990). Handbuch Mais: Umweltgerechter Anbau, wirtschaftliche Bedeutung.
Frankfurt/Main

8 Danksagung

Für die jederzeit gewährte kompetente Unterstützung, die kritische Diskussion im Verlauf der Projektbearbeitung sowie für viele wertvolle Ratschläge bedanke ich mich herzlich bei Herrn Professor Makowski.

Den Gutachtern danke ich für die Erstellung der Gutachten und für die gegebenen Hinweise.

Mein Dank gilt den Mitarbeitern der Landesforschungsanstalt für Landwirtschaft und Fischerei Mecklenburg-Vorpommern für die umfangreiche Mitarbeit und Unterstützung bei der Durchführung der versuchstechnischen Arbeiten. Stellvertretend sei hier der Direktor der Landesforschungsanstalt, Herr Professor Gienapp, genannt.

Ich bedanke mich auch bei der Fachagentur für Nachwachsende Rohstoffe e. V., die als Projektträger des BMELV die Untersuchungen finanziert hat.

9 Erklärung

Ich erkläre, dass ich die vorliegende Dissertationsschrift selbstständig und ohne fremde Hilfe angefertigt und nur die angegebenen Hilfsmittel benutzt habe.

Rostock, 21.05.2010

Matthias Dietze

Anhang

Erträge Winterungen: Versuchs-Nr.: 75117_Energiepflanzen

Versuchsorte: Gülzow, Grenzstandort und Ökofeld

Prüffaktoren: Erträge Reinsaat und Mischsaat

a = 27

Versuchsanlage: einfaktorielle Blockanlage A-BI

Prüfglieder Winterung 2005/2006 und 2006/2007

PG-Nr	Reinsaat			Gruppe
1	Winterroggen			1
2	Winterroggen			1
3	Wintergerste			2
4	Wintergerste			2
5	Welsches Weidelgras			3
6	Welsches Weidelgras			3
7	Winterrübsen			4
8	Winterrübsen			4
9	Bokharaklee			5
10	Inkarnatklee			5
11	Winterwicke			5
	Gemenge			
	1. Kultur	2. Kultur	3. Kultur	
12	Winterroggen	Bokharaklee		1
13	Winterroggen	Bokharaklee		1
14	Winterroggen	Winterwicke		1
15	Winterroggen	Winterwicke		1
16	Welsches Weidelgras	Inkarnatklee	Inkarnatklee	3
17	Welsches Weidelgras	Inkarnatklee		3
18	Welsches Weidelgras	Inkarnatklee	Winterwicke	3
19	Welsches Weidelgras	Inkarnatklee	Winterwicke	3
20	Winterroggen	Winterrübsen		4
21	Winterroggen	Winterrübsen		4
22	Winterroggen	Winterrübsen	Winterwicke	4
23	Winterroggen	Winterrübsen	Winterwicke	4
24	Wintergerste	Winterrübsen		4
25	Wintergerste	Winterrübsen		4
26	Wintergerste	Winterrübsen	Winterwicke	4
27	Wintergerste	Winterrübsen	Winterwicke	4

1. Schritt: Freie Randomisierung der Gruppen

5	1	4	2	3
2	5	1	3	4
4	3	5	1	2
1	2	3	4	5

2. Schritt: Freie Randomisierung der Varianten innerhalb einer Gruppe

Säule	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26
WDH																										
4	7	7	8	6	6	9	9	10	1	1	5	5	4	16	14	15	15	11	11	2	2	12	12	13	3	3
3	2	2	11	11	8	8	6	7	7	10	10	1	9	9	13	13	3	12	12	15	15	16	4	5	14	14
2	16	16	5	14	15	4	4	12	12	13	3	3	7	7	8	6	6	9	9	10	1	1	11	11	2	2
1	1	1	9	10	10	2	2	11	11	3	3	12	13	13	4	4	14	15	16	5	5	6	6	7	8	8

Erträge Sommerungen: Versuchs-Nr.: 75127_Energiepflanzen

Versuchsort: Gülzow, Grenzstandort und Ökofeld

Prüffaktoren: Erträge Reinsaat und Mischsaat

 a = 26

Versuchsanlage: einfaktorielle Blockanlage

Prüfglieder Sommerung 2006 und 2007

	Gruppe	Reinsaat					Nutzung
1	1	Mais					GPS
2	1	Sudangras					GPS
3	2	Roggen					GPS
4	2	Gerste					GPS
5	2	Hafer					GPS
6	3	Roggen					Körner
7	3	Gerste					Körner
8	3	Hafer					Körner
9	4	Bokharaklee					GPS
10	4	Lupine					GPS
11	4	Saflor					GPS
12	5	Lupine					Körner
13	5	Leindotter					Körner
		Mischungen					
		1. Kultur	2. Kultur	3. Kultur	4. Kultur	5. Kultur	
14	1	Mais	Bokhara				GPS
15	1	Sudangras	Bokharaklee				GPS
16	1	Sudangras	Lupine				GPS
17	2	Roggen	Gerste	Hafer			GPS
18	2	Roggen	Bokhara				GPS
19	3	Roggen	Gerste	Hafer	Leindotter		Körner
20	3	Roggen	Gerste	Hafer	Lupine		Körner
21	3	Roggen	Gerste	Hafer	Lupine	Leindotter	Körner
22	4	Lupine	Bokhara	Gerste			GPS
23	4	Lupine	Saflor	Gerste			GPS
24	4	Lupine	Gerste				GPS
25	3	Lupine	Gerste	Hafer	Leindotter		Körner
26	5	Lupine	Leindotter				Körner

1. Schritt: Freie Randomisierung der Gruppen

1	4	3	5	2
3	5	1	2	4
2	1	4	3	5
4	3	2	5	1

2. Schritt: Freie Randomisierung der Varianten innerhalb einer Gruppe

			WDH			
Säule			4	3	2	1
1			1	1	20	11
2			1	1	20	11
3			15	1	25	22
4			16	7	5	24
5			2	21	4	23
6			14	8	17	10
7			14	19	9	9
8			11	6	1	9
9			11	6	1	8
10			10	12	14	8
11			23	12	21	6
12			9	13	2	6
13			22	26	15	20
14			24	2	15	7
15			24	2	23	19
16			6	14	10	19
17			6	14	23	4
18			7	1	9	4
19			20	1	24	18
20			8	15	11	3
21			19	16	22	17
22			21	16	22	5
23			25	5	21	5
24			25	21	26	5
25			26	5	20	26
26			13	17	20	26
27			13	18	12	12
28			12	4	19	13
29			12	3	8	13
30			18	3	6	16
31			18	10	7	16
32			3	10	15	15
33			5	9	13	14
34			17	24	13	14
35			4	22	12	1
36			4	11	26	1
37			23	26	2	2
38			23	2	2	2

Arbeitsgänge	Leistung kW/	Gewicht agriview*	Lebens-	Betriebs-	h/ha	Maschinen-
Winterkulturen	Arbeitsbreite	y=59,89*	dauer	stoffe		verbrauch
	Schare/Vol.	Motorleistung	h/t			kg/ha
Pflügen mit Packer						
Traktor	140	8385	10000	22,15	0,98	0,822
Aufsatteldrehpflug	7	2890	4800		0,98	0,590
Packer	4	1800	4260		0,98	0,414
Pflügen						
Traktor	140	8385	10000	19,64	0,98	0,822
Aufsattelbeetpflug	7	2890	4800		0,98	0,590
Sattbettbereitung						
Traktor	190	11379	10000	9,47	0,33	0,376
Saabbtkombi	10	4880	5000		0,33	0,322
Pflanzenschutz ab Feld						
Traktor	83	4971	10000	0,89	0,11	0,055
Spritze	4000	1380	20000		0,11	0,008
Mineraldünger ab Feld						
Traktor	83	4971	10000	0,86	0,11	0,055
Schleuderstreuer	3000	320	9000		0,11	0,004
Scheibenegge,						
Stoppelbearbeitung						
Traktor	120	7187	10000	6,06	0,29	0,208
Scheibenegge	6	3500	7200		0,29	0,141
Sämaschine						
Traktor	83	4971	10000	2,60	0,36	0,179
Drillmaschine	6	2300	2250		0,36	0,368
Arbeitsgang	Leistung kW/	Gewicht agriview*	Lebens-	Betriebs-	h/ha	Maschinen-
	Arbeitsbreite	y=59,89*	dauer	stoffe		verbrauch
	Schare/Vol.	Motorleistung	h/t			kg/ha
GPS ernte						
Feldhäcksler	250	14973	3000	13,3	0,3	1,497
Traktor	67	4013	10000	5,6	1,51	0,606
Dreiseitenkipper	10**		30000		1,51	0,001
Radlader	105	13000	10000	3	0,6	0,780
				21,9	3,92	
Einzelkornsaat Mais						
Traktor	54	3234	10000	3,17	0,75	0,243
Einzelkornsaat	6	1280	1500		0,75	0,640
Striegeln						
Traktor	83	4971	10000	2,31	0,15	0,075
Hackstriegel	15	1300	7500		0,15	0,026
Silomaisernte						
Selbstfahrer	250	14973	3000	37,15	0,61	3,044
Traktor 67	67	4013	10000	11,6	3,68	1,477
Dreiseitenkipper*	10		30000		3,68	0,005
Radlader 105	105	13000	10000	4,8	1,23	1,599
AWS ernten				29,89	3,04	
Traktor	120	7187	10000	5,5	0,3	0,216
Mähauflbereiter	5	1325	1700		0,3	0,234
Traktor	83	4971	10000	2,4	0,19	0,094
Zettwender	10,5	1800	5250		0,19	0,065
Traktor	67	4013	10000	2,6	0,17	0,068
Schwader	10,5	2250	3750		0,17	0,102
Selbstfahrer	250	14973	3000	13,3	0,3	1,497
Traktor	67	4013	10000	5,6	1,51	0,606
Dreiseitenkipper	10**		30000		1,51	0,001
Radlader	105	13000	10000	3	0,6	0,780
*40 t/ha				32,4	5,24	
**20 t/ha						

MJ/ha	W.Roggen	W.Roggen (Herbizid)	W.Gerst	W.Gerste (Herbizid)	Weidelgr.	W.Rübsen	W.Wicke	Inkarnat.	W.Roggen W.Wicke	Bokhara	W.Gerste W.Rübsen W.Wicke	Weidelgr. W.Wicke	Weidelgr. W.Wicke Inkarnat.	W.Gerste W.Rübsen
07/az30														
Bodenbearbeitung	2101	2101	2726	2726	2027	1925	2231	1993	2229	2144	2225	2020	2094	2236
Düngung	8132	8083	7007	7238	8207	9457	2094	3985	7807	7171	8951	7042	7394	10323
Pflanzenschutz	0	324	0	324	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ernte & Transport	1901	1901	1351	1351	1901	1901	1901	1901	1901	1901	1901	1901	1901	1901
Summe	12134	12409	11085	11639	12134	13282	6225	7879	11937	11216	13077	10962	11389	14460
MJ/ha	69738	68871	81759	88570	69102	49126	24793	52866	70165	63515	61366	69199	61926	68779
07/az25														
Bodenbearbeitung	2101	2101	2726	2726	2027	1925	2231	1993	2229	2144	2225	2020	2094	2236
Düngung	6809	6791	6100	6374	7379	8713	1281	1890	6176	5460	8691	6709	6448	8544
Pflanzenschutz	0	324	0	324	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ernte & Transport	1901	1901	1351	1351	1901	1901	1901	1901	1901	1901	1901	1901	1901	1901
Summe	10811	11117	10178	10775	11306	12538	5412	5783	10306	9505	12817	10630	10443	12681
MJ/ha	50376	41638	40717	58120	58171	34396	16129	28932	44716	40892	57454	58337	46032	43734
07/az30														
Bodenbearbeitung	2101	2101	2726	2726	2027	1925	2231	1993	2229	2144	2225	2020	2094	2236
Düngung	7373	7442	6309	7457	4813	6781	538	401	6583	6048	6610	3853	3859	7308
Pflanzenschutz	0	324	0	324	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ernte & Transport	1901	1901	1351	1351	1901	1901	1901	1901	1901	1901	1901	1901	1901	1901
Summe	11375	11768	10386	11858	8740	10607	4669	4294	10713	10093	10736	7773	7854	11445
MJ/ha	56614	57872	41831	65073	11590	6879	5712	4518	52678	51323	20569	11937	9708	15543
07/az25														
Bodenbearbeitung	2101	2101	2726	2726	2027	1925	2231	1993	2229	2144	2225	2020	2094	2236
Düngung	7384	7371	5714	5749	5029	6994	1206	660	5971	5575	6174	4068	4486	7221
Pflanzenschutz	0	324	0	324	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ernte & Transport	1901	1901	1351	1351	1901	1901	1901	1901	1901	1901	1901	1901	1901	1901
Summe	11386	11697	9792	10150	8956	10819	5337	4553	10101	9620	10300	7989	8481	11358
MJ/ha	48861	48661	35602	36431	16349	10063	14288	8260	44257	42564	12332	16487	21178	14809

Arbeitsgänge	Leistung kW/	Gewicht agriview*	Lebens-	Betriebs-	h/ha	Maschinen-
Sommerkulturen	Arbeitsbreite	y=59,89*	dauer	stoffe		verbrauch
	Schare/Vol.	Motorleistung	h/t			kg/ha
Pflügen mit Packer						
Traktor	140	8385	10000	22,15	0,98	0,822
Aufsatteldrehpflug	7	2890	4800		0,98	0,590
Packer	4	1800	4260		0,98	0,414
Pflügen						
Traktor	140	8385	10000	19,64	0,98	0,822
Aufsattelbeetpflug	7	2890	4800		0,98	0,590
Sattbettbereitung						
Traktor	190	11379	10000	9,47	0,33	0,376
Saabettkombi	10	4880	5000		0,33	0,322
Pflanzenschutz ab Feld						
Traktor	83	4971	10000	0,89	0,11	0,055
Spritze	4000	1380	20000		0,11	0,008
Mineraldünger ab Feld						
Traktor	83	4971	10000	0,86	0,11	0,055
Schleuderstreuer	3000	320	9000		0,11	0,004
Scheibenegge,						
Stoppelbearbeitung						
Traktor	120	7187	10000	6,06	0,29	0,208
Scheibenegge	6	3500	7200		0,29	0,141
Sämaschine						
Traktor	83	4971	10000	2,60	0,36	0,179
Drillmaschine	6	2300	2250		0,36	0,368
Arbeitsgang	Leistung kW/	Gewicht agriview*	Lebens-	Betriebs-	h/ha	Maschinen-
	Arbeitsbreite	y=59,89*	dauer	stoffe		verbrauch
	Schare/Vol.	Motorleistung	h/t			kg/ha
GPS ernte						
Feldhäcksler	250	14973	3000	13,3	0,3	1,497
Traktor	67	4013	10000	5,6	1,51	0,606
Dreiseitenkipper	10**		30000		1,51	0,001
Radlader	105	13000	10000	3	0,6	0,780
Einzelkornsaat Mais						
Traktor	54	3234	10000	3,17	0,75	0,243
Einzelkornsaat	6	1280	1500		0,75	0,640
Striegeln						
Traktor	83	4971	10000	2,31	0,15	0,075
Hackstriegel	15	1300	7500		0,15	0,026
Silomaisernte						
Selbstfahrer	250	14973	3000	37,15	0,61	3,044
Traktor 67	67	4013	10000	11,6	3,68	1,477
Dreiseitenkipper*	10		30000		3,68	0,005
Radlader 105	105	13000	10000	4,8	1,23	1,599
AWS ernten				29,89	3,04	
Traktor	120	7187	10000	5,5	0,3	0,216
Mähauflbereiter	5	1325	1700		0,3	0,234
Traktor	83	4971	10000	2,4	0,19	0,094
Zettwender	10,5	1800	5250		0,19	0,065
Traktor	67	4013	10000	2,6	0,17	0,068
Schwader	10,5	2250	3750		0,17	0,102
Selbstfahrer	250	14973	3000	13,3	0,3	1,497
Traktor	67	4013	10000	5,6	1,51	0,606
Dreiseitenkipper	10**		30000		1,51	0,001
Radlader	105	13000	10000	3	0,6	0,780
*40 t/ha						
**20 t/ha						

MJ/ha	Mais	Sudang.	S.Roggen	S.Gerste	Hafer	Bokhara- klee	Lupine	Safflor	Bokhara Mais	Bokhara Sudan	Hafer S.Gerste S.Roggen	Bokhara Hafer	Bokhara Lupine S.Gerste	Lupine Safflor S.Gerste	Lupine S.Gerste
AZ25 2006															
Bodenbearbeitung und Aussaat	2277			2715	2746	2759	2391		2593			2940	2671	2788	2811
Düngung	11174			6984	6622	7233	2850		7201			7590	5911	5596	5585
Ernte & Transport	3160			1351	1351	1351	1351		3160			1351	1351	1351	1351
Summe	16611			11051	10720	11343	6592		12953			11881	9934	9735	9747
MJ/ha	87102			58873	42771	46438	46957		64301			54817	55903	37538	43221
AZ30 2006															
Bodenbearbeitung und Aussaat	2277			2715	2746	2759	2391		2593			2940	2671	2788	2811
Düngung	9660			6057	6347	6458	3384		6496			6039	5611	5271	6074
Ernte & Transport	3160			1351	1351	1351	1351		3160			1351	1351	1351	1351
Summe	15096			10123	10445	10568	7126		12248			10330	9633	9410	10236
MJ/ha	101950			48165	43651	34428	57957		68698			41363	35100	40829	52204
AZ25 2007															
Bodenbearbeitung und Aussaat	2277			2715	2746	2759	2391		2593			2940	2671	2788	2811
Düngung	8250			6567	6515	6492	2545		6246			6646	4618	5172	5429
Ernte & Transport	3160			1351	1351	1351	1351		3160			1351	1351	1351	1351
Summe	13687			10633	10612	10602	6287		11998			10938	8640	9311	9591
MJ/ha	63803			65864	44559	52395	60278		68414			63243	32316	42393	46717
AZ30 2007															
Bodenbearbeitung und Aussaat	2277	2442		2715	2746	2759	2391		2593	2434		2940	2671	2788	2811
Düngung	10133	8594		7458	7510	7945	2508		7341	6300		7381	6935	6015	6811
Ernte & Transport	3160	1901		1351	1351	1351	1351		3160	1351		1351	1351	1351	1351
Summe	15570	12937		11524	11608	12055	6250		13093	10084		11673	10957	10153	10973
MJ/ha	134387	54948		88579	67883	61856	60694		102472	38989		69366	52735	47857	73769

Thesen zur Dissertation

Untersuchungen zum Mischfruchtanbau für die Biogasgewinnung

vorgelegt von Dipl.-Ing. agr. Matthias Dietze

geboren am 05.02.1972 in Oberhausen

Rostock, 14.07.2010

Der Misanbau, auch Mischfruchtanbau oder Gemengeanbau, bezeichnet den gleichzeitigen Anbau verschiedener Fruchtarten bzw. Sorten einer Kulturpflanzenart auf einem Feld.

Bereits 1889 schreibt BLOMEYER: *„Mischsaaten können gegenüber Reinsaaten Vorteile aufweisen, wenn Blattpflanzen mit Halmfrüchten, Tiefwurzler mit Flachwurzlern, wenn Pflanzen mit recht unterschiedlichem Nährstoffbedürfnis miteinander gemengt werden, so kann eine vollere, vielseitigere Ausnutzung des Bodens statthaben, die Ernten werden durch die Mischsaat reicher, größer.“*

Züchtungsfortschritt, chemischer Pflanzenschutz und mineralische Düngung haben die Reinsaaten im konventionellen Landbau begünstigt. Die Begrenzungen bis zum Verzicht des Einsatzes von Agrochemikalien und die stärkere Orientierung zu ökologischen Bewirtschaftungsformen in der Landwirtschaft der letzten zwanzig Jahre führten zu einer „Wiederentdeckung“ des Misanbaus im Ackerbau. Im Mittelpunkt des Interesses stehen Körnerfruchtgemenge.

Für die viehlos wirtschaftenden Betriebe im ökologischen Landbau hat der Mischfruchtanbau insbesondere mit Leguminosenanteilen große Bedeutung zur Verbesserung der Bodenstruktur, als Erosionsschutz, zur Auflockerung getreidebetonter Fruchtfolgen, für die Nährstofflieferung und den Nährstoffaufschluss.

Die vorliegende Arbeit hat das Ziel, durch den Misanbau verschiedener Arten eine nachhaltige Biomasseproduktion bei erheblich reduziertem Einsatz von Agrochemikalien zu ermöglichen. Es sollen ökonomische Alternativen mit ökologischen Vorteilen gegenüber der hoch intensiven Produktion aufgezeigt werden. Neben der stärkeren Ökologisierung der konventionellen Produktion sollen auch für den ökologischen Landbau Grundlagen für Energiefruchtfolgen erarbeitet werden. Das Konzept basiert auf Ergebnissen älterer wissenschaftlicher Arbeiten und auf vor Jahrzehnten erfolgreich praktizierten Produktionsverfahren.

Bei den Untersuchungen des „Mischfruchtanbau zur energetischen Nutzung“ an der Landesforschungsanstalt für Landwirtschaft und Fischerei Mecklenburg-Vorpommern (LFA) standen folgende Aufgaben im Vordergrund:

- Prüfung verschiedener Pflanzarten auf ihre Eignung für den Misanbau,
- Einbeziehung „verloren gegangener“ Feldfrüchte in die Untersuchung,
- Ermittlung und Vergleich der Leistung der Feldfrüchte in Misch- und in Reinsaat,
- Darstellung des relativen Gesamtertrages der Mischung,

- Untersuchung der Methanertragspotentiale aller Varianten und Auswirkung gemischter Substrate auf die Methanausbeute,
- Berechnung und Vergleich der Energiebilanzen von Reinsaaten und Mischkulturen,
- Untersuchungen zur Wirtschaftlichkeit von Reinsaaten und Mischfrüchten und Ableitungen von Produktionsstrategien.

Die Untersuchungen erstrecken sich über den Zeitraum von 2005 bis 2008 auf dem Versuchsstandort Gülzow bei Güstrow und in Bandow auf sandigem Substrat mit der Ackerzahl zwischen 25 und 30. Das langjährige Mittel (30 Jahre) der jährlichen Niederschlagssumme beträgt 542 mm, die mittlere Lufttemperatur liegt bei 8,3°C.

In dem Versuch wird der Ansatz verfolgt, mit Gemengen aus Getreide, Leguminosen und Ölpflanzen möglichst hohe Biogaserträge bei reduziertem Aufwand zu erreichen. Ausgehend von der regionalen Empfehlung für die Reinsaat wurde die Wichtung der Saatstärke und Stickstoffmenge im Gemenge modular festgelegt. Die Anbauform ist eine gemischte Saat ohne spezielle Anordnung.

Auf der Grundlage der durchgeführten Parzellenversuche und darauf aufbauenden Berechnungen können folgende Aussagen getroffen werden:

1. Die höchsten Erträge werden mit den Winterkulturen Wintergerste und Winterroggen sowie Wickroggen und Winterroggen/Bokharaklee erzielt. Beim Wickroggen und Winterroggen/Bokharaklee ist zu berücksichtigen, dass diese Prüfglieder trotz einer um 20 % verminderten Stickstoffdüngung an die Erträge der Reinsaaten heranreichen. Die übrigen Mischungen blieben hinter den Ertragserwartungen zurück und brachten auch im Hinblick auf die Ertragssicherheit keinen Vorteil.
2. Mais steht in der Biomasseleistung unangefochten an der Spitze. Mit der Mischung aus Mais und Bokharaklee werden höhere Erträge als mit den Reinsaaten Sommerroggen, Bokharaklee und der Sommergetreidemischung erreicht. Das Gemenge aus Sommergerste, Lupine und Saflor erwies sich für den Mischfruchtanbau als geeignet. Die Ertragsüberlegenheit gegenüber Sommergerste in Reinsaat war im trockenen Jahr 2007 deutlich ausgeprägt.
3. Die Ertragsunterschiede zwischen den Jahren waren in der Regel höher als zwischen den einzelnen geprüften Varianten.
4. Der relative Gesamtertrag als Maßzahl der komplementären Nutzung von Wachstumsfaktoren durch die Mischungspartner ist für Mischungen mit Winterwickenanteil immer positiv. Gleiches

gilt für Gemenge mit Lupinen. Einen negativen relativen Gesamtertrag weist das Gemenge aus Wintergerste und Winterrüben und die Mischung aus Mais und Bokharaklee auf. Die Konkurrenz um Wachstumsfaktoren und unterschiedliche Ansprüche an Intensivierungsfaktoren wirken sich negativ auf den relativen Gesamtertrag dieser Gemenge gegenüber den jeweiligen Reinsaaten aus.

5. Analog zu den Ergebnissen der Naturalerträge wird die günstigste Produktionsschwelle bei den Winterzwischenfrüchten mit dem Winterroggen und dem Wickroggen erreicht. Bei den Sommerungen in Reinsaat sind bei hohen Opportunitätskosten der Mais vor dem Bokharaklee und Sommerroggen und bei niedrigen Opportunitätskosten die genannten Prüfglieder in umgekehrter Reihenfolge die günstigsten Varianten. Bei den Mischsaaten nehmen die Mischungen aus Mais und Bokharaklee sowie das Sommergetreidegemenge die Spitzenposition ein.
6. Werden für die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung die über die Jahre gemittelten Erträge der einzelnen Standorte zugrunde gelegt, lassen sich unterschiedliche Anbaustrategien darstellen. Auf dem Standort AZ 25 ist die Produktionsschwelle des Sommerroggens bzw. Bokharaklees unabhängig von den Nutzungskosten günstiger als die der Variante Mais. Umgekehrt ist der Ertragsunterschied zwischen den Varianten auf dem Standort AZ 30 ausreichend groß, dass auch bei geringen Nutzungskosten Mais die Kultur der Wahl ist. Im Vergleich der Mischungen aus Mais und Bokharaklee und Sommerroggen, Sommergerste und Hafer ist die Produktionsschwelle des Sommergetreidegemenges auf jedem Standort und innerhalb der dargestellten Spanne der Nutzungskosten günstiger.
7. Ein Zusammenhang zwischen spezifischen Methanausbeuten und Mischsubstraten lässt sich aus dem Datenmaterial nicht erkennen. Höchste spezifische Methanerträge berechnen sich für die Gemenge aus Winterrüben/Wintergerste und Hafer/Bokharaklee bei den Sommerkulturen. Die niedrigsten spezifischen Methanerträge werden mit Sudangras und Wintergerste erzielt. Abweichungen bei den Ergebnissen aus den Batchversuchen zwischen den Varianten lassen sich nicht immer schlüssig erklären. Es wird vermutet, dass die Probenhomogenisierung einen großen Einfluss auf die Methanausbeuten im Modell hat.
8. Die höchsten Methanflächenerträge werden bei den Winterzwischenfrüchten mit Winterroggen und bei den Sommerkulturen mit dem Mais erzielt. Trotz höchster Erträge ergibt sich gegenüber Sommerroggen erst ab Methanerlösen ab 0,35 € je m³ Methan ein höherer Deckungsbeitrag je Hektar, da die Prozesskosten beim Mais deutlich höher sind, als bei der Getreidevariante.

9. Die in dieser Untersuchung ausgeführten Energiebilanzen wurden auf der Grundlage der berechneten Methanerträgen (Bruttoenergieertrag) einerseits und den ermittelten Aufwendungen der Verfahrensabschnitte Bodenbearbeitung/Aussaat, Düngung, Pflanzenschutz, Ernte und Transport (kumulierte Energieaufwendung) erstellt. Die Differenz aus Bruttoenergieertrag und kumulierte Energieaufwendung wird als Nettoenergieertrag angegeben, der Quotient aus kumulierter Energieaufwendung und Nettoenergieertrag gibt an, wie viel Energie je eingesetzter Energie durch das Verfahren gewonnen werden kann (Ertragsfaktor).
10. Der Energieertrag und die Düngung haben den größten Einfluss auf die Bilanzierung. Bei den Winterkulturen werden die höchsten Ertragsfaktoren mit der Wintergerste (mit Herbizid) erreicht. Der Ertragsfaktor der Prüfglieder Winterroggen und Wickroggen ist vergleichbar. Gemessen an allen untersuchten Prüfgliedern stellt der Bokharaklee die Variante mit der höchsten Energieeffizienz dar.
11. Die aus der deutschsprachigen Literatur bekannten agronomischen Eigenschaften des Bokharaklees konnten durchgängig in den Experimenten nicht bestätigt werden. Das betrifft besonders den Produktionsabschnitt Aussaat. In Nordostdeutschland kann die Frühjahrsaussaat als optimaler Saatzeitpunkt angesehen werden. Der späteste Aussaattermin liegt nach der Körnerernte Wintergerste. Die Ausbildung einer kräftigen Pfahlwurzel ist für die Überwinterung entscheidend.

Aus der vorliegenden Arbeit lassen sich für einzelne Produktionsabschnitte noch keine verbindlichen Empfehlungen zum Mischfruchtanbau für die Biogasgewinnung in der Praxis ableiten. Es fehlen grundsätzliche Erkenntnisse zur Ausbreitung von Krankheiten und Schädlingen, zur Unkrautregulierung und zum Stickstofftransfer im Mischfruchtanbau. Die vorhandenen Erkenntnislücken sind möglichst umgehend durch praxisrelevante Forschungsarbeiten zu schließen. Die höchsten Naturalerträge werden bei den Winterzwischenfrüchten und Sommerkulturen jeweils mit Reinsaat erzielt. Das gilt auch für die Methanflächenerträge. Die aus dem Natural- und Methanertrag errechneten betriebswirtschaftlichen Kennzahlen und die Energiebilanz, die den Ertrag ins Verhältnis zum Aufwand stellt, deuten jedoch nicht darauf hin, dass Reinsaat grundsätzlich geeigneter für die Biogasproduktion sind als Mischsaaten. Bei bestimmten Produktionsbedingungen wird deutlich, dass die Ertragsfähigkeit der Reinsaat, die mit einem höheren Aufwand an Betriebsmitteln „erkauft“ werden muss, nicht ausreicht, um bessere Ergebnisse zu erzielen als mit Mischsaaten. Besonders beim Bokharaklee, Sommerroggen und dem Sommergetreidegemenge auf dem Standort mit der Ackerzahl 25 zeigt sich die Überlegenheit dieser extensiv geführten Kulturen. Die finanzielle Förderung des Leguminosenanbaues und die staatliche Begünstigung der privaten

Pflanzenzüchtung zur Bearbeitung „verloren gegangener“ Feldfrüchte würden sich positiv auf die Existenzsicherung der Landwirte auf den Sandböden auswirken. Aber auch für die gängige konventionelle Landwirtschaft könnte der Mischfruchtanbau als Instrument zur Optimierung von Anbausystemen und Fruchtfolgen hinsichtlich der Stickstoffversorgung, der Unterbrechung von Krankheitsketten, auftretenden Problemunkräutern, Bodenlockerung bei Verdichtungen und der Reproduktion der Bodenfruchtbarkeit dienen.