



**Technologie- und
Förderzentrum**

Abschlussbericht 2008

Entwicklung und Optimierung von standortangepassten Anbausystemen für Energiepflanzen im Fruchtfolgeregime

-Teilprojekt-

Mischfruchtanbau

Bearbeiter: Matthias Dietze,
Landesforschungsanstalt für Landwirtschaft und Fischerei,
Mecklenburg-Vorpommern

Dr. Maendy Fritz und Dr. Kathrin Deiglmayr,
Technologie- und Förderzentrum (TFZ) im
Kompetenzzentrum für Nachwachsende Rohstoffe, Bayern

**Das Projekt wird mit Mitteln des Bundesministeriums für Ernährung,
Landwirtschaft und Verbraucherschutz (BMELV) gefördert und von der
Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR) betreut.**

Inhaltsangabe	Seite
1 Einleitung und Zielstellung	3
2 Material und Methoden	6
2.1 Standortbeschreibung	6
2.1.1 Versuchsstandort Gülzow in Mecklenburg-Vorpommern	6
2.1.2 Versuchsstandorte Ascha und Aholting in Bayern	7
2.2 Wetterdaten	7
2.2.1 Wetterdaten am Versuchsstandort Gülzow	7
2.2.2 Wetterdaten der Versuchsstandorte Ascha und Aholting	9
2.3 Versuchsaufbau des Mischkulturversuchs	9
2.3.1 Versuchsaufbau in Gülzow	10
2.3.2 Versuchsaufbau in Ascha und Aholting	13
2.4 Datenerhebung und Berechnung der Biogaserträge	15
3 Ergebnisse und Diskussion	16
3.1 Ergebnisse der Standorte in Mecklenburg-Vorpommern	16
3.1.1 Winterkulturen in Gülzow	16
3.1.2 Sommerkulturen in Gülzow	23
3.1.3 Gärversuch von ausgewählten Kulturen	27
3.2 Ergebnisse der Standorte in Bayern	29
3.2.1 Winterkulturen in Aholting und Ascha	29
3.2.2 Sommerkulturen in Aholting	33
3.2.3 Auswirkungen des Herbizideinsatzes	36
3.2.3 Erntezeitreihen der Winterkulturen und Sommerkulturen	37
4 Zusammenfassung	39
5 Literaturverzeichnis	42
6 Anhang	

1 Einleitung und Zielstellung

Im Jahr 2000 wurde das 1990 verabschiedete Stromeinspeisungsgesetz durch das „Deutsche Gesetz für den Vorrang Erneuerbarer Energien“ oder kurz „Erneuerbare-Energien-Gesetz“ (EEG) ersetzt. Erhöhte Fördersätze und festgesetzte Förderzeiträume schufen eine Planungssicherheit für Anlagenbetreiber und Investoren. In der novellierten Fassung des EEG (Juli 2004) wurde die Vergütung von Strom aus Biomasse neu geregelt. Über die Besserstellung kleinerer Anlagen mit einer installierten elektrischen Leistung bis 150 KW_{el.} und die Einführung eines Bonussystems wurden günstige ökonomische Rahmenbedingungen für den Einsatz Nachwachsender Rohstoffe („NawaRo-Bonus“) besonders in landwirtschaftlichen Biogasanlagen geschaffen. Ein hohes Investoreninteresse spiegelte sich in der vom Fachverband Biogas vorgenommenen Prognose wieder. Bis zum Jahr 2010 werden 8000 Anlagen Strom einspeisen (2006 ca. 4000). In einer vom Landwirtschaftsministerium Mecklenburg-Vorpommern herausgegebenen Broschüre (Bio-Energieland M-V, 2006) wird für diesen Zeitraum bis 2010 in Mecklenburg-Vorpommern mit einem Anstieg der elektrischen Anschlussleistung von etwa 110 MW bei einem Flächenbedarf für die Biomasseproduktion von 55.000 Hektar ausgegangen. Für den Zeitraum bis 2020 nennen die Autoren als Zielgröße ein Drittel der Ackerfläche (345.000) für den Anbau von „Energiepflanzen“ für die Biogasproduktion. Die Auswirkungen dieser Entwicklung, die immer auch vor dem Hintergrund einer nachhaltigen Energieversorgung, des Klima-, Natur- und Umweltschutzes diskutiert werden, sind heute kaum prognostizierbar. Die Landwirtschaft steht vor einer großen Herausforderung, die viele Chancen bietet, aber auch Risiken birgt.

In einer Abhandlung zur Biogasgewinnung in der Landwirtschaft aus dem Jahre 1953 (POCH) wird bereits darauf hingewiesen, dass *„wenn wir [...] den Weg gehen wollen, aus der ungeheuren großen Menge pflanzlicher Abfallstoffe [...] Energie durch die Erzeugung von Methan zu gewinnen, so können wir als Bodenwirte nur folgen, wenn Gewissheit besteht, dass dadurch niemals eine Verschlechterung unserer Humuswirtschaft eintritt [...]“*.

In der Bundesrepublik Deutschland wurden im Jahr 2007 auf über 2 Millionen Hektar (17 % der Ackerfläche Deutschlands) Nachwachsende Rohstoffe angebaut. Dabei handelt es sich allerdings um nur wenige Arten. Beispielsweise dominiert Mais bei der Erzeugung von Biogas, ein sehr großer Anteil der Fläche wird allerdings auch mit Raps für die Produktion von Biokraftstoffen belegt. Der einseitige hoch konzentrierte Anbau von leistungsfähigen Feldfrüchten kann bereits nach einem relativ kurzfristigen Rotationsumlauf zu Ertragsbeeinträchtigungen durch so genannte Fruchtfolgekrankheiten führen. Die Anzahl der auf diesen Standorten anbauwürdigen Pflanzen ist jedoch noch so hoch, dass durch eine entsprechende Artenfolge konzentrationsbedingte Krankheiten, sowie die Ausbreitung von Unkräutern und tierischen Schädlingen eingegrenzt werden können. Während auf den mittleren und guten Ackerböden der Erhalt der Bodenfruchtbarkeit trotz hoher Abfuhr von Biomasse gewährleistet werden kann, bereitet die gleiche Produktionsweise auf den grundwasserfernen Sandstandorten erhebliche Probleme. Grundwasserferne Sandböden treten in Deutschland sowohl kleinflächig als auch großflächig auf. Auf diesen Standorten sind nur Roggen, Lupinen und Sommergetreide relativ ertragssicher. Silomais, leistungsstarke Futterpflanzen und Kruziferen können nur bei anstehendem Grundwasser angebaut werden. Die Erweiterung des Artenspektrums auf den Sandböden stellt nicht nur aus phytosanitärer Sicht eine zwingende Notwendigkeit dar, sondern ist auch gleichermaßen zum Erhalt der

Bodenfruchtbarkeit erforderlich, da der Erhalt des standortspezifischen Humusspiegels nicht nur für die Steigerung landwirtschaftlicher Erträge, sondern auch als Senke für atmosphärisches Kohlenstoffdioxid eine große Bedeutung hat (REUTER et al., 2007). Die Abfuhr von Biomasse anderer Arten zur Energieerzeugung kann bei dem derzeitigen Anbauverhältnis auch dann nicht befürwortet werden, wenn das gesamte Stroh in den Boden eingearbeitet wird. Die niedrigen Stroherträge und das weite C:N - Verhältnis gewährleisten nicht die einfache Reproduktion der Bodenfruchtbarkeit auf diesen Standorten bei gleichzeitig geringer Tierhaltung. Die Abfuhr von Biomasse würde auf diesen Grenzstandorten in kurzer Zeit zu einem Humus- und Fruchtbarkeitsverlust führen, der eine wirtschaftliche agrarische Produktion ausschließt (MAKOWSKI, 2004).

In Europa geht es zu Beginn des 21. Jahrhunderts nicht nur um die Nahrungsmittelproduktion. Der Landwirt als Energiewirt hat durch umweltgerechte Bewirtschaftungsformen eine neue Perspektive und seine Leistungen werden von der Gesellschaft honoriert. Der Wandel der Ansprüche an die Landwirtschaft erfordert gleichfalls einen Wandel in den Anbausystemen.

Verband sich mit der Novellierung des EEG anfangs noch die Hoffnung, die durch Konzentration auf wenige landwirtschaftliche Fruchtarten verarmte Kulturlandschaft durch den vielseitigen Anbau von „Energiepflanzen“ bereichern zu können, wird heute von vielen Seiten - auch auf Grund stark gestiegener Rohstoffpreise - befürchtet, dass diese Entwicklung zu einer Intensivierung der Landwirtschaft insgesamt und zum einseitigen Maisanbau bei der Energiepflanzenproduktion führen wird. Der Mais eignet sich wegen vieler günstiger Eigenschaften zwar sehr gut für die Energiepflanzenenerzeugung, aber seine Einordnung in Fruchtfolgen mit hohen Weizenanteilen und sein Anbau auf trockenen Sandböden sind nicht unproblematisch. Neben der ertraglichen und ökonomischen Betrachtung dürfen deshalb folgende, nachstehende Fragestellungen nicht vernachlässigt werden, um eine nachhaltige landwirtschaftliche Energieerzeugung zu gewährleisten:

- Wie wirkt sich der Anbau auf die Biodiversität aus?
- Wie wird die Produktionsintensität gegenüber dem Maisanbau verändert (Energieeffizienz, Klimarelevanz, Nachhaltigkeit)?
- Ist die Ertragssicherheit mit herkömmlicher Anbau- und Erntetechnik gegeben?

Eine stärkere Orientierung zu ökologischen Bewirtschaftungsformen in der Landwirtschaft in den neunziger Jahren des letzten Jahrhunderts und die Notwendigkeit, eine höhere Ertragsstabilität auf den Grenzstandorten zu erreichen, haben zu einer „Wiederentdeckung“ des Misanbaus im Ackerbau geführt, da durch dieses Anbausystem auch die Anwendung chemischer Pflanzenschutzmittel herabgesetzt bzw. minimiert werden kann. Und das verwundert nicht: waren es im besonderen Maße, unter Einbeziehung der Minereraldüngung, diese Betriebsmittel, die durch eine ständige Weiterentwicklung und Verfügbarkeit eine intensive Bestandesführung von Reinsaat ermöglichten und den Misanbau nahezu in Vergessenheit geraten ließen.

Ziel des Misanbaus ist es, auf weniger ertragreichen Standorten bei einem niedrigeren Intensitätsniveau höhere und vor allem stabilere Erträge als mit Reinsaat zu erreichen. Dieser Effekt begründet sich mit der ausgeglicheneren Reaktion der Mischsaaten auf die Umwelteinflüsse und der Verringerung der Einflüsse durch Schaderreger und Unkräuter. Im Vergleich zu Reinkulturen bilden

Mischkulturen meist etwas dichtere Bestände mit etagenartigem Aufbau und erreichen damit eine sehr gute Unkrautunterdrückung. Sollte ein Mischkulturbestand doch Verunkrautung über der Schadschwelle aufweisen, ist eine Herbizidbehandlung nicht leicht durchführbar, da immer die Gefahr besteht, einen der Mischungspartner zusammen mit dem Unkraut zu eliminieren. Im Energiepflanzenanbau für die Produktion von Biogas kann jedoch generell ein höherer Unkrautbesatz toleriert werden, da die hochwachsenden Unkräuter zusammen mit der früh geernteten GPS geräumt werden, bevor sie die Samenreife erlangen. Demzufolge dürfte der Mischfruchtanbau besonders für den ökologischen Landbau und trockene Sandböden („Grenzstandorte“) geeignet sein. In Mecklenburg-Vorpommern werden ca. 27 % der Ackerfläche den so genannten Grenzstandorten zugeordnet.

Unter dem Begriff Grenzstandorte werden diejenigen Ackerbaustandorte zusammengefasst, die bei gegebener Marktlage und unter bestimmten agrarpolitischen Rahmenbedingungen nicht kostendeckend produzieren können. Dabei handelt es sich um die natürlichen Standorteinheiten D1, D2 und grundwasserferne D3-Standorte.

Innerhalb des durch das BMELV finanzierten und durch die Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe (FNR) begleiteten Verbundprojektes „Entwicklung und Optimierung standortangepasster Anbausysteme für Energiepflanzen“ stehen zur Erreichung des genannten Zieles im Teilprojekt „Mischfruchtanbau zur energetischen Nutzung auf sandigen Böden“ an der Landesforschungsanstalt für Landwirtschaft und Fischerei Mecklenburg-Vorpommern (LFA) folgende Aufgaben im Vordergrund:

- Prüfung von Futterpflanzen und Körnerfrüchten auf ihre Eignung für den Mischbau nach bereits erarbeiteten Kriterien,
- Ermittlung und Vergleich der Leistungen von Futterpflanzen und Körnerfrüchten im Mischbau und in Reinsaat,
- Erarbeitung von Produktionskennziffern,
- Prüfung „verloren gegangener“ Feldfrüchte mit hoher Biomasseleistung, die auf Grund spezifischer Eigenschaften für Sandböden geeignet waren.

2 Material und Methoden

2.1 Standortbeschreibung

2.1.1 Versuchsstandort Gülzow in Mecklenburg-Vorpommern

Der Mischfruchtanbau wird in Mecklenburg-Vorpommern auf zwei Sandstandorten durchgeführt, die beide zur Landesforschungsanstalt in Gülzow (Kreis Güstrow) gehören. Gülzow befindet sich im Bereich der jungpleistozänen Grundmoränenlandschaft mit Geschiebemergel bzw. Geschiebesanden als Ausgangssubstrat. 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 wieder. Die Substratverteilung ist in Abhängigkeit vom Relief zu sehen und es finden sich, auch durch die landwirtschaftliche Nutzung beeinflusst, kleinräumige lehmige Kuppen und sandige Kolluvien.

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. Auf Grund der Ungleichförmigkeit des Bodensubstrates mit einem Porenvolumen zwischen 36 und 46 % ist der Boden stark verdichtbar.

Der Standort Gülzow befindet sich im Einzugsgebiet der Nebel, so dass der Unterboden teilweise vom Grundwasser bzw. Stauwasser beeinflusst wird. MENNING und SCHEIL (1995) haben trotz Dränung auf dem „Ökofeld“ Gülzow eine Frühjahrsfeuchte über der Feldkapazität festgestellt.

Tab. 1: Kennzeichnung der Bedingungen an den Standorten in Gülzow

	Ökofeld	Grenzstandort
Höhenlage	5 bis 10 m über NN	
Bodentypen	Gleye, Parabraunerde, Kolluvien	Braunerde
Bodenarten des Oberbodens	schwach-lehmige- bzw. schwach-schluffige Sande	schwach-lehmige- bzw. schwach-schluffige Sande
verbreitete Substrate und Substratgruppen	Sand, Sandlehm, Sandtieflerhm	Sand, Sandlehm
Ackerzahl	20 bis 25	20 bis 25
Porenvolumina	36 bis 45 %	nicht bekannt
Humusgehalte	1,36 bis 3,44 %	nicht bekannt

nach Menning und Scheil (1995); Gruber et al. (2004)

2.1.2 Versuchsstandort Ascha und Aholting in Bayern

Der Versuchsstandort Ascha, ca. 20 km nördlich von Straubing auf 430 m über NN gelegen, repräsentiert die Standorte der Vorgebirgs- und Mittelgebirgsregionen mit schlechten bis mittleren Böden, einer niedrigen Temperatursumme und einer guten bis sehr guten Wasserversorgung. Die durchschnittliche Jahrestemperatur beträgt 7,5 °C bei einer jährlichen Niederschlagssumme von 807 mm. Die Standortbedingungen sind in Tabelle 2 dargestellt. In Ascha kamen die winterannuellen Mischungen zum Anbau.

Sowohl winter- als auch sommerannuelle Mischkulturen wurden in der Donauaue bei Aholting, ca. 10 km nordwestlich von Straubing, geprüft. Der Standort Aholting liegt in der Gunstlage des Gäubodens auf 325 m über NN mit einer durchschnittlichen Jahrestemperatur von 8,3 °C und einer jährlichen Niederschlagssumme von 658 mm. Aholting ist zwar erheblich trockener als Ascha, aufgrund des Temperaturverlaufs lassen sich hier dennoch im Allgemeinen höhere Erträge erzielen.

Tab. 2: Kennzeichnung der Bedingungen an den Standorten Ascha und Aholting

	Ascha	Aholting
Höhenlage	43 m über NN	325 m über NN
Bodentypen	Braunerde	Braunerde
Bodenarten des Oberbodens	lehmiger Sand	sandiger Lehm
verbreitetes Ausgangsmaterial	Granite und Gneise mit geringen Lössbeimengungen	nicht bekannt
Ackerzahl	47	40
Humusgehalte	2,2 %	nicht bekannt

2.2 Wetterdaten

2.2.1 Wetterdaten am Versuchsstandort Gülzow

Der Untersuchungsstandort befindet sich im Bützow-Güstrower Becken und ist durch maritimes Binnenklima beeinflusst. 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 monatlichen Durchschnittstemperaturen in den Monaten April bis Oktober außer im August durchgehend höher lagen als im langjährigen Mittel (siehe Anhang). 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 zeigten Niederschlagsdefizite bis zu 38 mm, während der Mai, Juni und September deutlich mehr Regen im Vergleich zum langjährigen Mittel brachte. Dabei ist hervorzuheben, dass es im April 2005 nur ein Niederschlagsereignis mit 12 mm und zwei weiteren mit Niederschlagsmengen < 1 mm gegeben hat. Ebenso war die zweite Junihälfte bis in den Juli hinein sehr trocken; die Abweichungen zum langjährigen Mittel im Juli lassen sich durch zwei Niederschlagsereignisse erklären. Entsprechend war die klimatische Wasserbilanz zwischen März und August mit Ausnahme des Monats Juli (+1 mm) negativ. Im Juni wurde mit -77 mm das höchste Defizit der klimatischen Wasserbilanz verzeichnet.

Die Winterkulturen wurden in Gülzow Anfang September, in Bandow Mitte September gedrillt. Der späte Termin in Bandow ist durch die windexponierte Lage des Versuchfeldes zu erklären, wodurch die erste Anlage verweht und damit wiederholt angelegt werden musste. Da die Monate September und Oktober mit 2,3 °C bzw. 2,5 °C über dem langjährigen Mittel als 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 waren durchschnittlich. Erste Nachtfroste 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, im gewohnten Rahmen. Die gemessenen Temperaturen des ersten Quartals 2006 lagen unter denen des langjährigen Mittels; die Vegetationsruhen 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 könnten 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 Herbstaussaat 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 im Vergleich zum langjährigen Mittel etwa 75 % der Niederschlagsmenge brachten, im gewohnten Rahmen. Die gemessenen Temperaturen des ersten Quartals 2007 lagen deutlich über denen des langjährigen Mittels, so dass der Vegetationsbeginn bereits Mitte März einsetzte und die Sommerkulturen gedrillt werden konnten. Die Monate Januar verzeichneten mit fast 90 bzw. über 40 mm im Vergleich sehr hohe Niederschläge. Der April und die ersten Maiwochen waren durchweg trocken, so dass die Saat verzögert und nur unvollständig aufief, während für die Winterkulturen auf Grund 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, ebenso wie die Folgemonate Juni bis August mit sogar außergewöhnlich hohen Niederschlagssummen.

2.2.2 Wetterdaten der Versuchsstandorte Ascha und Aholting

Die Jahre 2005 bis 2007 waren an den bayerischen Standorten Ascha und Aholting im Vergleich zum langjährigen Mittel überdurchschnittlich warm und niederschlagsreich (siehe Anhang). Der Herbst 2005 war im Vergleich zum langjährigen Mittel deutlich trockener. Der Winter war außergewöhnlich kalt und anfangs relativ niederschlagsarm. Ab Februar setzten Schnee- und Regenfälle ein, so dass vor Mitte April keine Feldarbeit möglich war. Auch der Mai war niederschlagsreich, ermöglichte aber zusammen mit den idealen Bedingungen im Juni ein optimales Pflanzenwachstum. Der Juli war überdurchschnittlich warm und ausgesprochen trocken und löste bei vielen Kulturen Trockenstress bzw. beschleunigte Abreife aus. Der August 2006 war dagegen sehr feucht und kühl, während die darauf folgenden Herbstmonate insgesamt sehr mild und trocken waren. Der Winter 2006/2007 war zuerst noch recht niederschlagsarm. Die Monate Januar und Februar brachten aber deutlich höhere Niederschläge als im langjährigen Mittel. Zur Aussaat der Sommerkulturen im April 2007 wiederum herrschten sowohl in Ascha als auch in Aholting sehr trockene Bedingungen. Die Monate Mai bis Juli waren sehr niederschlagsreich und überdurchschnittlich warm. Hingegen waren August und September 2007 etwas kühler als das langjährige Mittel.

Im Vergleich der beiden bayerischen Standorte sind die Monatsmittel der Lufttemperaturen vergleichbar, während die Niederschlagssummen in Ascha im Allgemeinen höher sind als in Aholting. Normalerweise ist zwischen den beiden Versuchsstandorten Aholting und Ascha ein deutliches Ertragsgefälle feststellbar, da die eher harschen Winter in Ascha die Bestände beeinträchtigen. Eine Ausnahme stellt der milde Winter 2006/2007 dar. In dieser Vegetationsperiode sind keine Ertragsunterschiede zwischen den Standorten in den Kulturen Wintergerste, Winterroggen und Winterraps zu erkennen.

2.3 Versuchsaufbau der Mischkulturversuche

Im Mischfruchtanbau soll geprüft werden, ob sich 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 additiv noch substitutiv aufgebaut,

sondern wurden, um den Anforderungen der einzelnen Mischungspartner Rechnung zu tragen, individuell modular zusammengestellt. Dabei wurden verschiedene Winterkulturen in Mecklenburg-Vorpommern und in Bayern an jeweils zwei Standorten getestet. Die verschiedenen Reinsaaten und Gemenge der Sommerkulturen wurden in Mecklenburg-Vorpommern ebenso an beiden Standorten, in Bayern jedoch nur an einem Standort getestet. Als zusätzlicher Versuchsfaktor wurde eine Herbizidvariante in die Mischkulturversuche integriert.

2.3.1 Versuchsaufbau Gülzow

Die Versuchsanlage ist eine einfaktoriellen Blockanlage mit vier Wiederholungen. Die Zusammenfassung bestimmter Kulturen und deren Gemenge zu Gruppen haben den Hintergrund, weitestgehend Randeffekte ausschließen zu können, ohne dass der Versuch insgesamt zu breit wird.

Beim Winterroggen und bei der Wintergerste wurde jeweils eine Variante mit und ohne Herbizid angelegt. Die Aussaat erfolgte in Gülzow auf beiden Standorten in der ersten Septemberdekade. Die Sorten und Saatstärken der jeweiligen Kulturen sowie die Menge des ausgebrachten Stickstoffs sind in Tabelle 3 aufgeführt. Der Aussaattermin stellte einen Kompromiss an die unterschiedlichen Ansprüche der geprüften Kulturen dar und ist für die Reinsaaten nicht optimal. Mit Ausnahme des Welschen Weidelgrases gab es für keine andere aufgeführte Kultur eine Zulassung. Bacara wurde mit 0,8 l/ha appliziert.

Die Stickstoffgabe für Winterrüben in Reinsaat und im Gemenge wurde gesplittet. Die Ernte des Winterroggens und Gemenge erfolgte zum Grannenspitzen. Auf dem Versuchsstandort Gülzow wurden über Biomasseschnitte der genannten Varianten zur Blüte und Teigreife des Winterroggens weitere Ertragsschätzungen vorgenommen. Die Leguminosen wurden in Reinsaat zu Blühbeginn geerntet; die Ernte der Leguminosen im Gemenge richtete sich nach den Mischungspartnern.

Die wesentlichen Informationen zu Sorten, Saatstärken, Nutzungsform und Düngung der Sommerungen sind in Tabelle 4 dargestellt. Für die Körnernutzung der Lupine wurde die Sorte Boruta und für die Ganzpflanzennutzung die großwüchsige Sorte Borlu gewählt. Die Aussaat konnte auf Grund der Witterung Ende März erfolgen.

Bei der Ernte des Mais und der Mais/Bokharaklee - Mischung wurde der Erntetermin auf die Siloreife des Mais gelegt, beim Sudangras und den Sudangrasgemengen 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 Gemengepartnern; die Ernte der Reinsaaten wurde ebenfalls an den jeweiligen Gemengepartnern 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 Gemenge gegenüber den Reinsaaten ein Biomasseschnitt vorgenommen.

Tab. 3: Übersicht Winterung: Varianten, Sorten, Saatstärke und Düngung

Reinsaaten				
Nr.	Kultur	Sorte	Saatstärke [kg/ha]	Düngung [kg N/ha]
1	W.Roggen	Avanti	180*	80
2	W.Gerste	Merlot	300*	80
3	W.Weidelgras	Fabio	40	80
4	W.Rübsen	Perko PVH	10	120
5	W.Wicke	Dr. B. Otsaat	100	0
6	Bokharaklee		25	0
7	Inkarnatklee	Linkarus	30	0
Gemenge				
Nr.	Kulturen	Sorten	Saatstärke [in % der Reinsaat]	Düngung [kg N/ha]
8	Wickroggen	Avanti, Dr. B. Otsaat	80/50	60
9	W.Roggen + Bokharaklee	Avanti	80/100	60
10	W.Gerste + W.Rübsen	Merlot, Perko PVH	80/60	120
11	W.Gerste + W.Rübsen + W.Wicke	Merlot, Perko PVH, Dr. B. Otsaat	60/40/30	100
12	W.Weidelgras + Inkarnatklee	Fabio	80/20	60
13	Landsberger Gemenge		75/33/20	60

*keimfähige Körner/m²

Tab. 4: Übersicht Sommerung: Varianten, Sorten, Saatstärke und Düngung

Reinsaaten					
Nr.	Kultur	Sorte	Nutzung	Saatstärke [k.f.Kö/m ²]	Düngung [kg N/ha]
1	Mais	Lacta	GPS	8	120
2	Sudangras	Susu	GPS	30*	120
3	S.Roggen	Sorum	GPS	330	80
4	S.Gerste	Djamila	GPS	280	80
5	Hafer	Revisor	GPS	320	80
6	Bokharaklee		GPS	25*	0
7	Lupine	Borlu	GPS	90	0
8	Saflor	Sabina	GPS	30*	80
Gemenge					
Nr.	Kulturen	Sorten	Nutzung	Saatstärke [in % der Reinsaat]	Düngung [kg N/ha]
9	Mais + Bokharaklee		GPS	75/50	80
10	Sudangras + Bokharaklee		GPS	75/50	80
11	Sudangras + Lupine		GPS	75/50	80
12	S.Roggen + S.Gerste + Hafer		GPS	50/50/50	80
13	S.Roggen + Bokharaklee		GPS	75/50	60
14	Lupine + Bokharaklee + S.Gerste		GPS	50/50/50	60
15	Lupine + Saflor + S.Gerste		GPS	50/50/50	60
16	Lupine + S.Gerste		GPS	75/75	60

*[kg/ha]

2.3.2 Versuchsaufbau in Ascha und Aholting

Die Varianten der Winterungen im Mischkulturversuch stimmen weitgehend mit den in Mecklenburg-Vorpommern getesteten Varianten überein (Tab. 5). Auf den Standorten in Bayern wurde zusätzlich der Winterraps in Reinsaat und im Gemenge geprüft, dafür auf das Prüfglied Klee gras verzichtet. Ferner wurden Erntezeitpunkte teilweise unterschiedlich festgelegt. Als Versuchsdesign wurde für beide Standorte eine Blockanlage gewählt.

Tab. 5: Übersicht zu Varianten, Sorten, Saatstärken und Düngung der getesteten Winterungen in Bayern an den Standorten Ascha und Aholting

Reinsaaten				
Nr.	Kultur	Sorte	Saatstärke [kg/ha]	Düngung [kg N/ha]
1	W.Gerste	Merlot	167	130
2	W.Roggen	Pollino	100	130
3	W.Raps	Elektra	4,8	180
4	W.Rübsen	Perko PVH	3,4	180
5	W.Wicken	Dr. B. Ostsaat	50	0
6	Welsches Weidelgras	Taurus	34,8	100
7	Steinklee	Steinklee gelb	25	0
8	Inkarnatklee	Linkarus	30	0
Gemenge				
Nr.	Kulturen	Sorten	Saatstärke [in % der Reinsaat]	Düngung [kg N/ha]
9	Wickroggen	Pollino, Dr. B. Ostsaat	80 / 40	105
10	Landsberger Gemenge	Taurus, Dr. B. Ostsaat, Linkarus	85 / 40 / 45	80
11	W.Gerste + W.Rübsen + Wicke	Merlot, Perko PVH, Dr. B. Ostsaat	70 / 40 / 30	150
12	W.Gerste+ W.Rübsen	Merlot, Perko PVH	70 / 50	150
13	W.Roggen + Steinklee	Pollino, Steinklee gelb	80 / 80	105
14	W.Raps + Wicken	Elektra, Dr. B. Ostsaat	60 / 40	110

Insbesondere bei den geprüften Varianten der Sommerkulturen gab es Unterschiede zwischen den Standorten in Mecklenburg-Vorpommern und in Bayern (Tab. 6). Im

Gegensatz zu Gülzow wurde neben der Ganzpflanzenernte keine Körnerernte durchgeführt. Leindotter wurde in Reinsaat und im Gemenge mit Sommergerste und Futtererbse als Ganzpflanze geerntet. Neben Leindotter und Saflor wurde mit Senf in Ascha und Aholting eine weitere Ölpflanze geprüft. Auf Mais, Sudangras und deren Gemenge wurde verzichtet.

Tab. 6: Übersicht zu Varianten, Sorten, Saatstärken und Düngung der getesteten Sommerungen in Bayern an dem Standort Aholting

Reinsaaten				
Nr.	Kultur	Sorte	Saatstärke [kg/ha]	Düngung [kg N/ha]
1	S.Gerste	Djamila	156	120
2	Futtererbse	Santana	279	0
3	Blaue Lupine	Boruta	151	0
4	Leindotter	Ligena	5,2	100
5	Senf	Samba	10,5	120
6	Saflor	Sabina	24,4	100
Gemenge				
Nr.	Kulturen	Sorten	Saatstärke [in % der Reinsaat]	Düngung [kg N/ha]
7	S.Gerste + Erbse	Djamila, Santana	75 / 75	90
8	S.Gerste + Leindotter	Djamila, Ligena	80 / 50	110
9	S.Gerste + Saflor	Djamila, Sabina	90 / 60	110
10	Erbse + Leindotter	Santana, Ligena	100 / 50	50
11	Lupine + Saflor	Boruta, Sabina	50 / 60	70
12	Lupine + Saflor + S.Gerste	Boruta, Sabina, Djamila	50 / 50 / 50	80
13	S.Gerste + Senf	Djamila, Samba	80 / 50	120
14	S.Gerste + Senf + Erbse	Djamila, Samba, Santana	50 / 50 / 30	80

Wie auch in Mecklenburg-Vorpommern wurde in den Reinsaaten der Winterkulturen (Wintergerste, Winterroggen, Winterraps) sowie der Sommerkulturen (Sommergerste, Futtererbse, Blaue Lupine, Leindotter) eine Herbizidvariante integriert.

Zusätzlich wurde in Bayern in der Vegetationsperiode 2006/2007 ein Versuch zum idealen Erntezeitpunkt in den Mischkulturversuch integriert, da bezüglich des Erntezeitfensters für Ganzpflanzensilagen (GPS) in der Praxis noch viele Fragen offen sind. Eine frühe Räumung der Erstfrucht erlaubt eine längere Kulturdauer der

meist ertragreicheren Zweitfrucht (schnell wachsende Kulturen wie Mais, Sonnenblume, Sorghumhirsen oder Futtergräser und deren Mischungen). Daher wird oft eine Ernte des GPS-Getreides zum Grannenspitzen empfohlen. Wird der ersten Kultur eine längere Vegetationszeit eingeräumt, verbessern sich die Siliereigenschaften mit steigendem Trockensubstanzgehalt enorm, ein Anwelken des Schnittgutes mit der Gefahr der Verschmutzung ist nicht mehr nötig und der Trockenmasseertrag sowie der Energiegehalt des Aufwuchses steigen. Kritisch gesehen wird allerdings ein zu starkes Abreifen der Pflanzenbestände über die Teigreife hinaus, da dann der hohe Trockensubstanzgehalt ein verlustarmes Einsilieren verhindert und die Verdaulichkeit des Materials durch die Lignifizierung vermindert wird. Bevor geklärt werden kann, wie die Erntezeitpunkte der Kulturen in einem Anbausystem mit schnell folgender Zweitfrucht gestaltet werden sollten, müssen zuerst die optimalen Erntezeitpunkte der GPS-Kulturen ermittelt werden, an denen sich Biomassegewinn durch weitere Abreife und Biogasverlust durch verminderte Verdaulichkeit aufheben. Ziel der zusätzlich in die Mischkulturversuche integrierten Erntezeitreihen war eine Ermittlung der Trockenmasseerträge und Trockensubstanzgehalte bedeutender GPS-Kulturen im Reinanbau.

2.4 Datenerhebung und Berechnung der Biogaserträge

Die Datenerfassung erfolgt im Verbundprojekt nach einheitlichen Kriterien. In allen Versuchen wurden zu festgelegten Wuchsstadien Daten zur Bodenbedeckung der Kulturen sowie des Unkrautbesatzes, zum Krankheits- und Schädlingsbefall und zur Bestandeshöhe erhoben und durch regelmäßige Bodenproben sowie Wetterdaten der Region ergänzt. Zur Ernte wurden bei den Gemengen der Mischkulturversuche die einzelnen Massenanteile bestimmt.

Von allen Kulturen wurden Pflanzenproben zur Trockensubstanzbestimmung und zur Analyse der Inhaltsstoffe entnommen. Über die Inhaltsstoffe und die Trockenmasseerträge wird mittels Schätzformeln die Biogas- und Methanausbeute je kg organischer Trockenmasse (im Folgenden je kg oTM), die Biogas- und Methanerträge in Kubikmeter je Hektar und der Heizwert der jeweiligen Kultur bestimmt. Dabei sind für jede Kultur wuchsstadienspezifische Verdaulichkeitskoeffizienten der relevanten Inhaltsstoffe nötig, die hauptsächlich den DLG-Futterwerttabellen Wiederkäuer (1997) entnommen wurden. Bei den Kulturen Leindotter und Inkarnatklée, für die in der Literatur keine Verdaulichkeitskoeffizienten vorliegen, wurden die Verdaulichkeiten von Rübsen und Rotklée zur Berechnung herangezogen. Die errechneten Biogas- und Methanerträge sowie die Heizwerte wurden bisher noch nicht statistisch analysiert. Für die Mischkulturversuche und vereinzelte Varianten aus den Fruchtfolgeversuchen ist mit den errechneten Biogaserträgen generell keine statistische Auswertung in Bezug auf signifikante Unterschiede möglich, da nur prüfgliedweise Proben entnommen wurden.

Neben der Berechnung der Biogaspotentiale wurden zum Vergleich die Proben des Erntejahres 2007 von einem Standort in Gülzow Gärversuchen zugeführt. Denn nicht zu allen geprüften Pflanzen existieren Verdaulichkeitskoeffizienten, die für die Berechnung der Biogaspotentiale notwendig sind. Darüber hinaus handelt es sich bei dem „Mischsubstrat“ um heterogenes Ausgangsmaterial.

3 Ergebnisse und Diskussion

3.1 Ergebnisse der Standorte in Mecklenburg-Vorpommern

3.1.1 Winterkulturen in Gülzow

Die vorwinterliche Entwicklung der einzelnen Kulturen auf dem Standort Gülzow verlief 2005 sehr unterschiedlich. Raps, 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 auf Grund der verspäteten Aussaat anders da. 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. Raps und die Rapsgerne wurden auf beiden Standorten als „ausgewintert“ bonitiert. Ebenso der Weißblühende Bokharaklee in Reinsaat und in der Roggenmischung. Der Inkarnatklee wies ebenfalls Winterschäden auf. In Folge der sommerlichen ersten Maihälfte entwickelten sich die Bestände gut, der Winterrübsen jedoch ging sehr schnell, ohne sich zu verzweigen, von der vegetativen in die generative Phase über. Von den Gras- und Klee-grasvariante waren Folgeschnitte auf Grund der lang anhaltenden Trockenheit nicht möglich.

Die Vegetationsperiode 2006/07 unterschied sich insofern, dass trotz des Kompromisses bezüglich des Aussaattermines (02.09.2006) nicht nur das Wintergetreide und der Winterrübsen eine günstige Entwicklung nahmen, sondern auch die Leguminosen und Ackergrasvarianten in Reinsaat und Mischkultur Bestände etablierten. Anders der Weißblühende Bokharaklee in Reinsaat und in der Roggenmischung, der vor 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 im September nicht mehr möglich. Auch die in Bayern durchgeführte Variante, den Bokharaklee im Frühjahr in einen Roggenbestand zu eggen, schlug fehl. Der Inkarnatklee hingegen wies im Gegensatz zum Vorjahr in der Frühjahrsbonitur keine Winterschäden auf. Der frühe Beginn der Vegetationszeit in 2007 wirkte sich positiv auf die nachwinterliche Entwicklung der Varianten 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 die Niederschläge für die wasserzehrenden Varianten ausreichend fielen.

Die Gegenüberstellung der Versuchsjahre 2006 und 2007 auf dem Standort Gülzow –Ökofeld zeigt, dass mit den geprüften Varianten im zweiten Versuchsjahr durchweg höhere Biomasseerträge erzielt wurden (Abb. 1). Die Ertragsunterschiede der einzelnen Varianten sind dabei sehr differenziert zu betrachten. Während in der Summe aller Varianten 2006 nur 49 % der Biomasseerträge des Erntejahres 2007 erreicht wurde, bleiben die Ertragsunterschiede der Varianten Winterroggen ohne Herbizid (-11 %), Winterroggen mit Herbizid (-3 %) und Wickroggen (-1 %) bzw. Winterroggen + Bokharaklee (+3 %) zwischen den Jahren überschaubar. Die Winterroggenvarianten in Reinsaat und im Gemenge mit Steinklee bzw. Winterwicke wurde zum Grannenspitzen des Winterroggens geerntet. Ebenso wie bei allen anderen Prüfvarianten auch, erfolgte die Ernte 2007 zu einem früheren Zeitpunkt, als im Vorjahr. Die Gemenge aus Wintergerste, Winterrübsen und Winterwicken und

auch die Winterrübsen in Reinsaat wurden zur Blüte der Winterrübsen geerntet, wo hingegen die Wintergerste in Reinsaat zur Teigreife vom Versuchsfeld genommen wurde. Die durchschnittlichen Mittelwerte der Wintergerste mit und ohne Herbizid unterscheiden sich im Gegensatz zu den Winterroggenvarianten für das Erntejahr 2007 signifikant. Der starke Unkrautdruck lässt die Herbizidmaßnahme (0,8 l Bacara/ha) unter diesen Standortbedingungen bei Wintergerste sinnvoll erscheinen.

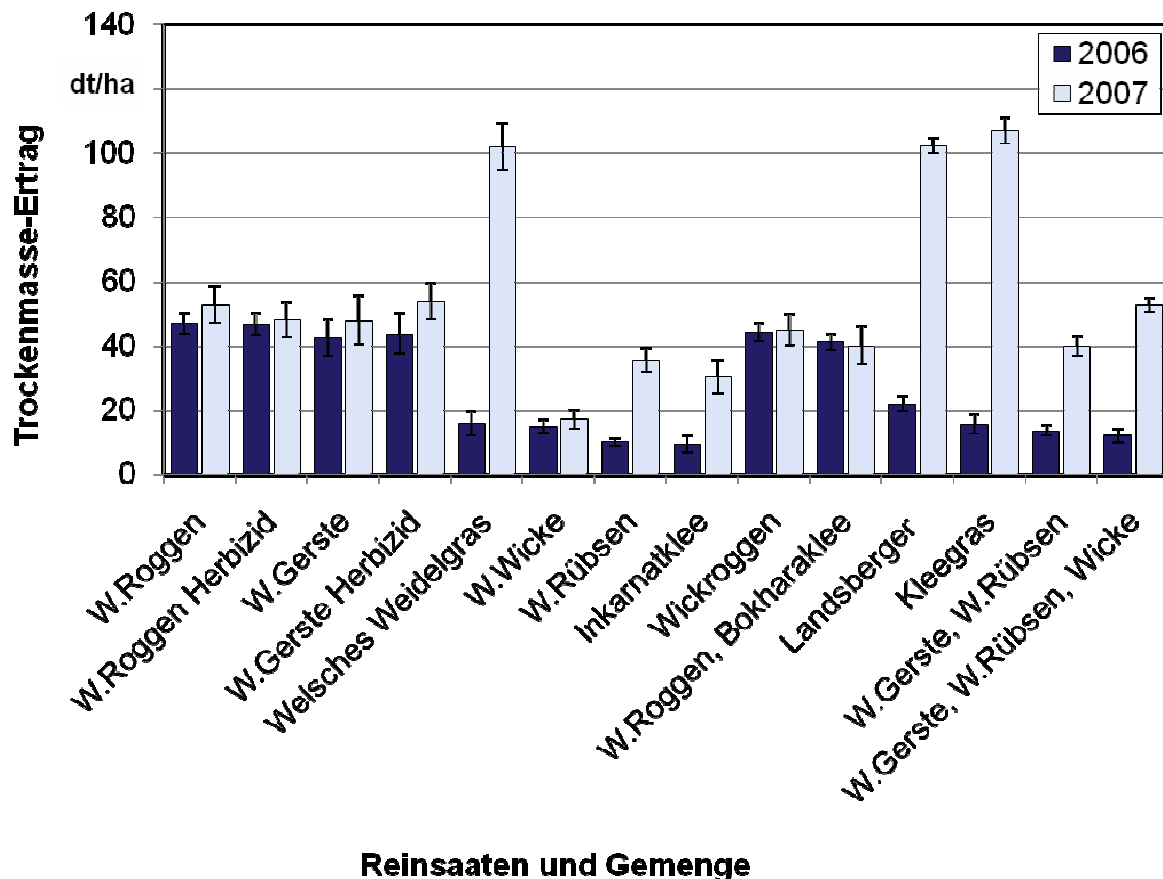


Abb. 1: Vergleich zwischen den Trockenmasseerträgen der Winterkulturen aus den Erntejahren 2006 und 2007 am Versuchsstandort Gülzow - Ökofeld in Mecklenburg-Vorpommern. Dargestellt sind die arithmetischen Mittelwerte mit $n = 4$ sowie die Standardfehler. (siehe Anhang B Tab.4)

Für beide Versuchsjahre und alle Varianten gilt, dass ein starker Besatz mit den Leitunkräutern Ackerkrummhals, Kamille und Weißer Gänsefuß festgestellt wurde, der durch ein mehrschnittiges Nutzungsregime in den Klee grasvarianten 2007 deutlich reduziert werden konnte.

Gegenüber den Winterrübsen in Reinsaat und im Gemenge ist der Jahreseffekt der Varianten Wintergerste mit und ohne Herbizid weniger deutlich ausgeprägt. Zwar besitzt der Winterrübsen eine gegenüber dem Winterraps größere Winterhärte, die sich mit der tieferen Lage des Vegetationskegels erklären lässt, allerdings ist er auf Grund seines früheren Wachstumsbeginn im Frühjahr anfälliger gegenüber Spätfrösten. SEIFFERT (1968) kommt daher zu der Einschätzung, dass die

Auswinterungsverluste der Winterrübsen in etwa vergleichbar mit denen des Winterrapses sind. Diese Witterungsbedingungen haben im Erntejahr 2006 große Verluste in den Winterrübsenparzellen bedingt, die auch im Gemenge von den Mischungspartnern Wintergerste und Winterwicke nicht kompensiert werden konnten.

Im Vergleich der Jahre zeigen sich jedoch auf diesem Standort die deutlichsten Effekte bei den Gras- und Klee grasvarianten. Im Versuchsjahr 2006/2007 erbrachten die Varianten Weidelgras, Klee gras und Landsberger Gemenge mit durchschnittlich über 100 dt TM/ha 2007 in der Summe von drei Schnitten die höchsten Ertragsleistungen auf dem Standort Gülzow Ökofeld. Im Versuchsjahr 2005/2006 war bedingt durch die geringen Niederschläge im Juni und Juli nur ein Schnitt möglich. Aber auch im Vergleich des ersten Aufwuchses, der mit Erträgen von über 50 dt TM/ha im Jahr 2007 in etwa das Ertragsniveau des Wintergetreides hat, zeigt sich ein deutlicher Unterschied gegenüber dem Jahr 2006. An den Folgeaufwüchsen hatten die Mischungspartner Inkarnatklee und Winterwicke keinen Ertragsanteil. Der erste Schnitt erfolgte im zweiten Versuchsjahr am 09. Mai und damit rund zwei Wochen früher, als im Vorjahr. Die Trockensubstanzgehalte dieser Varianten lagen bei ca. 20 %.

Die Ertragsleistung der Prüfglieder Winterwicke und Inkarnatklee fielen erwartungsgemäß hinter den anderen Varianten zurück. Die Winterwicke war in Reinsaat nicht nur auf Grund ihrer niedrigen Ertragsleistung nicht anbauwürdig, sondern auch, weil die Bestände sehr schnell zusammenbrachen und dadurch das Erntegut stark verunreinigt wurde. Der rankende Wuchs der Winterwicke macht diese Kultur allerdings zu einem in vielen Gemengen vertretenen Mischungspartner.

Ein grundsätzlicher Ertragsvorteil der Gemenge gegenüber den entsprechenden Reinsaat lässt sich auf diesem Standort nicht ableiten. Auffallend ist, dass der durchschnittliche Ertrag des Gemenges aus Winterrübsen, Wintergerste und Winterwicke deutlich über der Reinsaat der Winterrübsen lag und mit 52 dt TM/ha im Versuchsjahr 2007 mit der Herbizidvariante der wesentlich später geernteten Wintergerste vergleichbar war.

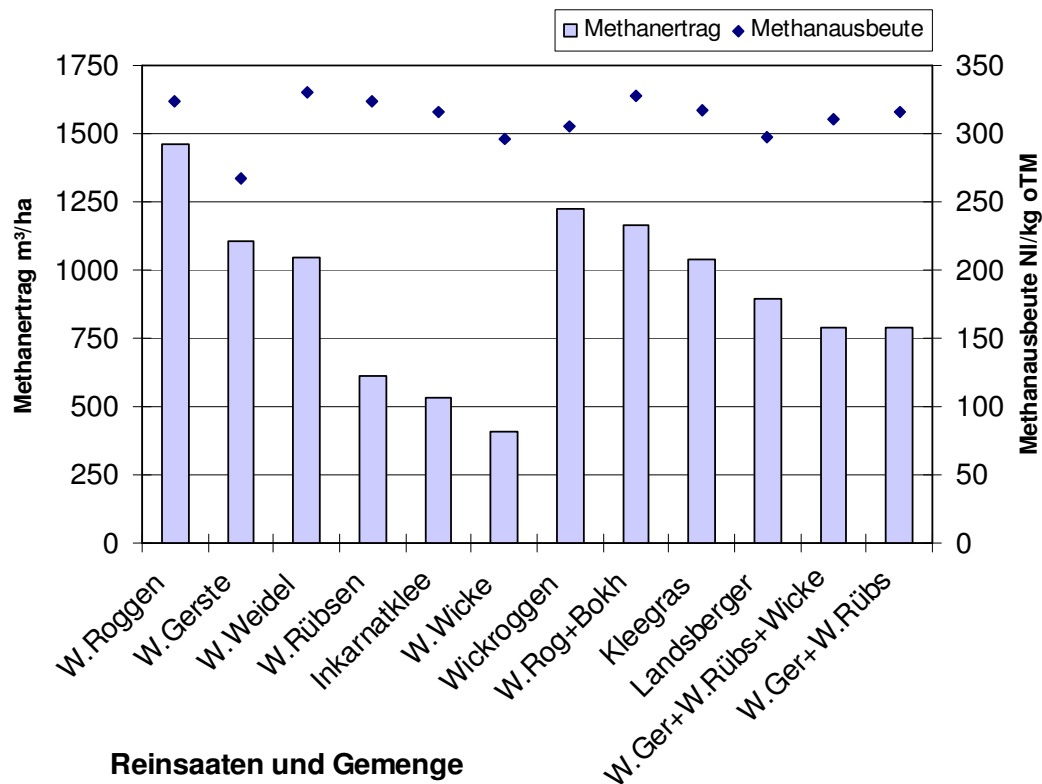


Abb. 2: Methanerträge im Winterungs-Mischkulturversuch der Versuchsjahre 2006 und 2007 (Mittelwerte) am Standort Gülzow - Ökofeld in Mecklenburg-Vorpommern (siehe Anhang C Tab.3)

Die in Abbildung 2 dargestellten theoretischen Methanerträge in m³/ha bzw. Normalliter/kg organische Trockenmasse wurden mit der bereits erwähnten Rechenformel ermittelt. Zwischen der Variante Winterroggen und der Winterwicke liegen mehr als 1000 m³ Methan/ha. Die in Abbildung 2 nicht dargestellten Methanerträge der Folgeaufwüchse der Gras- und Klee grasvarianten lagen für den zweiten Schnitt zwischen 600 und 650 m³ Methan/ha bzw. 530 Normalliter Methan/kg oTM und den dritten Aufwuchs zwischen 680 und 760 m³ Methan/ha bzw. 560 Normalliter Methan/kg oTM.

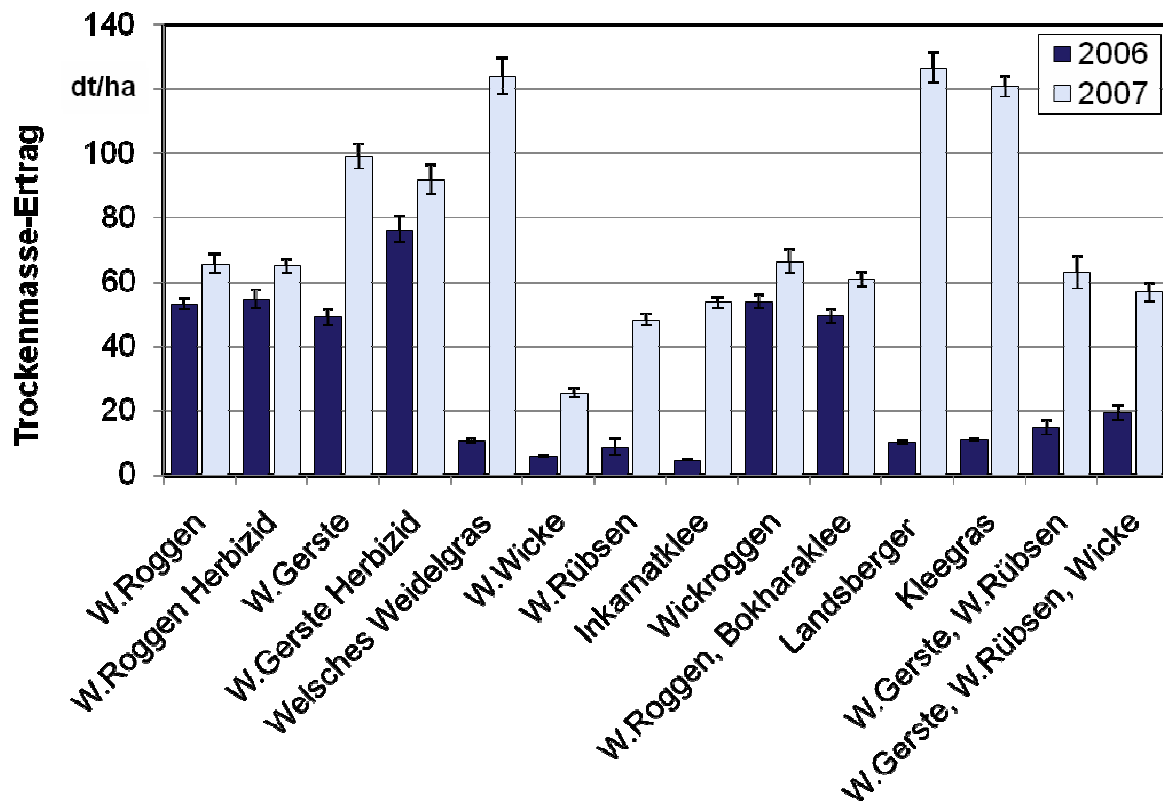
Bezogen auf die organische Trockenmasse wurden durch die Rechenformel Unterschiede von 130 Normalliter/kg oTM oder 20 % zwischen dem Welschen Weidelgras (1. Schnitt) und Wintergerste festgestellt. Die Biomasseerträge der Wintergerste reichten nicht aus, die niedrigeren Methangehalte zu kompensieren, um hohe Methanhektarerträge zu erzielen. Im Vergleich der Reinsaat Winterrübsen bzw. Winterroggen mit den jeweiligen Gemengen, die diese Kulturen als Mischungspartner beinhalten, zeigte sich auch, dass das vermeintliche Argument für den Mischfruchtanbau, durch die Produktion sich qualitativ ergänzender Biomassen höhere Methanausbeuten zu erreichen, durch die rechnerisch ermittelten Methanerträge nicht bestätigt werden konnte.

Auch für den Grenzstandort in Gülzow galt, dass zwischen den Jahren zum Teil erhebliche Unterschiede bezüglich Ernteterminen, Ertrag und Trockensubstanzgehalten beobachtet werden konnten.

Im Vergleich der Standorte kann festgestellt werden, dass in Gülzow auf dem Versuchsfeld „Grenzstandort“ höhere Erträge erzielt wurden, als auf dem „Ökofeld“. Bei der Betrachtung der durchschnittlichen Erträge aller Varianten auf dem Grenzstandort kann ebenso wie auf dem Ökofeld ein deutlicher Jahreseffekt festgehalten werden. Im Erntejahr 2006 werden sogar nur 40 % der Biomasseerträge des Folgejahres erreicht. Neben den auch für den anderen Standort aufgeführten Gründen kommt hinzu, dass der Versuch zur Anlage Anfang September 2005 durch Winderosion so stark betroffen wurde, dass er Mitte September nochmals angelegt werden musste. Während das Wintergetreide mit dieser Aussaatverzögerung zeitlich näher an den optimalen Aussattermin gerückt ist, verstärkte dieser Umstand für die übrigen Kulturen, für die auch schon der ursprünglich angedachte Aussattermin ein Kompromiss dargestellt hat, die schlechten Entwicklungsbedingungen.

Am deutlichsten wird dieser Jahreseffekt wiederum bei den Varianten Gras- und Klee gras sowie Winterrübsen in Reinsaat und im Gemenge. Die summierten Erträge der dreischnittigen Varianten Welsches Weidelgras, Klee gras und Landsberger Gemenge im Versuchsjahr 2006/2007 erzielten auch auf dem Grenzstandort die höchsten Erträge, allerdings auf einem ca. 20 Prozent höheren Ertragsniveau als auf dem Ökofeld. Der Vergleich der beiden ersten Aufwüchse auf dem Grenzstandort zeigte, dass 2006 nur ca. 20 % des Ertragsniveaus des Jahres 2007 erreicht wurde.

Analog zum Ökofeld konnten für die Gemenge aus Winterrübsen, Winterwicke und Wintergerste bzw. Winterrübsen und Wintergerste zwar höhere Erträge als für die Winterrübsen in Reinsaat ausgewiesen werden, aber nur auf dem Grenzstandort und nur im Versuchsjahr 2007 konnten für diese Gemenge Erträge ermittelt werden, die in etwa in Höhe des Versuchsmittels von 64 dt TM/ha lagen. Ebenfalls vergleichbar mit den Ertragsrelationen des anderen Versuchsfeldes war auf dem Grenzstandort die Variante Winterrübsen in Reinsaat. Gegenüber 2006 konnten im Folgejahr zwar deutlich höhere Erträge erzielt werden, die 2007 allerdings auch nur bei 75 % des Versuchsmittels liegen. Das Ertragniveau der Prüfglieder Winterwicke (25 dt TM/ha) und Inkarnatklee (54 dt TM/ha) war 2007 auf dem Grenzstandort auch deutlich höher als 2006 und ebenso höher als auf dem Standort Ökofeld.



Reinsaaten und Gemenge

Abb. 3: Vergleich zwischen den Trockenmasseerträgen der Winterkulturen aus den Erntejahren 2006 und 2007 am Versuchsstandort Gülzow - Grenzstandort in Mecklenburg-Vorpommern. Dargestellt sind die arithmetischen Mittelwerte mit $n = 4$ sowie die Standardfehler. (siehe Anhang B Tab.5)

Für die Prüfglieder Winterroggen und Winterroggengemenge wurden auf dem Grenzstandort höhere Erträge als auf dem Ökofeld ermittelt. Der Jahresvergleich auf dem Grenzstandort zeigten jedoch in etwa dem anderen Standort vergleichbare Relationen. Verglichen mit dem Standortmitteln wurden mit den Winterroggenvarianten 2006 deutlich höher, 2007 durchschnittliche Erträge erzielt.

Sowohl für das Versuchsjahr 2007, als auch für 2006 konnte festgehalten werden, dass die Wintergerste mit und ohne Herbizid die höchsten Erträge erbrachte. Für die Wintergerste mit Herbizid wurde 2007 ein adjustierter Mittelwert von 91 dt TM/ha, für die extensive Variante ohne Herbizid mit 99 dt TM/ha sogar ein höherer Ertrag gemessen. Ebenso wie auf dem Ökofeld war der Ertragsunterschied zwischen diesen Varianten signifikant, was zu der Aussage führt, dass die Entscheidung über einen Herbizideinsatz bei der Getreideganzpflanzenproduktion mit Wintergerste, anders als mit Winterroggen, in Abhängigkeit vom Unkrautbesatz des Standortes getroffen werden muss.

Ertragsvorteile der Gemenge gegenüber der Reinsaat haben sich auch auf dem Grenzstandort nicht ergeben, wenn das Ergebnis des leistungsstärksten Gemengepartners in Reinsaat zu Grunde gelegt wird. Allerdings wurden

beispielsweise mit dem Wickroggen der Reinsaat vergleichbare Erträge bei vermindertem Stickstoffeinsatz erzielt.

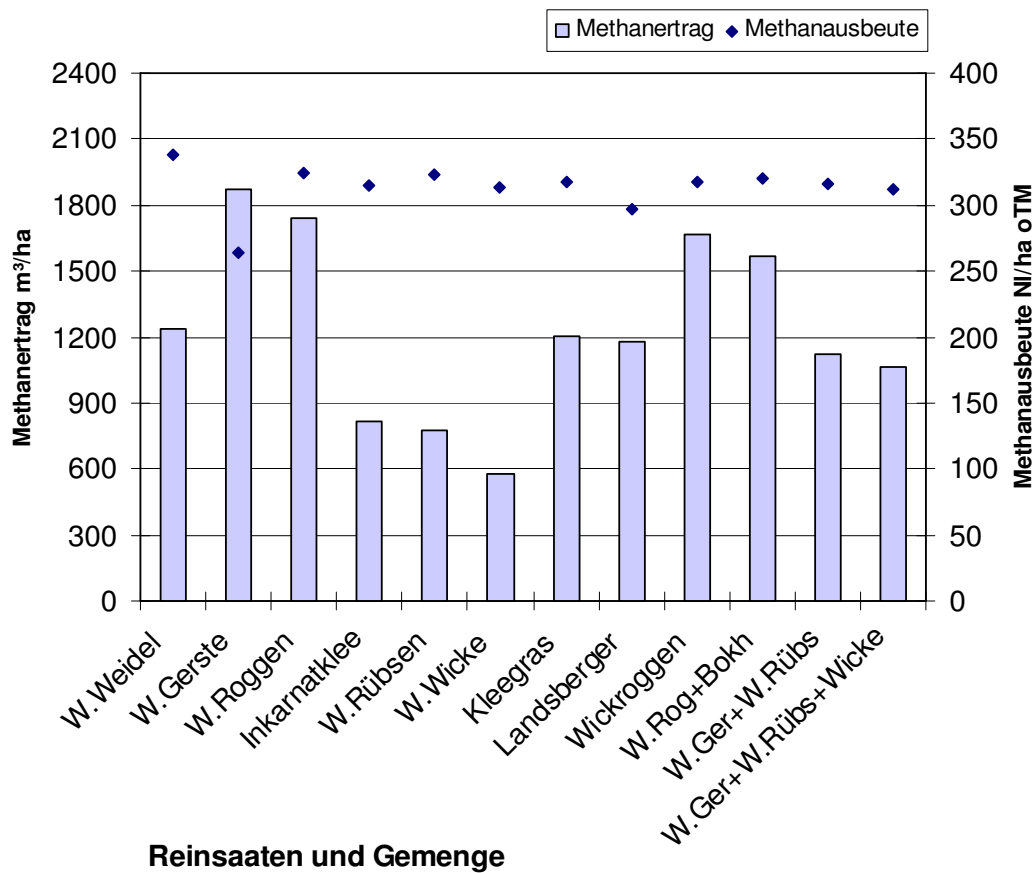


Abb. 4: Methanerträge im Winterungs-Mischkulturversuch der Versuchsjahre 2006 und 2007 (Mittelwerte) am Standort Gülzow - Grenzstandort in Mecklenburg-Vorpommern (siehe Anhang C Tab.4)

Die theoretischen Methanausbeuten (NI/kg oTM) des Weidelgrases lagen auch auf dem Grenzstandort ca. 20 Prozent über denen der Wintergerste. Bei den Methanausbeuten traten zwischen den Standorten, mit Ausnahme des Wickroggens, keine wesentlichen Differenzen auf, was den Rückschluss zulässt, dass die Substrate sich bezüglich ihrer Roh Nährstoffgehalte nicht wesentlich unterschieden. Die Methanhektarerträge stiegen auf den Grenzstandorten entsprechend den höheren Biomasseerträgen deutlich. Mit der dreischnittigen Weidelgrasvariante konnten im Versuchsjahr 2007 rechnerisch 3500 m³ Methan/ha produziert werden. Das sind ca. 600 m³ Methan/ha mehr, als im Vergleichszeitraum mit dieser Variante auf dem Ökofeld erzeugt werden konnten.

Die absolut höchsten Erträge wurden ebenso wie auf dem anderen Standort mit Reinsaaten erzielt. Neben dem Winterroggen erwies sich die Variante Wickroggen auf beiden Standorten über die Jahre als relativ ertragsstabil. Auch was die Methanerträge angeht, ließ sich auf beiden Standorten kein Vorteil der Mischungen gegenüber den Reinsaaten ableiten.

3.1.2 Sommerkulturen in Gülzow

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 auf Grund 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 manifestierten sich Trockenschäden, besonders auf dem „Ökofeld“.

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

Zu den Leitunkräutern auf dem „Grenzstandort“ zählten die Kamille, Acker-Stiefmütterchen, Hirtentäschel, Acker-Hellerkraut, Weißer Gänsefuß und Acker-Krummhals. Auf dem „Ökofeld“ fand sich in etwa dieses Spektrum, allerdings mit einem starken 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 wurden von der Wetterstation Gülzow nur 3 mm Regenwasser erfasst. Am 07.05.2007 wurde mit 8,9 mm das erste nennenswerte Niederschlagsereignis am 40. Tag nach der Aussaat dokumentiert. In Folge 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 16. Sudangras und die Sudangrasgemenge wurde am 06.06.2007 in den stehenden Versuch gedrillt, was sich als sehr schwierig herausstellte. Infolge unpräziser Tiefenablage des Saatgutes und einer Verschlemmung der Ackerkrume war der Auflauf beim Sudangras nicht zufrieden stellend.

Mit dem Mais wurden im Mittel der Jahre trotz des Standortes und eines ungünstigen Witterungsverlaufes für Ackerfutterpflanzen im Versuchsjahr 2006 die mit Abstand höchsten Erträge auf dem Standort „Ökofeld“ erzielt. Dabei konnten zwischen den Jahren große Unterschiede beobachtet werden. Das Gemenge aus Mais und Steinklee, fiel dahinter deutlich ab. Zwischen den Jahren waren allerdings auf Grund der Witterung große Unterschiede zwischen den Ertragsanteilen des Steinklees in diesem Gemenge zu beobachten. Der durchschnittliche Ertrag dieser Variante ist über beide Versuchsjahre betrachtet konstant, während der Maisertrag auf dem „Ökofeld“ im Jahr 2006 ca. 30 % niedriger lag als 2007.

Außer dem Mais, der auch erst Ende April gelegt wurde, haben im Versuchsjahr 2007 auf Grund der lang anhaltenden Trockenheit alle anderen Varianten auf dem Standort „Ökofeld“ geringere Erträge gebildet, als im Vorjahr. Die durchschnittliche Biomasseproduktion aller Varianten auf diesem Standort weist zwischen den Jahren jedoch nur marginale Unterschiede auf.

Mit dem Getreidegemenge wurden im Mittel der Versuchsjahre annähernd so hohe Naturalerträge erzielt, wie mit der Variante Sommerroggen. Mit allen übrigen

Gemengen konnte auf diesem Standort weder im Durchschnitt noch in Einzeljahren Erträge über 50 dt TM/ha erzeugt werden.

Der Steinklee erbrachte in Reinsaat im Vergleich der Jahre 2006 auf dem „Ökofeld“ fast 30 % höhere Erträge als 2007. Die deutlichen Ertragsunterschiede zwischen der Reinsaat des Steinklees und den Gemengen mit Steinklee während beider Versuchsjahre lassen sich mit dem Erntetermin und der Schnitthöhe erklären. In Reinsaat erfolgte der Schnitt zur Maisernte; im Gemenge mit Hafer und Sommergerste + Lupine richtete sich der Termin nach der Milch-/Teigreife des Getreides. Zu diesem Zeitpunkt musste der Schnitt höher genommen werden, damit der Steinklee sich regenerieren kann. Zum späten Schnittzeitpunkt der Reinsaat hatten sich bereits Triebe auf der Wurzelkrone gebildet. In einem zweischnittigen, überjährigen Nutzungsregime wurde mit dieser Variante ein Trockenmasseertrag von 180 dt/ha erzielt.

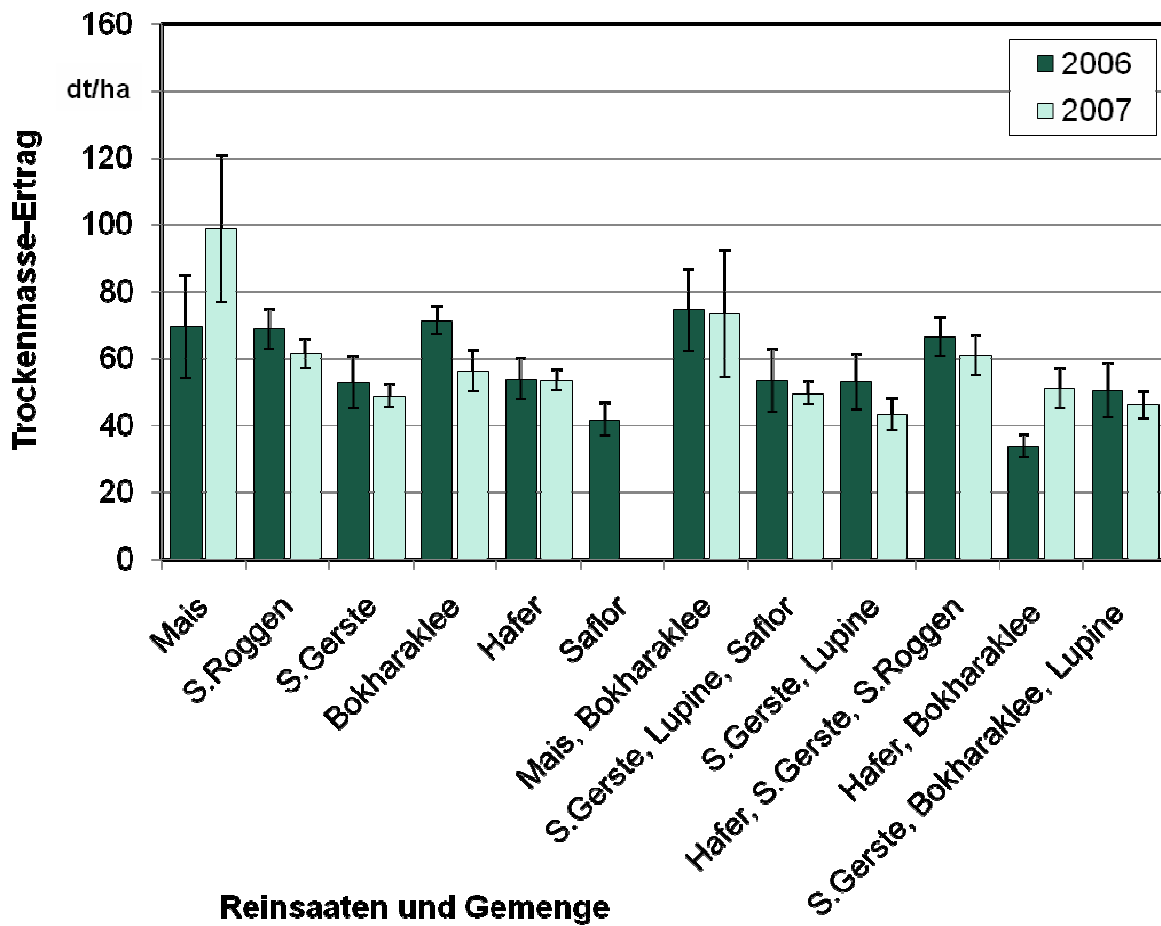


Abb. 5: Vergleich zwischen den Trockenmasseerträgen der Sommerkulturen aus den Erntejahren 2006 und 2007 am Versuchsstandort Gülzow-Ökofeld in Mecklenburg-Vorpommern. Dargestellt sind die arithmetischen Mittelwerte mit $n = 4$ sowie die Standardfehler. (siehe Anhang B Tab. 6)

Die Schwankungsbreite der theoretischen Biogasausbeuten betrug auf dem Ökofeld zwischen dem Prüfglied Mais mit 560 NI Biogas/kg oTM und dem Gemenge aus Lupine, Steinklee und Saflor mit 460 NI Biogas/kg oTM ca. 20 Prozent. Die hohen Biogasausbeuten des Gemenges aus Hafer und Steinklee verwunderten, da für den Steinklee nur Biogasausbeuten von 465 NI/kg oTM und den Hafer 477 NI/kg oTM errechnet wurden. Das Prüfglied Steinklee Reinsaat wurde allerdings auch erst Mitte September geerntet. Das Gemenge aus Hafer und Steinklee hingegen wurde bereits Anfang Juli geerntet. Zu diesem Zeitpunkt war die Verdaulichkeit der Rohnährstoffe im Steinklee deutlich höher als zu dem späteren Erntetermin. Auch wenn es zum Teil deutliche Unterschiede bezüglich der Biogasausbeuten zwischen den Varianten gab, führte eine Beurteilung der Prüfglieder nach den potentiellen Methanhektarerträgen zu keiner anderen Wertung. Lediglich das Gemenge aus Hafer und Steinklee näherte sich wegen der hohen Biogasausbeuten trotz geringerer Biomasseerträge den Methanhektarerträgen der Sommergerste an.

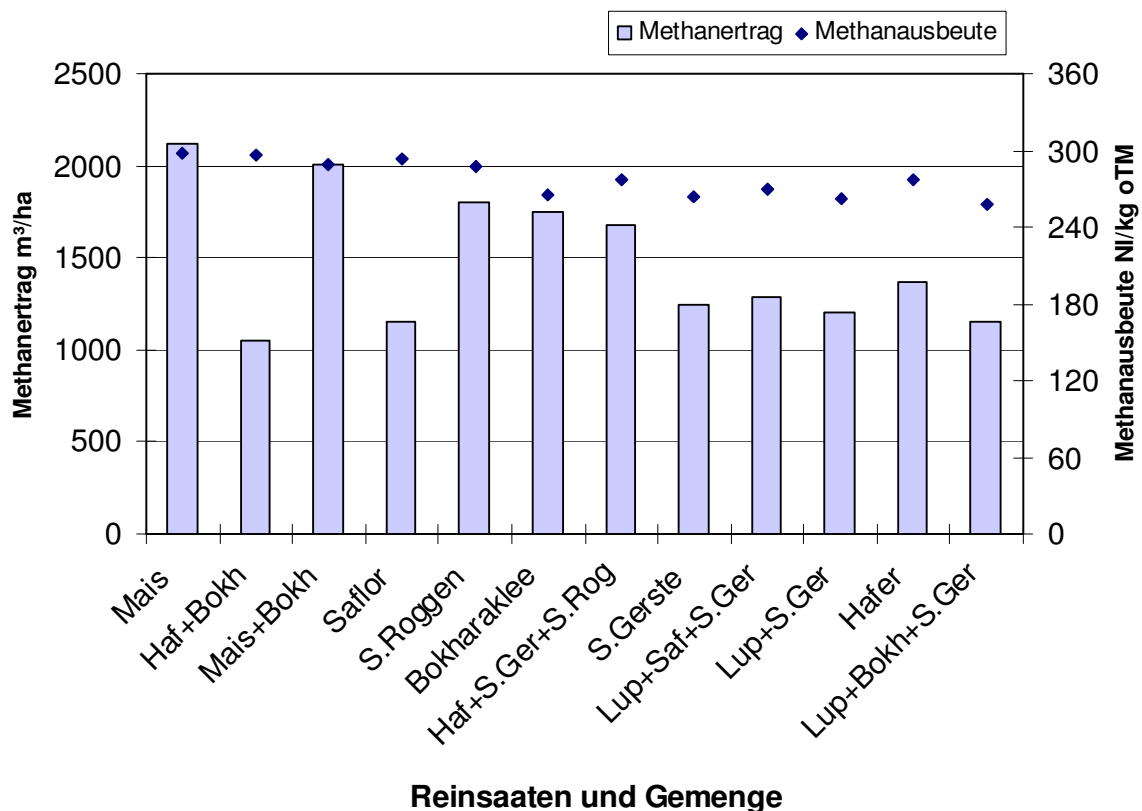


Abb. 6: Methanerträge im Sommerungs-Mischkulturversuch der Versuchsjahre 2006 und 2007 (Mittelwerte) am Standort Gülzow - Ökofeld in Mecklenburg-Vorpommern. (siehe Anhang C Tab.1)

Der Mais erzielte auch auf dem Grenzstandort die höchsten Biomasseerträge. Steinklee und Mais mit der Steinkleeuntersaat ordneten sich auf einem Ertragsniveau dahinter ein. Ausgehend vom Naturalertrag war auf dem Grenzstandort ein im Vergleich zum Ökofeld gegenläufiges Ergebnis. Der Maisertrag lag 2007 um 30 % tiefer als im Vorjahr. Dies entspricht auch dem Unterschied in den durchschnittlichen jährlichen Biomasseerträgen aller Varianten auf den einzelnen Standorten. Trotzdem stellt der Mais 2007 relativ gesehen mit 190 % zum Versuchsmittel die stärkste Variante aller Standorte und Jahre.

Neben dem Bokharaklee, der das Ertragsniveau des Vorjahres gehalten hat, konnte im Vergleich der einzelnen Varianten über die Jahre auf diesem Standort 2007 lediglich mit dem Prüfglied Saflor höhere Biomasseerträge erzielt werden. Der Saflor, auch als Färberdistel bekannt, gilt als ausgesprochen trockenresistente Pflanze. Mit dem Gemenge aus Lupine, Saflor und Sommergerste konnten auf diesem Standort sowohl im Mittel beider Versuchsjahre als auch in den einzelnen Jahren höhere Erträge erzielt werden, als mit den jeweiligen Mischungspartnern in Reinsaat.

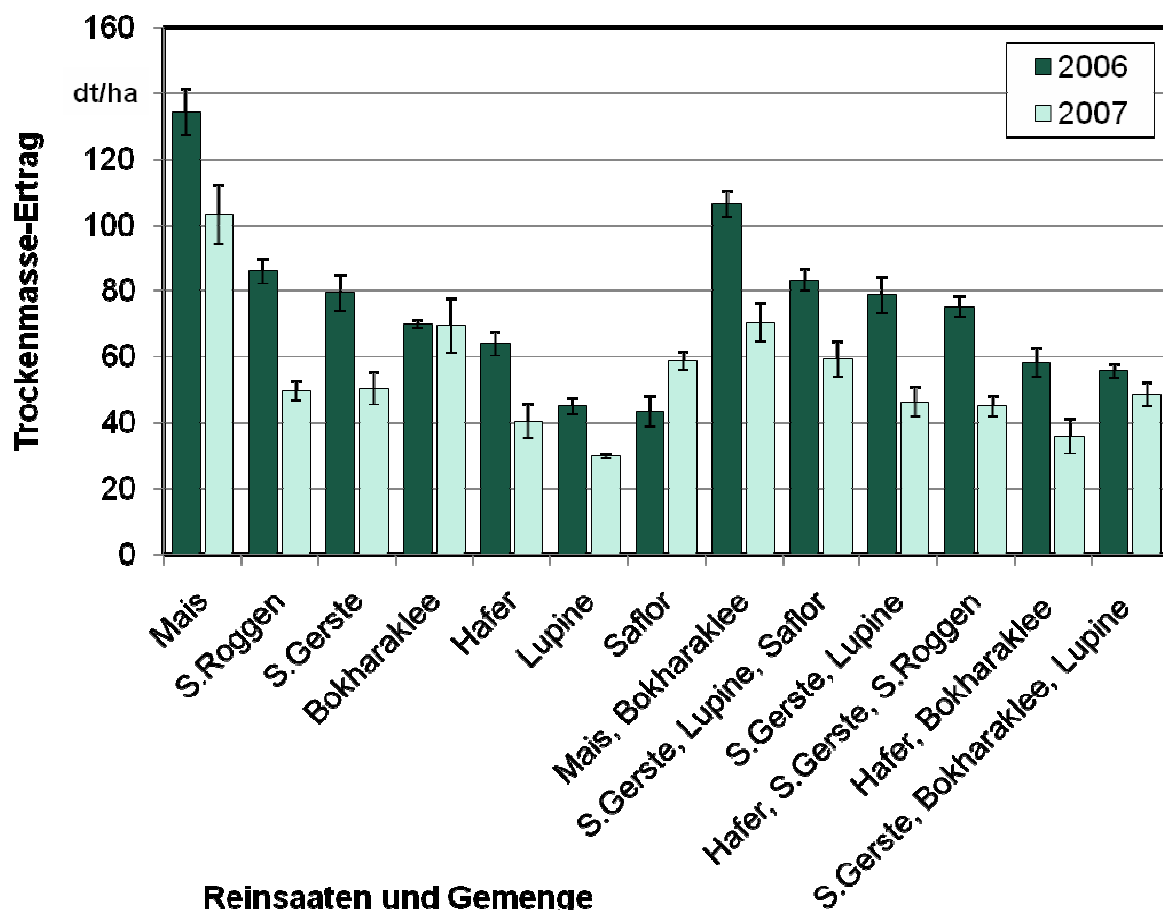


Abb. 7: Vergleich zwischen den Trockenmasseerträgen der Sommerkulturen aus den Erntejahren 2006 und 2007 am Versuchsstandort Gülzow - Grenzstandort in Mecklenburg-Vorpommern. Dargestellt sind die arithmetischen Mittelwerte mit $n = 4$ sowie die Standardfehler. (siehe Anhang B Tab 7)

Der Biomasseertrag der Lupine in Reinsaat fällt 2007 deutlich ab, allerdings muss der Ertrag im Vergleich zu den anderen Varianten auch im Versuchsjahr 2006 niedrig eingeschätzt werden. Der Ertragsabfall des Gemenges aus Sommergerste und Lupine 2007 gegenüber dem Vorjahr war ebenso drastisch, wie der der Varianten des Sommergetreides und des Getreidegemenges. Ebenso wie im Winterungsversuch wurde die Stickstoffdüngung in Gemengen mit Leguminosen reduziert.

Die rechnerische Biogasausbeute vom Mais war auch auf dem Grenzstandort, ebenfalls mit 560 NI/kg oTM am höchsten. Die auf dem Ökofeld ausgefallenen Varianten Saflor und Lupine trennten auf dem Grenzstandort pro Kilogramm organische Trockensubstanz etwa 90 Normalliter Biogas/kg oTM. Ansonsten entsprachen sich die Biogasausbeuten der Prüfglieder auf beiden Standorten. Die theoretischen Methanhektarerträge lagen im Mittel der Jahre zwischen 850 und 3500 m³/ha bei Lupine bzw. Mais.

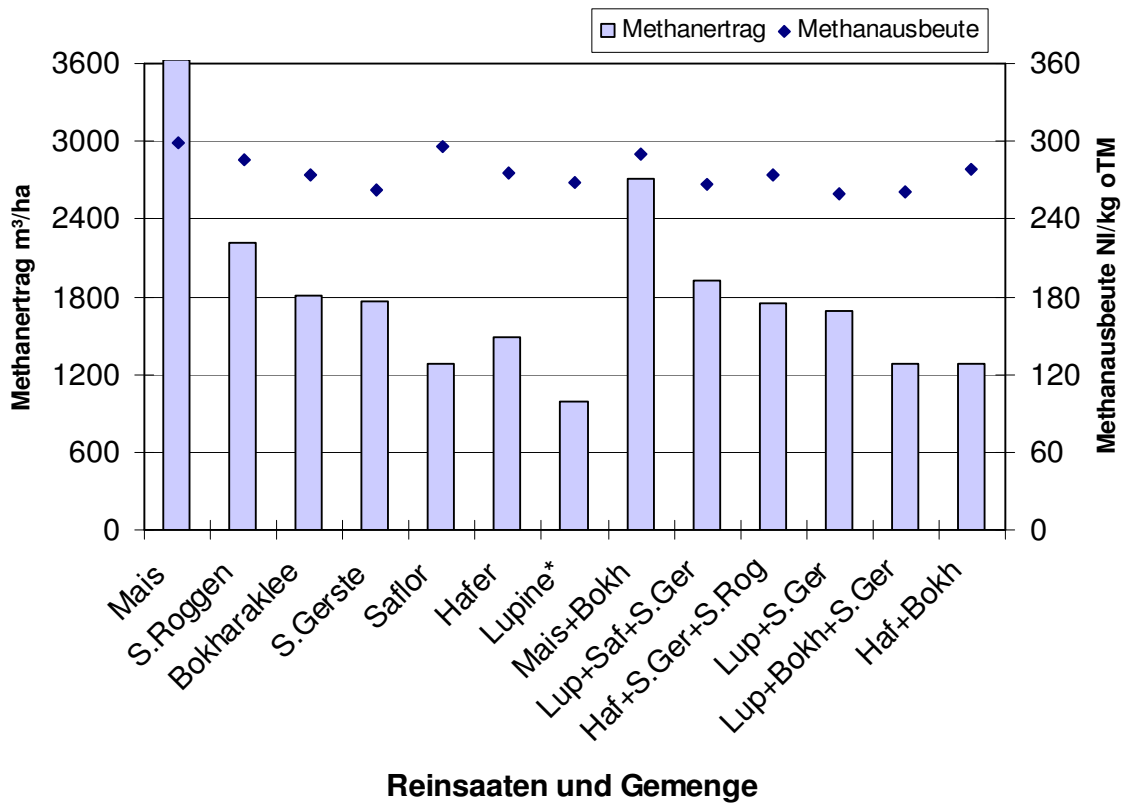


Abb. 8: Methanerträge im Sommerungs-Mischkulturversuch der Versuchsjahre 2006 und 2007 (Mittelwerte) am Standort Gülzow - Grenzstandort in Mecklenburg-Vorpommern (siehe Anhang C Tab. 2)

3.1.3 Gärversuch von ausgewählten Kulturen

Die Abschätzung der Gasausbeute bestimmter Substrate ist für die Biogasanlagendimensionierung von Bedeutung. Darüber hinaus ist es für die Anbauplanung eines landwirtschaftlichen Betriebes ebenso wichtig, potentielle Biogaserträge und benötigte Substratmengen abschätzen zu können. Bei der Ermittlung von Biogaserträgen sind sowohl Rechenmodelle als auch Batchversuche mit Vor- und Nachteilen behaftet. Rechenformeln sind dann einfach anwendbar, wenn Angaben zu den Inhaltsstoffen und deren Verdaulichkeit vorliegen. Zur Überprüfung der Eignung einzelner Substratgruppen und deren Methanbildungsvermögen auch im zeitlichen Verlauf eignen sich Batchversuche, für die die VDI-Richtlinie 4630 gilt (KTBL, 2006).

Die in Tabelle 7 gegenüber gestellten Methanerträge der Winterkulturen in Normalliter/kg oTM zeigen in vielen Fällen Abweichungen und zwar nicht nur bei den Gemengen, sondern auch bei den Reinsaat. Differenzen kleiner oder gleich 5 % treten bei den 12 geprüften Varianten dreimal, Differenzen größer oder gleich 10 % achtmal auf. Für die Ermittlung der Biogaserträge von Mischsubstraten stellt sich für Rechenmodelle das Problem, dass die einzelnen Ertragsanteile zur Gewichtung in der Rechenformel nur abgeschätzt werden können. Darüber hinaus enthält die DLG-Futterwerttabelle Wiederkäuer (1997) keine Werte für ältere Kulturpflanzen (Steinklee, Saflor, Zottelwicke, Inkarnatklee). Auch sinken die Verdaulichkeiten mit fortschreitender Vegetationsentwicklung, so dass falsche Wuchsstadien zwangsläufig auch zu einer fehlerhaften Einschätzung der Biogaspotentiale führen.

Eine Tendenz zur Überschätzung oder Unterschätzung der Biogasgehalte mit der einen oder anderen Methode lässt sich nicht feststellen. Die Mittelwerte der Methangehalte NI/kg oTM aller Prüfglieder weichen nur um 0,4 % voneinander ab.

Tab.7: Vergleich der rechnerisch und im Gärversuch ermittelten Methanerträge der Winterkulturen 2007

Reinsaat	Methanerträge					
	rechnerisch			Gärversuch		
	% in Gas	NI/kg oTM	in m ³ /ha	% in Gas	NI/kg oTM	in m ³ /ha
W.Roggen	56	320	1867	54	328	1912
W.Gerste	54	262	2340	54	304	2708
W.Weidel	55	338	1925	52	288	1643
W.Rübsen	56	324	1301	52	373	1496
Inkarnatklee	57	312	1392	52	345	1540
W.Wicke	59	312	655	58	385	808
Gemenge						
W.Rog+Bokh	56	320	1684	53	254	1335
Wickroggen	57	327	1830	52	344	1926
Kleegrass	55	337	1928	51	288	1644
Landsberger	55	295	1726	53	300	1756
W.Ger+W.Rübs	57	346	1856	54	319	1707
W.Ger+W.Rübs+W.Wi	56	341	1637	53	294	1409

Der Vergleich der Methanerträge der Sommerkulturen zeigt ein ähnliches, schwer interpretierbares Bild. Nur für ein Wertepaar kann eine Differenz kleiner oder gleich

5 % beobachtet werden. Erwähnenswert ist, dass es sich hierbei um die Methangehalte des Saflors handelt. Die Verdaulichkeiten zur rechnerischen Ermittlung der theoretischen Methangehalte wurden älterer Literatur entnommen (BECKER & NEHRING, 1969). Eine weitere gute Übereinstimmung lässt sich für den Bokharaklee feststellen. Die für diese Pflanze ausgewiesenen Methangehalte (NI/kg oTM) in Tabelle 8 unterscheiden sich zwar um 14 %, allerdings kann der Fehler in diesem Beispiel gut nachvollzogen werden. Für die Verdaulichkeit der Rohnährstoffe des Bokharaklees gibt es auch in der älteren Literatur nur Angaben zu den zwei Wuchsstadien „vor Blüte“ und „Blühbeginn“. Obwohl der Steinklee im ersten Anbaujahr gar nicht zur Blüte kommen sollte (Einzelpflanzen blühen trotzdem), ist davon auszugehen, dass die Verdaulichkeit der Rohnährstoffe zum Zeitpunkt der Ernte unter den verfügbaren Werten liegt. Für den ebenfalls 2007 zu „Blühbeginn“ geernteten zweiten Aufwuchs des 2006 gesäten Bokharaklees wurden im Gärversuch 270 NI Methan/kg oTM festgestellt. Dieser Wert entspricht dem mit den „falschen“ Verdaulichkeitskennziffern berechneten theoretischen Biogasgehalt des Bokharaklees gut. Die meisten der 13 Prüfglieder, nämlich 8, weichen um mehr als 10 % (und davon 4 um mehr als 20 %) voneinander ab. Tendenziell lassen sich über Gärversuche höhere Methanausbeuten (NI/kg oTM) feststellen.

Tab. 8: Vergleich der rechnerisch und im Gärversuch ermittelten Methanerträge der Sommerkulturen 2007

Reinsaat	Methanerträge					
	rechnerisch			Gärversuch		
	% in Gas	NI/kg oTM	in m ³ /ha	% in Gas	NI/kg oTM	in m ³ /ha
Mais	54	297	2935	50	315	3112
S.Roggen	55	294	1382	60	330	1549
S.Gerste	55	262	1227	52	288	1352
Hafer	56	262	974	60	284	1052
Bokharaklee	53	264	1676	50	231	1468
Lupine	57	252	675	55	302	807
Saflor	55	295	1580	49	287	1537
Gemenge						
Mais+Bokh	54	291	1941	52	254	1693
Hafer+S.Ger+S.Rog	55	272	1132	53	225	936
Hafer+Bokh	55	310	1016	51	238	779
Lup+Bokh+S.Ger	55	253	1108	57	369	1613
Lup+Saf+S.Ger	55	265	1454	59	364	1998
Lup+Ger	55	254	1083	51	272	1160

3.2 Ergebnisse der Standorte in Bayern

3.2.1 Winterkulturen in Ascha und Aholting

Im Vergleich der beiden Versuchsjahre profitierten die Winterkulturen 2006/2007 in Ascha vom milden Winter und erbrachten im Allgemeinen einen höheren Biomasse-Ertrag als die Winterungen 2005/2006 (Abb. 9). In Aholting war ein entgegengesetzter Trend zu beobachten (Abb. 10). Hier beeinträchtigte die Trockenheit im April 2007 die Ertragsleistung der Winterungen teils erheblich. Die

höchsten Erträge über die beiden Vegetationsperioden wurden in Ascha mit der Reinsaat Winterroggen und dem Gemenge Wickroggen mit im Mittel 141 dt TM/ha bzw. 125 dt TM/ha (-11 %) erzielt.

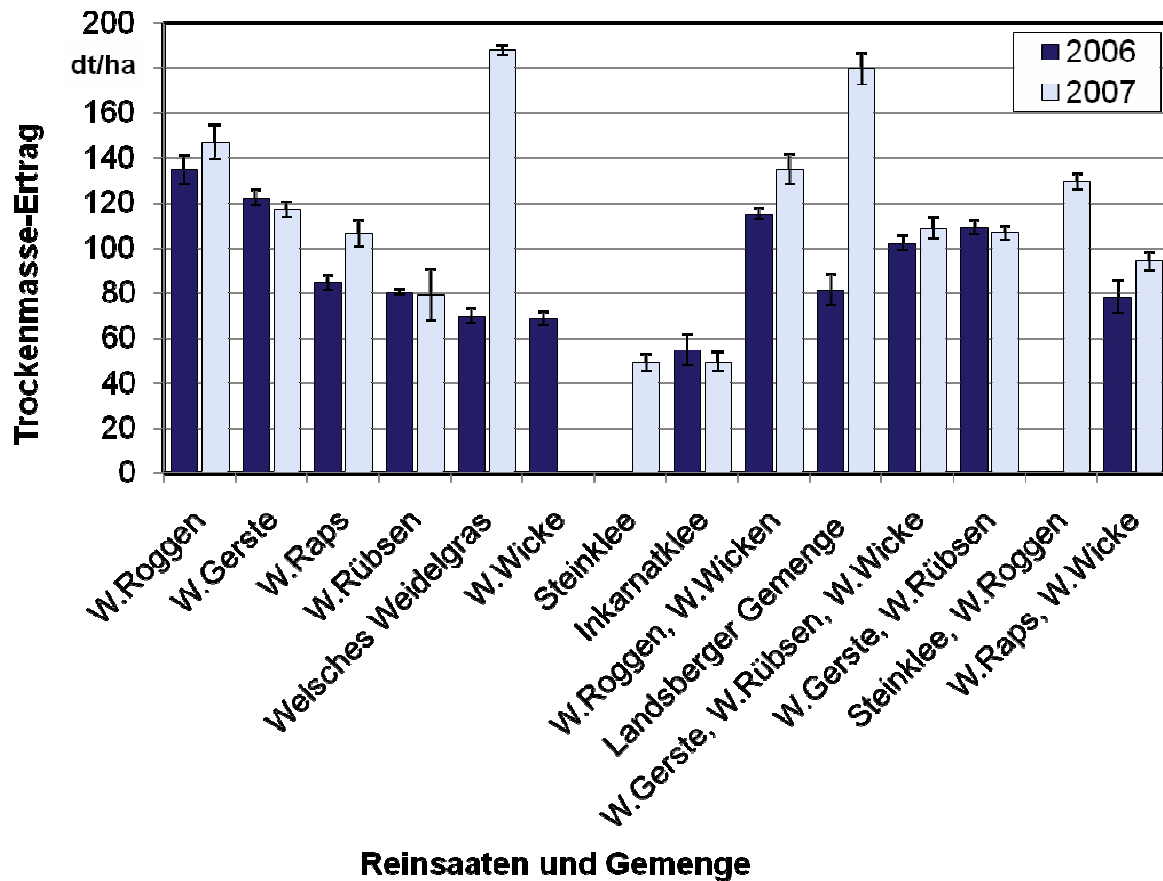


Abb.9 : Vergleich zwischen den Trockenmasse-Erträgen der Winterkulturen aus den Erntejahren 2006 und 2007 am Versuchsstandort Ascha in Bayern. Dargestellt sind die arithmetischen Mittelwerte mit $n = 4$ sowie die Standardfehler. (siehe Anhang B Tab.1)

In Aholting waren diese beiden Varianten ebenfalls die ertragreichsten Varianten. Aufgrund des besseren Ertragspotentials dieses Standorts konnte im Schnitt sogar 22 dt TM/ha mehr Biomasse geerntet werden. Im Hinblick auf die geringere Ertragsleistung des Gemenges Wickroggen, ist die um 25 kg N/ha reduzierte Stickstoffdüngung zu berücksichtigen.

Noch höhere Erträge von über 180 dt TM/ha wurden 2007 mit Welschem Weidelgras und Landsberger Gemenge erzielt, die an beiden Versuchsstandorten jeweils vier Mal geschnitten wurden. Dies bedeutete eine Änderung gegenüber der Versuchsdurchführung im Vorjahr, erlaubte aber eine Aussage über die maximal möglichen Erträge bei Nutzung als Ackerfutter. Weder zwischen den beiden Varianten noch zwischen den beiden Standorten waren Unterschiede im Gesamtertrag feststellbar. Nach dem ersten Schnitt waren Wicke und Inkarnatklee im Landsberger Gemenge so gut wie nicht mehr feststellbar. Wird nur eine Nutzung als Winterzwischenfrucht angestrebt, können beide Varianten nur einmalig geschnitten und müssen dann umgebrochen werden. Mit dem ersten Schnitt wurden in Aholting

84 dt TM/ha mit dem Welschen Weidelgras und 78 dt TM/ha mit dem Landsberger Gemenge erzielt. Die Trockensubstanzgehalte lagen bei 19 %, so dass ein Anwelken für verlustarmes Silieren ratsam wäre.

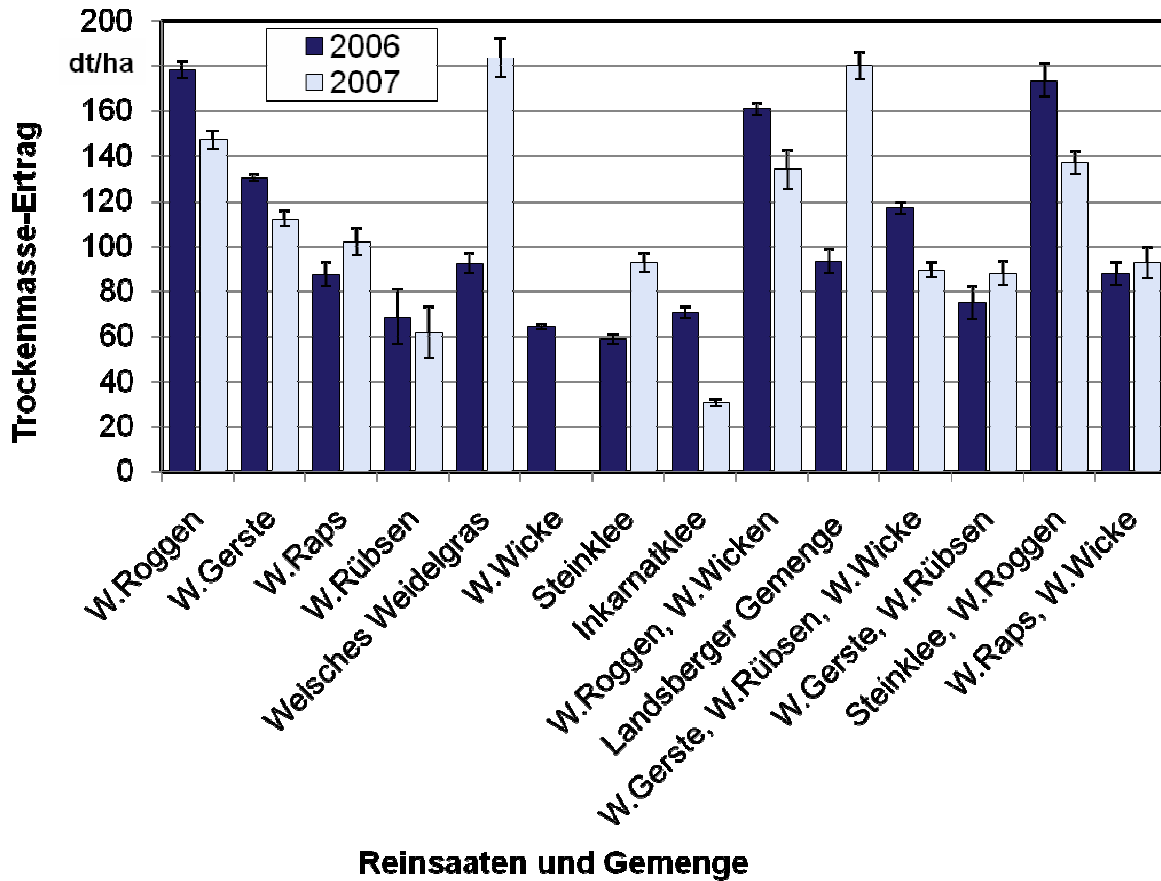


Abb. 10 : Vergleich zwischen den Trockenmasse-Erträgen der Winterkulturen aus den Erntejahren 2006 und 2007 am Versuchsstandort Aholting in Bayern. Dargestellt sind die arithmetischen Mittelwerte mit $n = 4$ sowie die Standardfehler. (siehe Anhang B Tab.2)

In Ascha lagen die Erträge des ersten Schnitts höher, bei 101 dt TM/ha für Welsches Weidelgras und 100 dt TM/ha für das Landsberger Gemenge, mit Trockensubstanzgehalten von 22 %. Die Mehrererträge in Ascha ließen sich damit erklären, dass die dort bessere Wassernachlieferung sehr günstig in der Frühjahrstrockenheit war.

Wintergerste zeigte sich über beide Standorte und Versuchsjahre relativ ertragsstabil mit durchschnittlich 120 dt TM/ha. Die Gemenge Wintergerste-Winterrübsen und Wintergerste-Winterrübsen-Winterwicke erreichten in Ascha etwas niedrigere, aber beständige Trockenmasse-Erträge von 108 dt TM/ha und 105 dt TM/ha. Dagegen zeigte in Aholting insbesondere das Wintergerste-Winterrübsen-Winterwicken-Gemenge sehr schwankende Erträge von 117 dt TM/ha in 2006 und 89 dt TM/ha in 2007, während sich das Wintergerste-Winterrübsen-Gemenge mit im Mittel nur 82 dt TM/ha an diesem Standort nicht bewährte. Dieser Ertragsrückgang in den Gemengen liegt wohl an der schwachen Ertragsleistung der Gemengepartner

Winterrübsen und Winterwicken, die auch in Reinsaat nur unzureichend Biomasse bildeten.

Steinklee, der im ersten Versuchsjahr in Ascha komplett ausgefallen war, wurde im zweiten Jahr erst im Frühjahr in den Versuch gedrillt. In Reinsaat erzielte er trotz einer in Folge der zögerlichen Bestandesentwicklung starken Verunkrautung in Aholting einen Ertrag von 93 dt TM/ha. Der Steinklee in Ascha hingegen etablierte sich sehr schlecht, hier wurden nur 49 dt TM/ha erreicht. Eine mögliche Ursache für dieses schlechte Ergebnis kann in der fehlenden Kalkung des Standortes seit 2005 liegen, da Steinklee auf sauren Boden empfindlich reagiert. Auffällig war, dass sich der Steinklee an beiden Standorten auf den Randparzellen, die von den schon etablierten Beständen links und rechts beschattet wurden, nicht gut entwickelte. Eine genaue Beobachtung des Schattenfalls der Bestände zeigte, dass Steinklee auf Lichtkonkurrenz sehr empfindlich reagierte. Dies könnte auch als Ursache für den abermaligen Ausfall des Steinklees in den Gemengen mit Roggen gesehen werden. Diese Variante müsste als eine Winterroggen-Dünnsaat mit 80 % der normalen Aussaatstärke bezeichnet werden, da der Massenanteil des Steinklees zur Ernte bei unter 1 % lag.

Während Inkarnatklee 2006 in Aholting immerhin 70 dt TM/ha erzielte, musste er auf Grund der sehr lückigen Bestände sowohl in Aholting als auch in Ascha 2007 als Ausfall beurteilt werden. Auch die in Reinsaat angebauten Wicken konnten nicht in ausreichender Anzahl etabliert werden. Diese Variante wurde an beiden Standorten schon direkt nach Winter aufgegeben, nicht beerntet und daher nicht in den Abbildungen aufgeführt. Beide Kulturen werden in der Praxis allerdings überhaupt nicht als Reinkulturen angebaut.

Bezüglich ihrer Silierfähigkeit wiesen nur die Varianten Welsches Weidelgras, Inkarnatklee und Landsberger Gemenge mit 19 %, 16 % bzw. 20 % ungenügende TS-Gehalte auf, alle anderen Rein- und Mischkulturen lagen über 30 % TS-Gehalt. Winterroggen und Wintergerste hatten bei der Ernte sogar schon TS-Gehalte von über 40 % erreicht, was bei der Silagebereitung sicherlich Probleme bereitet hätte. Hier würde man in der Praxis die Bestände etwas früher bei einem eventuell etwas geringeren Trockenmasse-Ertrag ernten (siehe dazu auch 4.2.4 Erntezeitreihen).

Im Hinblick auf die theoretisch möglichen Biogaserträge der hier getesteten Varianten erbrachten über alle Jahre und Standorte die Roggen-Reinkulturen den höchsten Methan-Hektarertrag, der sich aus einem hohen Trockenmasse-Ertrag und einem hohen Biogasertrag je kg oTM aus Roggen-GPS zusammensetzt (Tab. 9). Die Berechnung der sehr hohen Methan-Hektarerträge des Winterroggen-Steinklee-Gemenges (bzw. der Roggen-Dünnsaat) basiert allein auf den Daten von 2007 vom Standort Aholting, stellt also keinen repräsentativen Wert für diese Variante dar. Das Gemenge Wickroggen lieferte ebenfalls hohe, im Vergleich zum Trockenmasse-Ertrag aber unterproportionale Methan-Hektarerträge. Die Ursache hierfür liegt in den relativ geringen Verdaulichkeitswerten aus den DLG-Futterwerttabellen und der daraus resultierenden geringen spezifischen Biogasausbeute je kg oTM. Hier ist es für die Zukunft notwendig, neue Werte zu ermitteln, die die Verdaulichkeit dieses Gemenges im Hinblick auf die Verwertung in Biogasanlagen besser widerspiegeln. Die Wintergerste erzielte im Mittel nur 72 % des Methan-Hektarertrags von Winterroggen, was neben den etwas geringeren Trockenmasse-Erträgen auch durch die schlechteren Verdaulichkeitswerte dieser Kultur bedingt ist.

Die Kulturen Wicke, Welsches Weidelgras und Landsberger Gemenge wiesen zwar hohe Biogasausbeuten je kg oTM auf, die Trockenmasse-Erträge waren im Vergleich

zum Roggen aber zu gering (bei Weidelgras und Landsberger Gemenge wurde jeweils nur der erste Schnitt berücksichtigt).

Tab. 9: *Errechnete Biogas- und Methan ausbeuten im Mischkulturversuch der Winterungen im Mittel der Jahre und Standorte Ascha und Aholting.*

Variante	Biogasausbeute [L kg ⁻¹ oTM]	Biogasertrag [m ³ ha ⁻¹]	Methanertrag [m ³ ha ⁻¹]
W.Gerste	477	5653	3065
W.Roggen	536	7824	4281
W.Raps	510	4314	2483
W.Rübsen	512	3421	1940
W.Wicke	525	3215	1805
Welsches Weidelgras	548	4248	2319
Steinklee	447	2632	1470
Inkarnatklee	491	2531	1421
W.Roggen, W.Wicken	502	6433	3527
Landsberger Gemenge	528	4214	2318
W.Gerste, W.Rübsen, W.Wicke	497	4822	2689
W.Gerste, W.Rübsen	498	4400	2464
Steinklee, W.Roggen	532	8757	4722
W.Raps, W.Wicke	522	4232	2421

Um die tatsächlich zu erwartenden Methanhektar-Erträge besser abschätzen zu können, sind Batchversuche in Zukunft unabdingbar, bei denen unter praxisnahen Bedingungen das Pflanzenmaterial fermentiert wird und das entstandene Methan ermittelt wird. Denn die Fermentation in Biogasanlagen unterliegt doch anderen Bedingungen als im Kuhpansen, vor allem die längeren Verweilzeiten könnten hier zu höheren Abbauraten führen.

3.2.2 Sommerkulturen in Aholting

Zusätzlich zu dem Winterungs-Mischkulturversuch wurde in Aholting auch ein Versuch mit Sommerungen angelegt. Auch hier sind deutliche Jahreseffekte zu sehen. Während 2006 Sommergerste in Reinkultur mit 123 dt TM/ha die ertragreichste Kultur war, gefolgt von der Mischung Sommergerste-Leindotter

(118 dt TM/ha), erzielten 2007 Saflor und Erbse in Reinkultur mit 125 bzw. 111 dt TM/ha die höchsten Erträge (Abb. 11). Die Reinkulturen Leindotter, Blaue Lupine und Senf zeigten deutlich niedrigere Erträge.

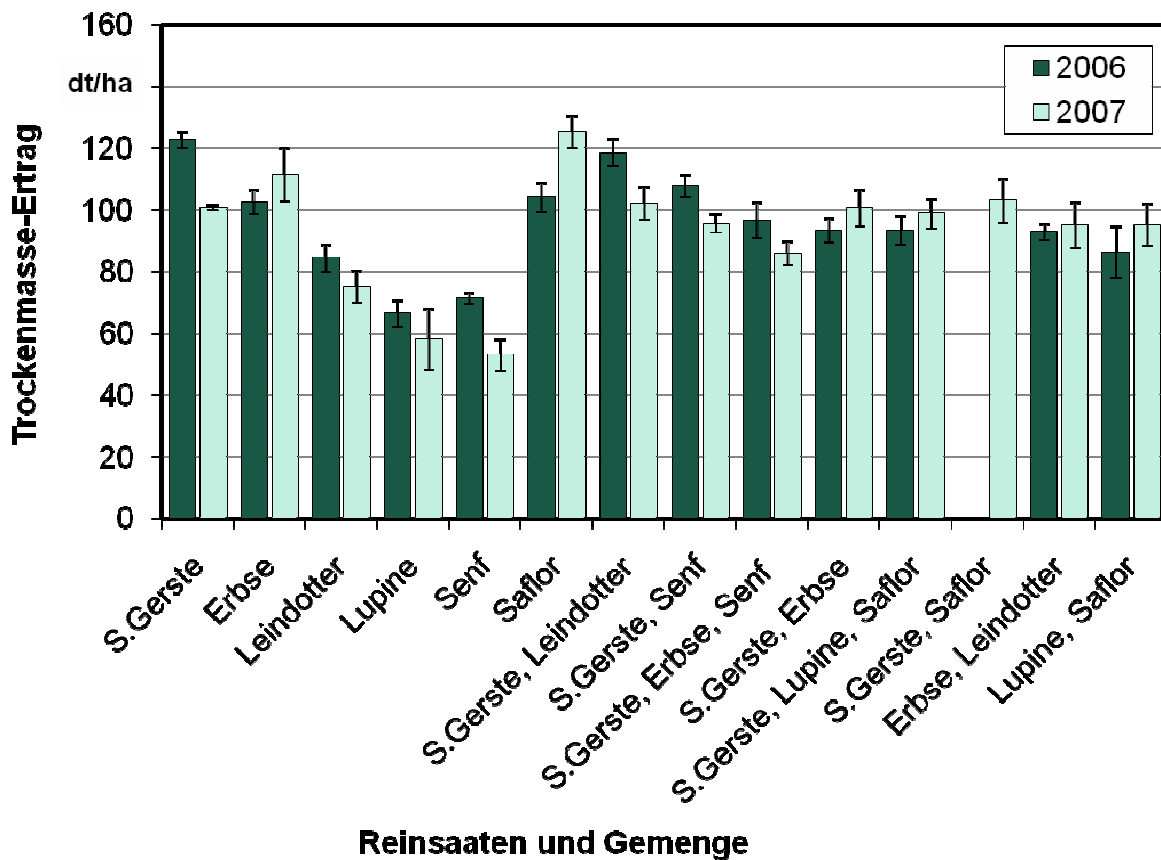


Abb. 11: Vergleich zwischen den Trockenmasse-Erträgen der Sommerkulturen aus den Erntejahren 2006 und 2007 am Versuchsstandort Aholing in Bayern. Dargestellt sind die arithmetischen Mittelwerte mit $n = 4$ sowie die Standardfehler. (siehe Anhang B Tab.3)

Die Mischkulturen erwiesen sich als relativ ertragsstabil mit jeweils etwas niedrigeren Erträgen als der ertragsstärkere Mischungspartner. Nur das Gemenge Sommergerste-Leindotter erreichte in beiden Jahren über 100 dt TM/ha. Alle anderen Gemenge lagen insbesondere 2007 unter dieser Schwelle (Ausnahme Sommergerste-Erbse und Sommergerste-Saflor).

Im Hinblick auf die Trockensubstanzgehalte wurde oft zu spät geerntet, so dass die TS-Gehalte teilweise auf über 50 % anstiegen. In 2006 wurde in den Gemengen nur bei Lupine-Saflor für die Silierung optimale Trockensubstanzgehalte von 36 % TS-Gehalt gemessen, in 2007 bei Lupine-Saflor-Sommergerste (34 %), Lupine-Saflor (29 %) und Sommergerste-Senf-Erbse (36 %). Die Trockensubstanzgehalte aller anderen Gemenge lagen deutlich höher, wodurch Probleme bei dem Einsilieren entstehen können.

Die höchsten Methan-Hektarerträge im Mittel der beiden Versuchsjahre erreichte mit Abstand der Saflor (3077 m³/ha), der neben einer hohen Biogasausbeute auch hohe Trockenmasse-Erträge brachte. Diese Kultur könnte in Zukunft für den

Energiepflanzenanbau eine interessante Alternative zu Sommergetreiden sein. Daneben lagen auch bei Leindotter, Senf und Erbse die Biogasausbeuten je kg oTM sehr hoch, so dass beispielsweise die Mischkultur Sommergerste-Leindotter im Mittel der beiden Versuchsjahre mit 2694 m³/ha einen etwas höheren Methanertrag je Hektar erzielte als Sommergerste in Reinkultur mit 2633 m³/ha (Tab. 10). Die Erbse in Reinkultur, die im Gegensatz zu Saflor, Sommergerste, und dem Gemenge Sommergerste-Leindotter, keine mineralische Stickstoffdüngung erhielt, lag bei den Methan-Hektarerträgen nur knapp hinter der Sommergerste, und kann damit in Zeiten steigender Düngemittelpreise an Bedeutung gewinnen. Die Gemenge (außer Sommergerste-Leindotter) näherten sich bei den Biogasausbeuten den Werten des stärkeren Mischungspartners an und erzielten im Mittel Methan-Hektarerträge, die zwischen 2451 und 2230 m³/ha schwankten. Allerdings sind diese errechneten Biogasausbeuten mit einigen Unsicherheiten behaftet, da sich insbesondere die Verdaulichkeit eines Gemenges eventuell anders verhält als die Summe seiner Bestandteile. Für Kulturen wie Leindotter waren zudem keine Verdaulichkeitskoeffizienten bekannt, so dass die von Rübsen zur Berechnung herangezogen werden mussten.

Tab. 10: Errechnete Biogas- und Methanausbeuten im Mischkulturversuch der Sommerungen im Mittel der Jahre in Aholting.

Variante	Biogasausbeute [L kg ⁻¹ oTM]	Biogasertrag [m ³ ha ⁻¹]	Methanertrag [m ³ ha ⁻¹]
S.Gerste	466	4824	2633
Erbse	504	4464	2476
Lupine	474	2486	1387
Leindotter	556	4018	2251
Senf	530	2985	1658
Saflor	528	5549	3077
S.Gerste, Erbse	477	4304	2359
S.Gerste, Leindotter	482	4956	2694
Erbse, Leindotter	503	4386	2451
Lupine, Saflor	515	4304	2365
S.Gerste, Lupine, Saflor	482	4317	2344
S.Gerste, Senf	473	4417	2421
S.Gerste, Erbse, Senf	484	4086	2230
Sommergerste, Saflor	454	4297	2326

3.2.3 Auswirkungen des Herbizideinsatzes

In die Mischkulturversuche wurden zusätzlich Reinkulturen mit und ohne Herbizideinsatz integriert, damit für die generell unbehandelten Gemenge ein Vergleich mit einer ebenso unbehandelten Reinkultur möglich ist. Ebenso wird aber eine Gegenüberstellung mit Werten aus Landessortenversuchen oder aus der Praxis angestrebt, bei denen eine Herbizidbehandlung zu den Standardpflfemaßnahmen gehört.

Auf beiden Versuchsstandorten in Ascha und Aholting herrscht kein besonders hoher Unkrautdruck, trotzdem waren einzelne lückige Bestände gravierend verunkrautet. Daher sind die Ergebnisse aus den Herbizidvarianten überraschend, da kaum Mehrerträge durch eine Herbizidbehandlung feststellbar waren (Abb. 12). Leichte Mehrerträge waren für Wintergerste in Aholting und in Winterroggen 2007 in Ascha zu verzeichnen, wobei die Unterschiede jedoch nicht signifikant waren. Die Mindererträge in den behandelten Erbsen- und Leindotterbeständen lassen sich durch Spritzfehler erklären, die Herbizide wurden zu kurz vor dem Auflaufen der Kulturen ausgebracht.

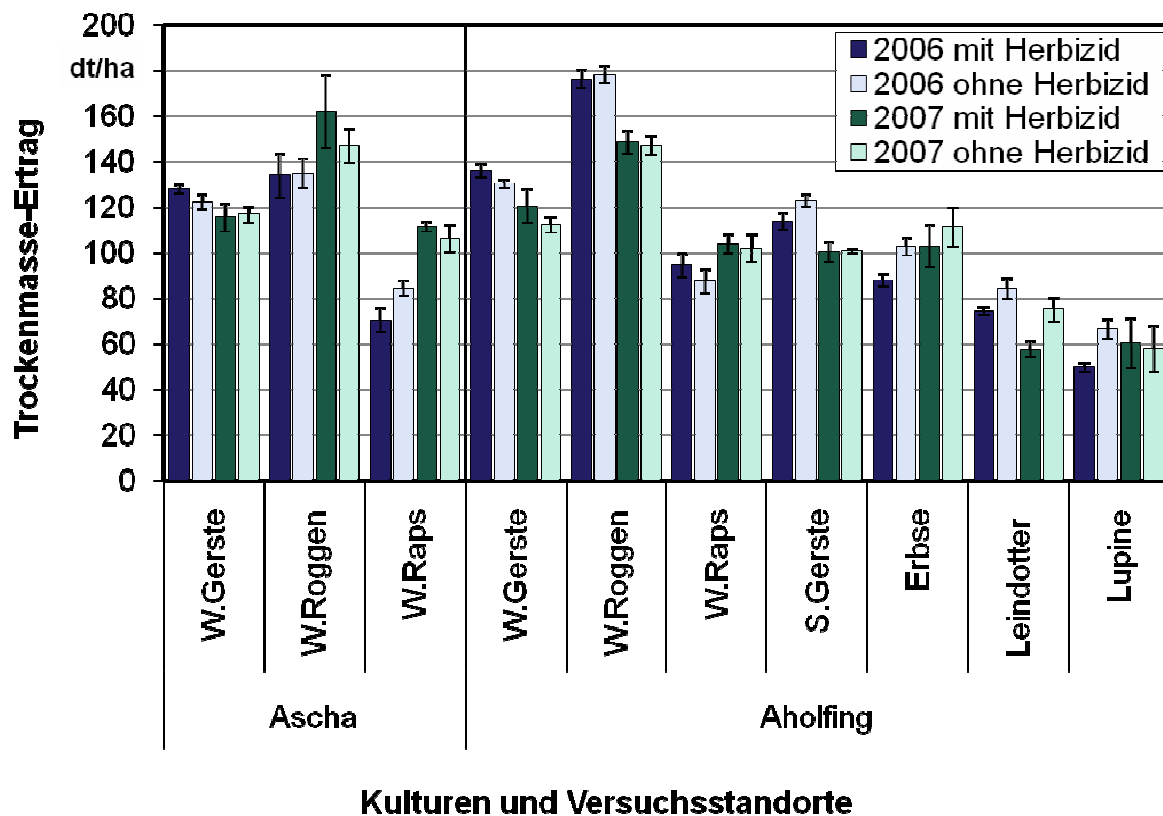


Abb. 12: Trockenmasseerträge im Herbizidversuch in den Reinbeständen der Mischkulturversuche in Ascha und Aholting in den Erntejahren 2006 und 2007. Dargestellt sind arithmetische Mittelwerte mit $n = 4$ und deren Standardfehler.

3.2.4 Erntezeitreihen

In der Praxis sind in Bezug auf die optimalen Erntezeitpunkte von Ganzpflanzensilagen noch viele Fragen offen. Aus Eigenkapazitäten wurden die in den folgenden Abbildungen dargestellten Erntezeitreihen im Versuchsjahr 2006/2007 in die Mischkulturversuche integriert, um die Zeiten höchsten Biomasseertrags und siliergünstiger Trockensubstanzgehalte zu ermitteln.

Am Standort Ascha (Abb. 13) steigerten sich der Trockenmasseertrag sowie der Trockensubstanzgehalt der Wintergerste von Entwicklungsstadien 51 über 69 bis 75. In der weiteren Abreife bis BBCH-Stadium 83 war kein Ertrags- oder Trockensubstanzzuwachs erkennbar. Im Winterroggen hingegen gab es einen großen Zuwachs beider Merkmale von Stadium 51 auf 69 und eine zweite Ertragssteigerung um über 40 dt TM/ha von Stadium 75 auf 83. Gleichzeitig stieg der Trockensubstanzgehalt um etwa 10 Prozentpunkte auf 40 % an. Eine noch spätere Ernte könnte die Silierfähigkeit und auch die Verdaulichkeit der Biomasse vermindern.

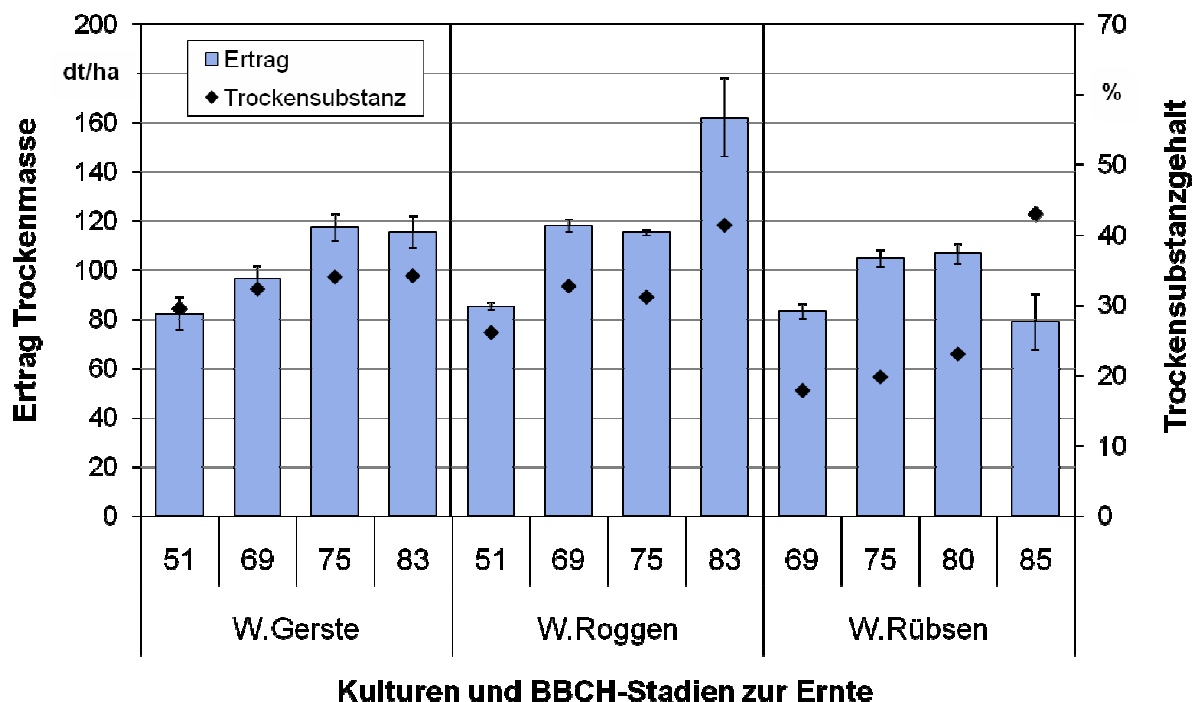


Abb. 13: Trockenmasseerträge und Trockensubstanzgehalte in den Erntezeitreihen an Kulturen für die Ganzpflanzennutzung am Versuchsstandort Ascha. Dargestellt sind arithmetische Mittelwerte mit $n = 4$ und deren Standardfehler.

Der Winterrübsen wies in den Entwicklungsstadien 69, 75 und 80 nur sehr geringe Trockensubstanzgehalte von 18 bis 22 % auf, mit denen eine frühe Ernte der Biomasse ein Anwelken zur Verhinderung von Silierverlusten zwingend notwendig machen würde. Zum Stadium 85 stieg der Trockensubstanzgehalt auf über 40 %, der Ertrag sank im Vergleich zum vorangehenden Termin allerdings um über

20 dt TM/ha. Dies führen wir auf Blattverluste sowie hohe Kornverluste durch Ausfall und Vogelfraß zurück.

Die Winterungen in Aholting (Abb. 14) zeigten in der Tendenz ähnliche Ergebnisse: mit voranschreitender Abreife stieg im Wintergetreide der Trockenmasse-Ertrag, wobei diese Entwicklung in der Wintergerste von Termin zu Termin gleichmäßiger verlief als im Winterroggen. Im Winterroggen brachte die Entwicklung von Stadium 75 zu Stadium 83 einen hohen Ertragszuwachs und auch eine hohe Steigerung des Trockensubstanzgehaltes. Eine Maximierung des möglichen Ganzpflanzenertrags muss allerdings auch immer die mögliche Verschlechterung der Substratqualität im Hinblick auf Siliereigenschaften und Verdaulichkeit berücksichtigen.

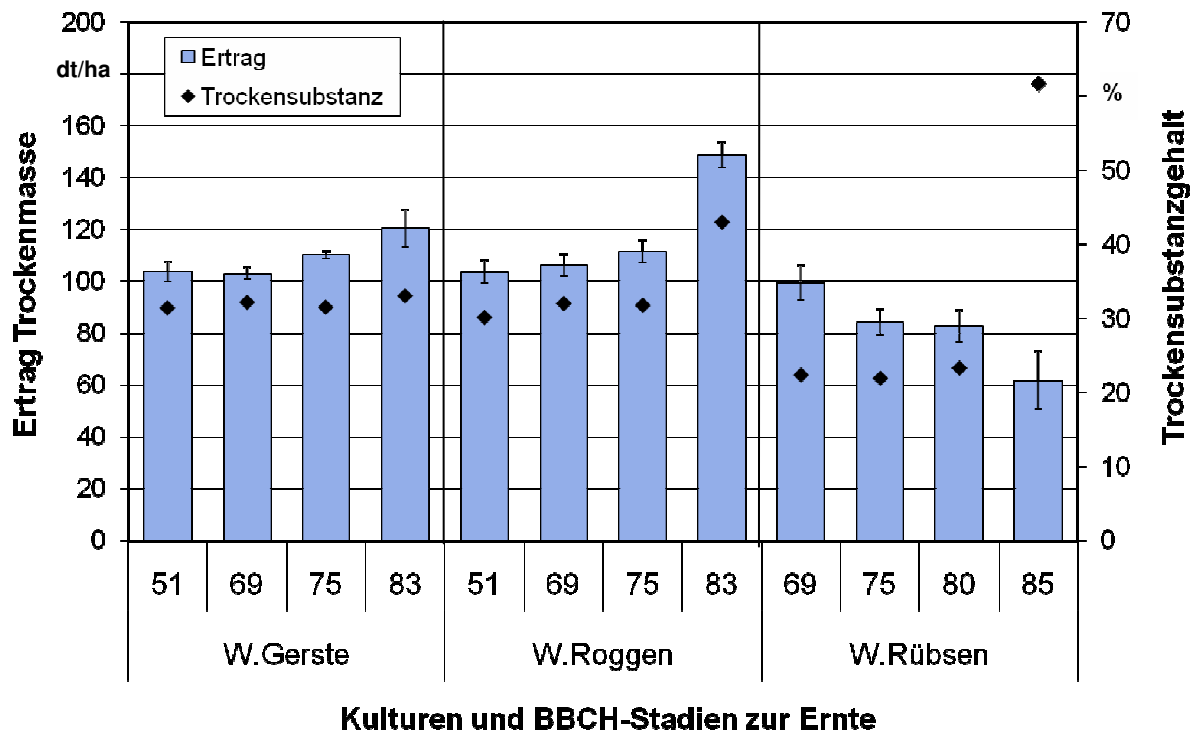


Abb. 14: Trockenmasseerträge und Trockensubstanzgehalte in den Erntezeitreihen an Kulturen für die Ganzpflanzennutzung am Versuchsstandort Aholting. Dargestellt sind arithmetische Mittelwerte mit $n = 4$ und deren Standardfehler.

Auch in Aholting zeigte sich der Winterrübsen als wenig geeignet für die Ganzpflanzennutzung. Die Trockensubstanzgehalte lagen über die ersten drei beernteten Entwicklungsstadium nur knapp über 20 %. Zum letzten Termin in Stadium 85 hingegen wurden nach einer sprunghaften Steigerung über 60 % Trockensubstanzgehalt festgestellt, die für eine Einsilierung viel zu hoch waren. Auch hier kam es wieder zu hohen Ertragsverlusten im Feld.

Die in Aholting getesteten Sommerungen Sommergerste, Futtererbse und Leindotter wiesen zum letzten Erntetermin Trockensubstanzgehalte von über 40 % bis 50 % auf (Abb. 15). In der Sommergerste wurde der maximale Trockenmasseertrag schon zu

Stadium 69 erreicht und ohne deutliche Reduktion bis zum letzten Erntetermin in Stadium 83 erhalten. Hier erscheint eine Ernte zum BBCH-Stadium 69 bezüglich des Trockenmasse-Ertrags und der Trockensubstanzgehalte empfehlenswert. In Erbsen und Leindotter wurde eine kontinuierliche Steigerung des Ertrags wie auch des Trockensubstanzgehaltes beobachtet.

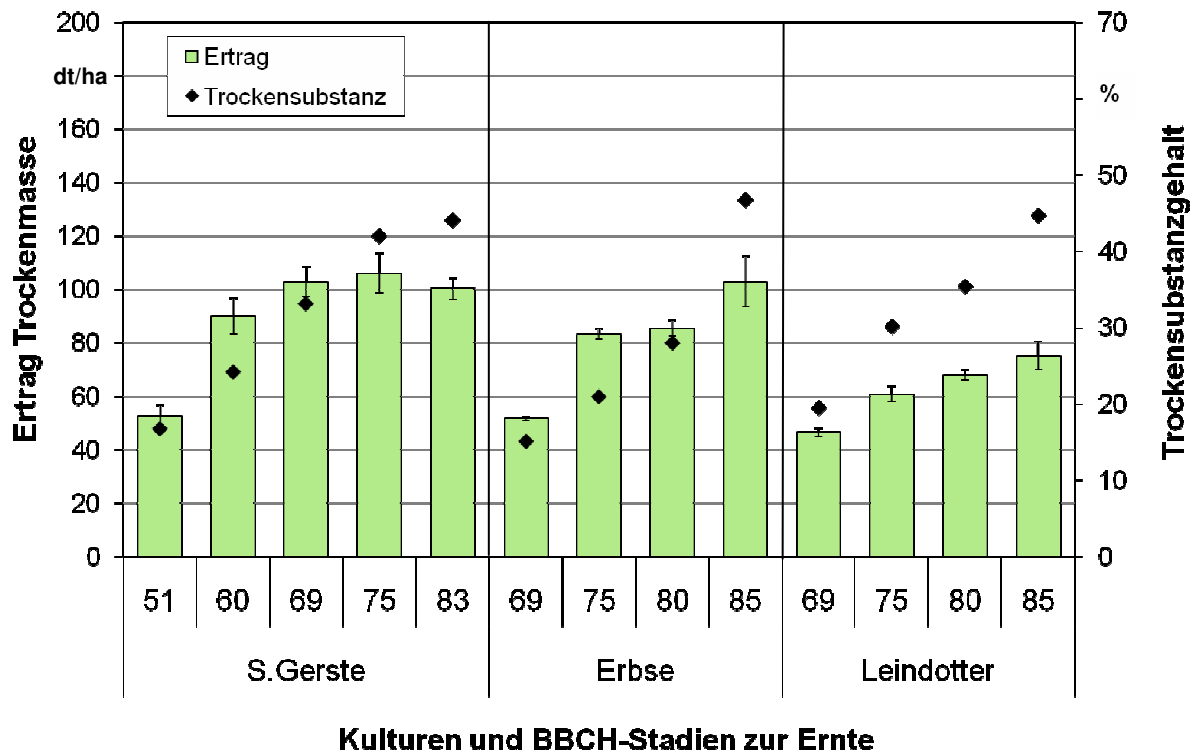


Abb. 15: Trockenmasseerträge und Trockensubstanzgehalte in den Erntezeitreihen an Kulturen für die Ganzpflanzennutzung am Versuchsstandort Aholting. Dargestellt sind arithmetische Mittelwerte mit $n = 4$ und deren Standardfehler.

4 Zusammenfassung

Die Untersuchungen der Mischkulturen erstreckten sich über den Zeitraum von 2005 bis 2007. Auf je zwei Versuchsstandorten in Mecklenburg-Vorpommern und Bayern wurden die Versuche auf Grenzstandorten angelegt. In dem Versuch wurde der Ansatz verfolgt, mit Gemengen aus Getreide, Leguminosen und Ölpflanzen eine größere Ertragssicherheit zu erreichen.

Über alle Jahre und Standorte wiesen die Winterkulturen Wintergerste und Winterroggen sowie das Gemenge Wickroggen und Roggen-Bokharaklee sehr hohe Erträge auf. Dabei zeigte sich die Wintergerste insbesondere auf dem Grenzstandort in Gülzow als ertragreichste Kultur mit den höchsten Methan-Hektarerträgen. Auf den bayerischen Standorten lieferten hingegen Winterroggen und Wickroggen die besseren Ertragsleistungen. Bei den Gemengen Wickroggen und Winterroggen-Bokharaklee ist zu berücksichtigen, dass diese Varianten 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 Gemenge blieben hinter den Ertragserwartungen zurück und brachten auch im Hinblick auf die Ertragssicherheit keinen Vorteil.

Eine Ausnahme bildeten die Ackerfuttermischungen Landsberger Gemenge und Klee gras, die zusammen mit dem Welschen Weidelgras bei mehrmaliger Schnittnutzung bei hohen Niederschlagssummen 2007 die höchsten Gesamterträge lieferten. In 2006 konnte jedoch aufgrund der Sommertrockenheit nur ein einmaliger Schnitt erfolgen, was insbesondere auf den Standorten in Mecklenburg-Vorpommern zu erheblichen Ertragseinbußen führte. Dennoch sollten diese Kulturen bei der Fruchtfolgeplanung im Energiepflanzenbau stärker Beachtung finden, da sie sowohl die Humusbilanz positiv beeinflussen und eine gute Vorfruchtwirkung besitzen als auch die Biodiversität der Kulturlandschaft erhöhen und ein langes Blütenangebot sichern.

Bei den Sommerkulturen wurden in Mecklenburg-Vorpommern und Bayern eine Vielzahl und je nach Standort unterschiedliche Reinsaaten und Gemenge getestet. Die Ertragsleistungen schwankten dabei stark zwischen den Jahren und den einzelnen Versuchsstandorten. In Mecklenburg-Vorpommern erzielten auf dem Ökofeld über beide Versuchsjahre Mais und das Gemenge Mais-Bokharaklee die höchsten Erträge vor Sommerroggen, Bokharaklee und dem Getreidegemenge Sommerroggen-Sommergerste-Hafer. Dagegen zeigte sich auf dem Grenzstandort auf einem insgesamt höheren Ertragsniveau das Gemenge Sommergerste-Lupine-Saflor nach Mais und Mais-Bokharaklee als relativ ertragsstark, das insbesondere im trockenen Jahr 2007 deutlich besser als die Reinsaat Sommergerste abschnitt. In Bayern wurden die Sommerkulturen nur am Standort Aholting getestet. Hier zeigte sich 2006 Sommergerste und das Gemenge Sommergerste-Leindotter überlegen, wobei letzteres trotz eines etwas geringeren Trockenmasse-Ertrags höhere theoretische Methan-Hektarerträge erbrachte. In 2007 dagegen waren nach der Frühjahrstrockenheit die Reinsaaten Saflor und Futtererbse der Sommergerste überlegen. Insbesondere die hohe Biogasausbeute von Saflor lässt diesen in trockenen Jahren als vorzügliche Alternative zu Sommergetreide erscheinen. Bei der Fruchtfolgeplanung ist jedoch zu berücksichtigen, dass Saflor erst spät das Feld räumt.

Die Ergebnisse des zusätzlich angelegten Versuchs zum Herbizideinsatz waren etwas überraschend, da keine gesicherten Mehrerträge durch die

Unkrautbehandlung nachgewiesen werden konnten. In den Kulturen Erbse und Leindotter kam es durch die zu kurzfristig vor dem Auflaufen durchgeführte Herbizidbehandlung zu Spritzschäden, die sich bis zur Ernte an den Pflanzen abzeichneten. Da in den Gemengen im Allgemeinen eine dichte Bestandesstruktur und damit gute Unkrautunterdrückung erreicht wurde, kann auf die problematische Herbizidbehandlung generell verzichtet werden.

Der integrierte Versuch zu Erntezeitpunkten von Ganzpflanzengetreide sowie anderen Ganzpflanzenkulturen wies auf erst spät erfolgende, aber hohe Ertragszuwächse einiger Kulturen wie Winterroggen hin. Gleichzeitig nahmen allerdings die Trockensubstanzgehalte zu, so dass zur Maximierung der Substratqualität sowie zur Sicherstellung guter Siliereigenschaften eine Beerntung vor dem Ertragsmaximum angebracht ist. Winterrüben ist nicht allein wegen der hohen Produktionsintensität sondern auch wegen der unerwünscht hohen Schwefelgehalten für die Biogasproduktion eher ungeeignet. Die bis zum Entwicklungsstadium 80 sehr niedrigen Trockensubstanzgehalte, die dann sprunghaft viel zu hoch werden, erlauben kaum eine gute Silagebereitung.

Der Mischfruchtanbau ist für die ausschließliche Maximierung der Biomasseerträge nicht das geeignete Instrument. Als Extensivvariante in einseitigen Fruchtfolgen oder auf Grenzstandorten kann er hinsichtlich der Nährstoffversorgung der Folgekultur, der Unterbrechung von Krankheitsketten oder aber auch hinsichtlich der BodenSanierung zur Optimierung des gesamten Systems beitragen. Die Humusbilanz kann er durch sein im Vergleich zur Reinsaat größeres Wurzelwerk positiv beeinflussen. Aus ökologischer Sicht ist neben dem Blütenangebot von Winterwicke, Saflor, Leindotter und anderen Kulturen auch die Erhöhung der Biodiversität in der Kulturlandschaft ein Gewinn. Zudem bietet der Mischfruchtanbau die Möglichkeit, Produktionsmittel und dabei insbesondere energieintensive Stickstoffdüngemittel einzusparen und damit einen positiven Beitrag zum Klimaschutz zu leisten.

5 Literaturverzeichnis

BECKER, M. und NEHRING, K. (1969): Handbuch der Futtermittel. Verlag Paul Parey, Hamburg und Berlin, S. 559.

DLG (1997): DLG-Futterwerttabellen - Wiederkäuer. DLG-Verlag, Frankfurt/Main, 7.Auflage, S. 212.

GRUBER, H. und THAMM, U. (2005): Standortspezifische Auswirkungen einer langjährigen, ökologischen Bewirtschaftung auf acker- und pflanzenbauliche sowie umweltrelevante Parameter. Forschungsbericht (22/04), Landesforschungsanstalt für Landwirtschaft und Fischerei Mecklenburg-Vorpommern, S. 41.

KTBL (2006): Energiepflanzen – Daten für die Planung des Energiepflanzenanbaus. Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e. V. (KTBL), Darmstadt, S. 372.

MAKOWSKI, N. (2004): Getreideanbau auf Sandböden, Getreidemagazin 9, S.180-183.

MENNING, P., SCHEIL, A. (1995): Bodendeckencharakter Ökofeld Gülzow/Mecklenburg. Mitteilungen der Landesforschungsanstalt für Landwirtschaft und Fischerei Mecklenburg-Vorpommern, Heft 8, S. 1–4.

MINISTERIUM FÜR ERNÄHRUNG, LANDWIRTSCHAFT, FORSTEN UND FISCHEREI MECKLENBURG-VORPOMMERN (2006): (Bio-)Energiewirtschaft Mecklenburg-Vorpommern, Schwerin, S. 56.

POCH, M. (1953): Biogas - Wege zur zusätzlichen Energiegewinnung in der Landwirtschaft bei gleichzeitiger Verbesserung der Humuswirtschaft. Berlin, Deutscher Bauernverlag, S. 48.

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.

SEIFFERT, M. (1968): Landwirtschaftlicher Pflanzenbau, Berlin, 487 S.

6 Anhang

A Witterungsverlauf

Tab. 1: *Mittlere monatliche Lufttemperaturen, Niederschläge und Abweichungen von den langjährigen Monatsmittelwerten (1971 – 2000) am Standort Gülzow*

Monat	Gülzow	
	Lufttemperatur (°C)	Niederschlagssumme (mm)
2005		
August	16,3 (-0,7)	40 (-12)
September	15,4 (+2,3)	77 (+28)
Oktober	11,1 (+2,5)	45 (+5)
November	4,4 (+0,4)	33 (-8)
Dezember	1,4 (±0,0)	59 (+10)
2006		
Januar	-2,5 (-2,4)	14 (-25)
Februar	0,3 (-0,2)	28 (+4)
März	0,7 (-2,7)	43 (+6)
April	7,7 (+0,7)	49 (+14)
Mai	12,8 (+0,7)	68 (+21)
Juni	17,1 (+2,0)	57 (-10)
Juli	22,3 (+5,0)	29 (-33)
August	17,1 (+0,1)	203 (+151)
September	17,3 (+4,2)	36 (-14)
Oktober	12,5 (+3,9)	46 (+6)
November	7,3 (+3,3)	50 (+9)
Dezember	6,1 (+4,7)	28 (-21)
2007		
Januar	5,0 (+5,1)	90 (+5)
Februar	2,9 (+2,4)	46 (+18)
März	6,9 (+3,5)	38 (±0)
April	10,4 (+3,4)	2 (-36)
Mai	14,0 (+1,7)	80 (+32)
Juni	17,3 (+2,0)	154 (+84)
Juli	17,3 (-0,1)	94 (+34)
August	17,6 (+0,5)	170 (+109)
September	13,5 (+0,1)	66 (+14)

Tab. 2: Lufttemperaturen (Monatsmittel) und Niederschläge (Monatssummen) der Wetterstation Steinach (Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, ca. 10 km von Ascha entfernt), in Klammern die Differenz zum langjährigen Mittel (Handaufzeichnung Steinach, pers. Mitteilung Herr Fuchs).

Monat	Ascha	
	Lufttemperatur (°C)	Niederschlagssumme (mm)
2005		
September	14,5 (1,9)	55 (-9)
Oktober	9,7 (2,5)	32 (-29)
November	2,1 (0,0)	36 (-31)
Dezember	-1,5 (-0,5)	71 (-8)
2006		
Januar	-5,4 (-2,9)	49 (-17)
Februar	-2,7 (-1,5)	96 (+46)
März	0,7 (-2,5)	152 (+97)
April	8,2 (0,9)	57 (+11)
Mai	13,2 (0,4)	117 (+53)
Juni	17,3 (1,8)	79 (-9)
Juli	21,6 (4,3)	77 (-16)
August	14,9 (-2,0)	149 (+73)
September	16,6 (4,0)	17 (-48)
Oktober	11,2 (4,0)	32 (-28)
November	5,3 (3,2)	47 (-20)
Dezember	1,4 (2,4)	58 (-21)
2007		
Januar	2,9 (5,4)	108 (+42)
Februar	3,4 (4,6)	93 (+43)
März	5,7 (2,5)	43 (-12)
April	11,9 (4,6)	3 (-43)
Mai	14,3 (1,5)	151 (+88)
Juni	17,9 (2,4)	114 (+26)
Juli	17,9 (0,5)	147,9 (+54)
August	16,7 (-0,2)	78 (+2)
September	11,6 (-0,9)	119 (+54)

Tab. 3: Lufttemperaturen (Monatsmittel) und Niederschläge (Monatssummen) der Wetterstation Piering (Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, ca. 10 km von Aholting entfernt), in Klammern die Differenz zum langjährigen Mittel (Deutscher Wetterdienst).

Monat	Aholting	
	Lufttemperatur (°C)	Niederschlagssumme (mm)
2005		
September	15,1 (1,6)	29 (-30)
Oktober	9,6 (1,5)	29 (-15)
November	2,2 (-0,7)	26 (-25)
Dezember	-1,2 (-1,2)	32 (-18)
2006		
Januar	-5,4 (-3,7)	7 (-31)
Februar	-2,2 (-1,8)	45 (+12)
März	1,8 (-2,4)	102 (+61)
April	9,1 (1,0)	78 (+40)
Mai	13,7 (0,2)	85 (+21)
Juni	17,7 (1,7)	97 (+14)
Juli	21,6 (3,8)	58 (-25)
August	15,2 (-2,4)	117 (+44)
September	16,5 (3,0)	56 (-2)
Oktober	10,8 (2,7)	39 (-5)
November	5,3 (2,4)	28 (-22)
Dezember	1,5 (1,5)	39 (-11)
2007		
Januar	3,6 (5,3)	86 (+48)
Februar	4,2 (4,6)	32 (-1)
März	6,1 (1,9)	29 (-12)
April	12,2 (4,1)	1 (-37)
Mai	14,8 (1,3)	164 (+99)
Juni	17,5 (1,5)	87 (+3)
Juli	18,2 (0,4)	139 (+56)
August	17,3 (-0,3)	36 (-38)
September	12,2 (-1,3)	120 (+61)

B Frischmasse- und Trockenmasse-Erträge

Tab. 1: Frischmasse- und Trockenmasse-Erträge der Winterkulturen aus den Erntejahren 2006 und 2007 am Versuchsstandort Ascha in Bayern. Dargestellt sind die arithmetischen Mittelwerte mit $n = 4$.

Variante	2006		2007	
	Frischmasse- Ertrag [dt/ha]	Trockenmasse- Ertrag [dt/ha]	Frischmasse- Ertrag [dt/ha]	Trockenmasse- Ertrag [dt/ha]
W.Roggen	333	135	349	147
W.Gerste	290	122	385	117
W.Raps	232	85	292	106
W.Rübsen	246	80	168	79
Welsches Weidelgras	367	70	835	188
W.Wicke	212	69		
Steinklee		0	141	49
Inkarnatklee		55	265	50
W.Roggen, W.Wicken	300	115	306	135
Landsberger Gemenge	399	81	674	180
W.Gerste, W.Rübsen, W.Wicke	297	102	245	109
W.Gerste, W.Rübsen	269	109	248	107
Steinklee, W.Roggen		0	310	129
W.Raps, W.Wicke	185	78	229	94

Tab. 2: *Frischmasse- und Trockenmasse-Erträge der Winterkulturen aus den Erntejahren 2006 und 2007 am Versuchsstandort Aholting in Bayern. Dargestellt sind die arithmetischen Mittelwerte mit n = 4.*

Variante	2006		2007	
	Frischmasse- Ertrag [dt/ha]	Trockenmasse- Ertrag [dt/ha]	Frischmasse- Ertrag [dt/ha]	Trockenmasse- Ertrag [dt/ha]
W.Roggen	417	178	357	147
W.Gerste	329	130	348	112
W.Raps	244	88	302	102
W.Rübsen	209	69	100	62
Welsches Weidelgras	448	92	953	183
W.Wicke	100	64		
Steinklee	152	59	289	93
Inkarnatklee	457	70	186	31
W.Roggen, W.Wicken	371	161	318	134
Landsberger Gemenge	475	93	884	180
W.Gerste, W.Rübsen, W.Wicke	218	117	197	89
W.Gerste, W.Rübsen	197	75	179	88
Steinklee, W.Roggen	376	174	327	137
W.Raps, W.Wicke	264	88	282	93

Tab. 3: *Frischmasse- und Trockenmasse-Erträge der Sommerkulturen aus den Erntejahren 2006 und 2007 am Versuchsstandort Aholting in Bayern. Dargestellt sind die arithmetischen Mittelwerte mit n = 4.*

Variante	2006		2007	
	Frischmasse- Ertrag [dt/ha]	Trockenmasse- Ertrag [dt/ha]	Frischmasse- Ertrag [dt/ha]	Trockenmasse- Ertrag [dt/ha]
S.Gerste	270	123	235	101
Erbse	242	103	212	111
Leindotter	171	84	168	75
Lupine	204	67	279	58
Senf	194	71	148	53
Saflor	291	104	403	125
S.Gerste, Leindotter	205	118	214	102
S.Gerste, Senf	205	108	243	96
S.Gerste, Erbse, Senf	154	97	238	86
S.Gerste, Erbse	179	93	226	101
S.Gerste, Lupine, Saflor	163	93	287	99
S.Gerste, Saflor			225	103
Erbse, Leindotter	156	93	190	95
Lupine, Saflor	242	86	326	95

Tab. 4: *Frischmasse- und Trockenmasse-Erträge der Winterkulturen aus den Erntejahren 2006 und 2007 am Versuchsstandort Gülzow-Öko in Mecklenburg-Vorpommern. Dargestellt sind die arithmetischen Mittelwerte mit n = 4.*

Variante	2006		2007	
	Frischmasse- Ertrag [dt/ha]	Trockenmasse- Ertrag [dt/ha]	Frischmasse- Ertrag [dt/ha]	Trockenmasse- Ertrag [dt/ha]
W.Roggen	237,0	46,93	220,6	52,82
W.Roggen Herbizid	232,9	46,82	216,4	48,13
W.Gerste	122,1	42,49	179,1	47,79
W.Gerste Herbizid	122,3	43,78	155,5	53,68
Welsches Weidelgras	70,8	15,87	532,5	101,71
W.Wicke	117,6	14,82	118,8	17,19
W.Rübsen	66,9	10,03	192,8	35,40
Inkarnatklee	72,5	9,50	177,6	30,39
Wickroggen	239,5	44,31	236,6	44,88
W.Roggen, Bokharaklee	197,9	41,17	182,1	40,02
Landsberger	110,9	22,08	494,1	102,14
Kleegras	78,8	15,68	529,3	106,91
W.Gerste, W.Rübsen	74,2	13,66	202,2	39,92
W.Gerste, W.Rübsen, Wicke	81,6	12,08	220,1	52,70

Tab. 5: *Frischmasse- und Trockenmasse-Erträge der Winterkulturen aus den Erntejahren 2006 und 2007 am Versuchsstandort Gülzow-Grenzstandort in Mecklenburg-Vorpommern. Dargestellt sind die arithmetischen Mittelwerte mit n = 4.*

Variante	2006		2007	
	Frischmasse- Ertrag [dt/ha]	Trockenmasse- Ertrag [dt/ha]	Frischmasse- Ertrag [dt/ha]	Trockenmasse- Ertrag [dt/ha]
W.Roggen	268,7	53,19	305,6	65,73
W.Roggen Herbizid	275,6	54,57	327,2	64,76
W.Gerste	140,3	48,96	319,3	98,94
W.Gerste Herbizid	212,3	76,20	319,5	91,61
Welsches Weidelgras	55,7	10,53	680,8	123,91
W.Wicke	45,8	5,77	252,0	25,35
W.Rübsen	57,3	8,60	297,9	48,08
Inkarnatklee	32,6	4,54	428,5	53,60
Wickroggen	288,3	53,90	328,0	66,38
W.Roggen, Bokharaklee	243,9	49,26	307,0	60,75
Landsberger	56,9	10,02	652,0	126,62
Kleegras	62,7	10,91	646,2	120,65
W.Gerste, W.Rübsen	79,6	14,81	367,3	62,95
W.Gerste, W.Rübsen, Wicke	107,1	19,27	319,3	56,70

Tab. 6: *Frischmasse- und Trockenmasse-Erträge der Sommerkulturen aus den Erntejahren 2006 und 2007 am Versuchsstandort Gülzow-Öko in Mecklenburg-Vorpommern. Dargestellt sind die arithmetischen Mittelwerte mit n = 4.*

Variante	2006		2007	
	Frischmasse- Ertrag [dt/ha]	Trockenmasse- Ertrag [dt/ha]	Frischmasse- Ertrag [dt/ha]	Trockenmasse- Ertrag [dt/ha]
Mais	202,3	69,55	340,7	98,80
S.Roggen	173,4	68,78	168,4	61,32
S.Gerste	163,4	52,79	165,9	48,75
Bokharaklee	227,8	71,38	230,6	56,27
Hafer	150,4	53,80	171,4	53,44
Saflor	163,8	41,74		
Mais, Bokharaklee	227,9	74,47	251,0	73,54
S.Gerste, Lupine, Saflor	167,5	53,36	162,7	49,55
S.Gerste, Lupine	151,7	52,91	144,7	43,35
Hafer, S.Gerste, S.Roggen	169,7	66,50	191,0	60,94
Hafer, Bokharaklee	98,6	33,72	165,4	50,92
S.Gerste, Bokharaklee, Lupine	150,4	50,51	153,4	46,15

Tab. 7: *Frischmasse- und Trockenmasse-Erträge der Sommerkulturen aus den Erntejahren 2006 und 2007 am Versuchsstandort Gülzow-Grenzstandort in Mecklenburg-Vorpommern. Dargestellt sind die arithmetischen Mittelwerte mit n = 4.*

Variante	2006		2007	
	Frischmasse- Ertrag [dt/ha]	Trockenmasse- Ertrag [dt/ha]	Frischmasse- Ertrag [dt/ha]	Trockenmasse- Ertrag [dt/ha]
Mais	402,8	134,36	294,0	103,20
S.Roggen	203,0	86,11	137,3	49,57
S.Gerste	226,6	79,38	171,8	50,33
Bokharaklee	249,2	70,00	285,1	69,57
Hafer	187,9	64,01	167,8	40,44
Lupine	257,1	44,94	174,1	29,78
Saflor	219,9	43,47	231,6	58,82
Mais, Bokharaklee	323,5	106,41	246,2	70,42
S.Gerste, Lupine, Saflor	279,9	83,26	221,6	59,40
S.Gerste, Lupine	307,0	78,71	196,5	46,38
Hafer, S.Gerste, S.Roggen	191,9	75,23	147,8	45,07
Hafer, Bokharaklee	170,4	58,26	155,0	35,95
S.Gerste, Bokharaklee, Lupine	200,7	55,75	202,1	48,51

C Methanerträge

Tab. 1: Methanerträge der Sommerkulturen aus den Erntejahren 2006 und 2007 am Versuchsstandort Gülzow-Öko in Mecklenburg-Vorpommern. Dargestellt sind die arithmetischen Mittelwerte mit $n = 4$.

Variante	Mittelwerte 2006 und 2007	
	Methan m ³ /ha	Methanausbeute NI/kg oTM
Mais	2120,26	298,40
Haf+Bokh	1052,14	296,76
Mais+Bokh	2005,43	288,79
Saflor	1149,99	293,25
S.Roggen	1795,44	287,12
Bokharaklee	1748,73	265,58
Haf+S.Ger+S.Rog	1677,27	277,11
S.Gerste	1244,38	263,20
Lup+Saf+S.Ger	1282,83	269,02
Lup+S.Ger	1202,95	262,42
Hafer	1371,71	277,29
Lup+Bokh+S.Ger	1156,85	257,86

Tab. 2: Methanerträge der Sommerkulturen aus den Erntejahren 2006 und 2007 am Versuchsstandort Gülzow-Grenzstandort in Mecklenburg-Vorpommern. Dargestellt sind die arithmetischen Mittelwerte mit $n = 4$.

Variante	Mittelwerte 2006 und 2007	
	Methan m ³ /ha	Methanausbeute NI/kg oTM
Mais	3632,11	299,41
S.Roggen	2217,98	285,56
Bokharaklee	1807,95	273,80
S.Gerste	1757,14	262,20
Saflor	1276,09	295,65
Hafer	1480,29	275,30
Lupine*	990,79	267,50
Mais+Bokh	2704,31	290,22
Lup+Saf+S.Ger	1917,01	266,07
Haf+S.Ger+S.Rog	1747,84	273,39
Lup+S.Ger	1690,65	259,81
Lup+Bokh+S.Ger	1287,01	260,67
Haf+Bokh	1276,68	279,04

Tab. 3: Methanerträge der Winterkulturen aus den Erntejahren 2006 und 2007 am Versuchsstandort Gülzow-Öko in Mecklenburg-Vorpommern. Dargestellt sind die arithmetischen Mittelwerte mit $n = 4$.

Variante	Mittelwerte 2006 und 2007	
	Methan m ³ /ha	Methanausbeute NI/kg oTM
W.Roggen	1459,01	1459,01
W.Gerste	1102,53	1102,53
W.Weidel	1045,19	1045,19
W.Rübsen	609,77	609,77
Inkarnatklee	533,82	533,82
W.Wicke	409,07	409,07
Wickroggen	1222,01	1222,01
W.Rog+Bokh	1162,18	1162,18
Kleegras	1036,52	1036,52
Landsberger	894,32	894,32
W.Ger+W.Rübs+Wicke	787,21	787,21
W.Ger+W.Rübs	786,64	786,64

Tab.4: Methanerträge der Winterkulturen aus den Erntejahren 2006 und 2007 am Versuchsstandort Gülzow-Grenzstandort in Mecklenburg-Vorpommern. Dargestellt sind die arithmetischen Mittelwerte mit $n = 4$.

Variante	Mittelwerte 2006 und 2007	
	Methan m ³ /ha	Methanausbeute NI/kg oTM
W.Weidel	1238,8	338,2
W.Gerste	1871,3	263,6
W.Roggen	1743,4	323,8
Inkarnatklee	814,5	315,1
W.Rübsen	775,5	322,4
W.Wicke	576,0	313,3
Kleegras	1201,1	316,9
Landsberger	1175,6	296,3
Wickroggen	1667,3	316,9
W.Rog+Bokh	1569,6	320,0
W.Ger+W.Rübs	1120,0	316,4
W.Ger+W.Rübs+Wicke	1064,6	311,4