



# **Optimierte Pflanzenbausysteme für nachhaltige und klimafreundliche Biogasfruchtfolgen**

K/11/09



# **Projektbericht**

Vorhabenbezeichnung: Optimierte Pflanzenbausysteme für nachhaltige und klimafreundliche Biogasfruchtfolgen

Zuwendungsempfänger: Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL), Freising-Weihenstephan

Finanzierung: Bayerisches Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten (StMELF)

Förderkennzeichen: K/09/11

Projektlaufzeit: 01.01.2012 - 31.12.2016

Kooperationspartner: Teilprojekt I und IV:  
Technische Universität München (TUM), Lehrstuhl für Ökologischen Landbau und Pflanzenbausysteme  
Weitere Einrichtungen an der LfL: IPZ 4a, AQU

Teilprojekt II  
IPZ 4b, ILT 2a

Teilprojekt III  
Technisches Förderzentrum im Kompetenzzentrum für Nachwachsende Rohstoffe  
LfL Versuchsstation Strassmoos und Steinach

Projektleiter: Dorothea Hofmann, Dr. Joachim Eder

Projektbearbeiter: Robert Simon, Dr. Anna Techow, Dr. Christine Riedel, Sven Schabel, Dorothea Hofmann, Julia Hofele, Lisa- Sophie Cyffka

Herausgegeben im: Februar 2017

# **Optimierte Pflanzenbausysteme für nachhaltige und klimafreundliche Bio- gasfruchtfolgen**

**K/11/09**



---

# Inhaltsverzeichnis

	Seite
<b>Zusammenfassung</b> .....	<b>11</b>
<b>1 Hintergrund und Ziel des Projekts</b> .....	<b>19</b>
<b>2 Teilprojekt 1: Bewertung von Energiefruchtfolgen auf Effizienz und Nachhaltigkeit</b> .....	<b>21</b>
2.1 Hintergrund und Aufgabenstellung .....	21
2.2 Material und Methoden .....	21
2.2.1 V350: Zweikultursysteme .....	21
2.2.2 V354: Nachhaltige Biogasfruchtfolgen.....	24
2.2.3 Methodik der Energie- und Treibhausgasbilanzierung .....	27
2.2.4 Ermittlung des Nettoenergieoutputs und der Energieeffizienz .....	27
2.2.5 Ermittlung der pflanzenbaubasierten Treibhausgasemissionen .....	28
2.2.6 Beschreibung weiterer Nachhaltigkeitsindikatoren .....	28
2.2.7 Statistische Auswertung .....	29
2.3 Ergebnisse und Diskussion.....	29
2.3.1 Erträge von V350 .....	29
2.3.2 Nettoenergieoutput von V350 .....	31
2.3.3 Energieeffizienz von V350.....	32
2.3.4 Ergebnisse des Versuchs „Nachhaltige Biogasfruchtfolgen“ (V354) und Diskussion .....	34
2.3.5 Erträge von V354 .....	34
2.3.6 Nettoenergieoutput von V354 .....	37
2.3.7 Energieeffizienz von V354.....	38
2.3.8 Treibhausgasemissionen von V354.....	39
2.3.9 Weitere Nachhaltigkeitsindikatoren von V354 .....	41
2.4 Zusammenfassung und Schlussfolgerungen .....	44
<b>3 Teilprojekt 2: Qualitätsabschätzung von Grünlandaufwüchsen und anderen Substraten</b> .....	<b>48</b>
3.1 Hintergrund und Aufgabenstellung .....	48
3.2 Gräser: Arten und Sorten Vergleich .....	49
3.2.1 Material und Methoden .....	49
3.2.2 Ergebnisse und Diskussion.....	51
3.2.3 Zusammenfassung und Schlussfolgerungen .....	53
3.3 Kulturen Vergleich .....	53
3.3.1 Material und Methoden .....	53

3.3.2	Ergebnisse und Diskussion.....	55
3.3.3	Zusammenfassung und Ausblick .....	57
<b>4</b>	<b>Teilprojekt 3: Optimierung der Produktionstechnik von Getreide Ganzpflanzensilage für die Biogasproduktion .....</b>	<b>58</b>
4.1	Versuch Untersaaten .....	58
4.1.1	Material und Methoden .....	60
4.1.2	Ergebnisse und Diskussion.....	63
4.1.3	Zusammenfassung und Schlussfolgerungen .....	74
4.2	Getreide als Zweitfrucht.....	76
4.2.1	Material und Methoden .....	77
4.2.2	Ergebnisse und Diskussion.....	77
4.2.3	Zusammenfassung und Schlussfolgerungen .....	79
4.3	Getreide Sortenversuch .....	79
4.3.1	Material und Methoden .....	80
4.3.2	Ergebnisse und Diskussion.....	80
4.3.3	Zusammenfassung und Schlussfolgerungen .....	82
<b>5</b>	<b>Teilprojekt 4: Bewertung der Nachhaltigkeit von Energiefruchtfolgen in konventionellen und ökologischen Betrieben .....</b>	<b>83</b>
5.1	Hintergrund und Aufgabenstellung.....	83
5.2	Material und Methoden .....	83
5.3	Ergebnisse und Diskussion.....	85
5.4	Zusammenfassung und Schlussfolgerungen .....	89
<b>6</b>	<b>Erfolgte Veröffentlichungen zum Vorhaben .....</b>	<b>90</b>
	<b>Literaturverzeichnis .....</b>	<b>92</b>

---

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Faktorkombinationen im Versuch V350.....	22
Abbildung 2:	Standorte von V350 mit Standorteigenschaften. ....	23
Abbildung 3:	Standorte von V354 mit Standorteigenschaften. ....	25
Abbildung 4:	Gesamttrockenmasseerträge der Varianten im Mittel aller Jahre und Standorte. ....	31
Abbildung 5:	Nettoenergieoutput der Varianten im Mittel aller Jahre und Standorte. ....	32
Abbildung 6:	Zusammenhang zwischen Trockenmasseertrag und Nettoenergieoutput (n=254).....	33
Abbildung 7:	Energieeffizienz der Varianten im Mittel aller Jahre und Standorte. ....	33
Abbildung 8:	TM-Erträge von V354 am Standort Pettenbrunn. SM=Silomais, KG=Klee gras, WD=Weidelgras, WR=Winterroggen, GR=Grünroggen, WiTri=Wintertriticale, SoTri=Sommertriticale.....	34
Abbildung 9:	TM-Erträge von V354 am Standort Grub. SM=Silomais, KG=Klee gras, WD=Weidelgras, WR=Winterroggen, GR=Grünroggen, WiTri=Wintertriticale, SoTri=Sommertriticale.....	35
Abbildung 10:	TM-Erträge von V354 am Standort Neuhof. SM=Silomais, KG=Klee gras, WD=Weidelgras, WR=Winterroggen, GR=Grünroggen, WiTri=Wintertriticale, SoTri=Sommertriticale.....	36
Abbildung 11:	Nettoenergieinput ausgewählter Fruchtfolgen von V354.....	37
Abbildung 12:	Produktbasierte Treibhausgasemissionen ausgewählter Fruchtfolgen in V354. Humus (gestrichelt) als grobe Schätzung. ....	40
Abbildung 13:	Mikrobielle Biomasse am Standort Pettenbrunn im Jahr 2015. ....	41
Abbildung 14:	Katalasezahl am Standort Pettenbrunn im Jahr 2015. ....	42
Abbildung 15:	Kohlenstoffgehalt am Standort Pettenbrunn im Jahr 2015.....	43
Abbildung 16:	C/N-Verhältnis am Standort Pettenbrunn im Jahr 2015.....	43
Abbildung 17:	Energieinput und -output von vier beispielhaften Fruchtarten. ....	46
Abbildung 18:	Energieinputs bei der Silomaisproduktion mit und ohne Gärrestausbringung. ....	47
Abbildung 19:	Methanausbeute Wiesenschwingel zu unterschiedlichen Schnitten und Erntezeitpunkte 2013 und 2014 .....	51
Abbildung 20:	Kulturenvergleich: 1. Schnitt jeweils höchste Methanausbeute im Mittel 2013/2014.....	52
Abbildung 21:	Kulturenvergleich: Methanausbeute unterschiedlicher Substrate am Standort Rotthalmünster .....	55
Abbildung 22:	spez. Methanausbeute ausgewählter Substrate an unterschiedlichen Standorten .....	56

Abbildung 23: spez. Methanausbeute ausgewählter Substrate an unterschiedlichen Standorten .....	57
Abbildung 24: Erträge im Anbausystem Roggen im Vergleich der einzelnen Saatzeitpunkte im 1. Anbaujahr.....	64
Abbildung 25: Erträge im Anbausystem Roggen im Vergleich der einzelnen Saatzeitpunkte im Folgejahr .....	65
Abbildung 26: Gesamt-Erträge im Anbausystem Roggen im Vergleich der einzelnen Saatzeitpunkte.....	66
Abbildung 27: Ertragsanteile der Ackerfuttermischungen im Anbausystem Roggen nach Saatzeitpunkt .....	67
Abbildung 28: Ertragsanteile von Luzernengras in den Anbausystemen Wintertriticale, Winter- und Sommergerste nach Saatzeitpunkt .....	68
Abbildung 29: Erträge im Anbausystem Mais im Vergleich der einzelnen Saatzeitpunkte im 1. Anbaujahr.....	70
Abbildung 30: Erträge im Anbausystem Mais im Vergleich der einzelnen Saatzeitpunkte im Folgejahr .....	70
Abbildung 31: Ertragsanteile der Ackerfuttermischungen im Anbausystem Mais nach Saatzeitpunkt .....	71
Abbildung 32: Erträge im Getreide mit Luzernengras im Vergleich der einzelnen Saatzeitpunkte .....	73
Abbildung 33: Auswirkungen des Saattermins auf Ertrag und TS-Gehalt bei Sommertriticale.....	78
Abbildung 34: Auswirkungen des Saattermins auf Ertrag und TS-Gehalt bei Sommertriticale am Standort Pulling.....	79
Abbildung 35: Leistungspotential Trockenmasseerträge der Wintertriticalesorten 2014 am Standort Grub.....	81
Abbildung 36: Leistungspotential Trockenmasseerträge der Winterroggensorten 2014 am Standort Grub.....	82
Abbildung 37: Weizenerträge nach einem (V354, 5 und 12), bzw. nach drei (Biomasseversuch, A und B) Fruchtfolgedurchgängen. Variante 5: SM/WR/WD. Variante 12: SM/GR/SM/GR/SM. Variante A: KG/WW+KG/KG/KG. Variante B: KG/WW+GR/SM/WT. ....	85
Abbildung 38: Nettoenergieoutput der ausgewählten Varianten in V354 (5 und 12) und im Biomasseversuch (A und B). ....	86
Abbildung 39: Katalasezahl am Standort Viehhausen im Jahr 2015.....	88
Abbildung 40: Kohlenstoffgehalt am Standort Viehhausen im Jahr 2015. ....	88

---

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Im Rahmen von Teilprojekt 1 analysierte Feldversuche. ....	21
Tabelle 2:	Langjähriges Mittel von Temperatur und Jahresniederschlag der Versuchsstandorte. Abweichungen vom langjährigen Mittel in Klammer (Sticksel et al. 2010, verändert). ....	24
Tabelle 3:	Varianten von V354. (SomTri=Sommertriticale, WT=Wintertriticale, WR=Winterroggen, WD=Weidelgras, WDu= Weidelgrasuntersaat, KG=Klee gras, KGu=Klee grasuntersaat, GR=Grünroggen, SM=Silomais, WW=Winterweizen).....	25
Tabelle 4:	Langjähriges Mittel von Temperatur und Niederschlag (März- Oktober) der Versuchsstandorte. Abweichungen vom langjährigen Mittel in Klammer. ....	26
Tabelle 5:	Zahlenschlüssel der in V350 untersuchten Fruchtartenkombinationen mit Erntezeitpunkten.....	29
Tabelle 6:	Auswahl der Fruchtfolgen von V354 für die Nachhaltigkeitsdarstellung.....	37
Tabelle 7:	Energieeffizienz der ausgewählten Fruchtfolgen von V354.....	38
Tabelle 8:	Untersuchte Grünlandarten und -sorten.....	50
Tabelle 9:	Definierte Erntetermine .....	50
Tabelle 10:	Herkunft und Variation der untersuchten Kulturen .....	54
Tabelle 11:	Standortcharakteristika des Versuchsstandortes Grub.....	60
Tabelle 12:	Versuchs - Varianten .....	60
Tabelle 13:	Kategorisierte Saatzeitpunkte der Sommertriticale .....	77
Tabelle 14:	Fruchtfolgen aus dem Biomasseversuch der TUM für den Systemvergleich in Teilprojekt 4.....	84
Tabelle 15:	Energieeffizienz der ausgewählten Varianten aus V354 (5 und 12) und dem Biomasseversuch (A und B). ....	87



## Zusammenfassung

Die Produktion von Biogas ist mit einer Anlagenzahl von knapp 8000 in Deutschland nach wie vor ein bedeutender Wirtschaftsfaktor im Bereich der Erneuerbaren Energien (Fachverband Biogas 2014). Die Grundlage für die Produktion von Biogas ist Biomasse, die als Nährsubstrat für die Mikroorganismen in der Anlage dient. Mais ist aufgrund seiner hohen Erträge und guten Vergärbarkeit das meist eingesetzte Substrat in der Biogasproduktion. Um möglichen Fruchtfolgeproblemen durch einseitigen Maisanbau entgegen zu wirken, müssen die Energieerträge langfristig auf eine breitere Basis gestellt werden. Über den Anbau weiterer Energiepflanzen sowie unter Berücksichtigung der Regeln des Fruchtwechsels kann die Substratproduktion nachhaltig gesichert werden. Auch der in der Öffentlichkeit geführte kritische Diskurs über die Ausdehnung der Maisanbaufläche kann mit Artenvielfalt und Auflockern maisbetonter Fruchtfolgen entspannt werden.

Das Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung (IPZ) an der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL) prüft schon seit vielen Jahren das Leistungspotential unterschiedlicher pflanzlicher Substrate für die Biogaserzeugung. Dabei stehen klassische landwirtschaftliche Kulturen mit bekannter Produktionstechnik und vorhandener Mechanisierung in den Betrieben im Vordergrund. Anbaufolgen mit Mais, Getreide-Ganzpflanzensilagen (GPS) sowie Futterpflanzen und verschiedene Gräser wurden auf ihre Ertragsleistung hin untersucht. Die Versuche zeigten keine Ertragsvorteile aller alternativen Kulturen und Anbausysteme gegenüber Mais in Hauptfruchtstellung. Dem gegenüber steht aber eine Reihe von pflanzenbaulichen Vorteilen. Getreide trägt mit einer winterlichen Bodenbedeckung zu einer verminderten Erosionsanfälligkeit und einer schnell einsetzenden Nährstoffaufnahme im Frühjahr bei. Nährstoffauswaschungen, die zu Nitratproblemen führen können, werden reduziert. Gräser und Ackerfuttermischungen besitzen positive Wirkungen auf den Humushaushalt sowie die Bodenfruchtbarkeit. Damit tragen sie zur Nachhaltigkeit und so gesehen zur langfristigen Effizienz bei.

Ziel des Projektes war es, den Anbau der klassischen landwirtschaftlichen Kulturen nicht nur hinsichtlich des ertraglichen Leistungspotentials zu bewerten, sondern die Bodenfruchtbarkeit und die Klimarelevanz in die Betrachtungen mit einzubeziehen. Aspekte der Nachhaltigkeit können somit in die vergleichende Bewertung unterschiedlicher Fruchtfolgen mit aufgenommen werden. Gleichzeitig galt es aber auch die nachhaltige Substratproduktion weiter zu optimieren. Eine Effizienzsteigerung beim Anbau einzelner Substrate erfordert optimierte Anbausysteme mit angepasster Produktionstechnik sowie eine Steigerung der Qualitätsparameter.

In vier Teilprojekten wurde im Rahmen des Projektes mit der Förderkennziffer K/09/11 einzelne Aspekte der nachhaltigen und klimafreundlichen Biogasfruchtfolgen bearbeitet.

Die aus den Ergebnissen resultierenden Beratungsaussagen wurden bereits während der Projektlaufzeit in die Praxis weitergegeben. Der wissenschaftliche Ansatz der Versuche ermöglichte die Erstellung von zwei Masterarbeiten, die Ergebnisse des Teilprojekt 1 fließen in eine Arbeit zur Erlangen des Doktorgrades mit ein.

### Teilprojekt 1

Das Teilprojekt 1 widmet sich der Bewertung unterschiedlicher Pflanzenarten und Anbaufolgen hinsichtlich ihrer Nachhaltigkeit. In Zusammenarbeit mit dem Lehrstuhl für Ökologischen Landbau und Pflanzenbausysteme wurden Energie-, CO<sub>2</sub>- und Humusbilanzen mit

dem Betriebs- und Umweltmanagementsystem REPRO (Hülsbergen 2003) erstellt. Auf Basis der Bilanzen wurden einzelne Fruchtarten sowie ganze Fruchtfolgen hinsichtlich ihrer Flächeneffizienz, Ressourceneffizienz und Treibhausgas-(THG-)Emissionen verglichen.

Grundlage für die Nachhaltigkeitsbewertung waren die Ergebnisse zweier Feldversuche der LfL, die unter bayerischen Bedingungen (je 3 Standorte) durchgeführt wurden. Der erste Versuch (Versuch 350) prüfte in den Jahren 2007-2010 Zweikulturnutzungssysteme mit Wintergetreidearten als Erstfrucht und verschiedenen Zweitfrüchten. Als Referenz diente Mais im Hauptfruchtanbau. Im Rahmen des jetzigen Projektes wurde basierend auf den vorangegangenen Ergebnissen ein Fruchtfolgeversuch (Versuch 354) in den Jahren 2012-2015 durchgeführte. Insgesamt wurden 12 verschiedene Fruchtfolgen, die aus Grünroggen, Winterroggen, Wintertriticale, Weidelgras, Klee gras und Mais bestanden, verglichen. Der Silomaisanteil in der Fruchtfolge variierte von 0-100%. Die Düngung erfolgte mit Biogasgärrest und Mineraldünger als Ergänzung.

#### Nettoenergieoutput

Der Nettoenergieoutput kann als Maß für die Flächeneffizienz einer Fruchtart angesehen werden, er errechnet sich aus dem Energieoutput (gebundene Sonnenenergie) abzüglich des Energieinputs (investierte fossile Energie). Der Energieoutput wurde auf Basis des Heizwertes der Trockenmasse (TM) berechnet, wobei die Höhe des Heizwertes unterschiedlicher Ackerfrüchte nur schwach schwankt. Der Energieinput erfasst die Energie, die für die Bereitstellung von Betriebsmitteln, Maschinen und Geräten notwendig ist. Da der Energieoutput um ein Vielfaches höher ist als der Energieinput, besteht eine starke Abhängigkeit des Nettoenergieoutputs vom TM-Ertrag. Dementsprechend zeichneten sich Kulturen mit einem hohen Masseertrag, wie der Silomais, durch eine effiziente Nutzung der Fläche aus. Aus Versuch 350 ist bekannt, dass hohe Erträge fast nur in Kombinationen mit Mais erwirtschaftet werden können. Anbausysteme mit zwei Kulturen können Erträge auf dem Niveau von Mais realisieren. Insbesondere die Kombination von Grünroggen/Mais, Gerste/Mais und Roggen/Untersaat Weidelgras auf Standorten mit guter Wasserversorgung haben sich bewährt. Der Nettoenergieoutput spiegelt diese Ergebnisse wider.

Die Ergebnisse des Versuches II zeigten ebenfalls eine starke Korrelation zwischen Ertrag und Nettoenergieoutput, jedoch weisen die Ergebnisse auch auf die Wichtigkeit des Einflusses von Jahr (Witterung) und Standort hin. Im Jahr 2012 zeigte der Mais den höchsten Nettoenergieoutput aller Kulturen über alle Standorte ( $250-420 \text{ GJ ha}^{-1}$ ). Das Jahr 2013 war durch extrem ungünstige Witterungsbedingungen gekennzeichnet und führte an allen Standorten zu relativ niedrigen Nettoenergieoutputs beim Mais ( $75-200 \text{ GJ ha}^{-1}$ ), die von anderen Kulturen wie Weidelgras auf dem Standorten mit ausreichender Wasserversorgung übertroffen wurde. Insgesamt unterschied sich der Nettoenergieoutput über die kompletten Fruchtfolgen auf diesem Standort nicht signifikant ( $950-1000 \text{ GJ ha}^{-1}$ ). Auf dem Standort mit einer geringen nutzbaren Feldkapazität übertrafen jedoch die Fruchtfolgen mit 100 % Maisanteil (Mais bzw. Mais/Grünroggen) mit  $850$  und  $900 \text{ GJ ha}^{-1}$  die Fruchtfolgen mit Weidelgras ( $750 \text{ GJ ha}^{-1}$ ).

#### Energieeffizienz

Die Energieeffizienz entspricht dem Verhältnis zwischen Energieoutput und Energieinput. Sie erlaubt Rückschlüsse auf die Ressourceneffizienz, weil sie eine Aussage über die gebundene Energie je eingesetzter Energieeinheit zulässt. Anders als beim Nettoenergieoutput ist die Energieeffizienz sehr stark von der Höhe des Energieinputs über die Betriebsmittel abhängig. Deshalb weisen Feldfrüchte mit sehr hohen Inputs, wie z. B. Wei-

delgras mit häufigen und arbeitsaufwändigen Erntegängen und hohen Mineraldüngergaben, bei gleichem Ertrag eine deutlich geringere Energieeffizienz auf als Fruchtarten mit niedrigeren Inputs. Dasselbe gilt auch für die ertragsstarken Anbaukombinationen zweier Kulturen. In Versuch 350 hatte Silomais in Einzelstellung (im Mittel der Jahre und Standorte) eine signifikant höhere Energieeffizienz als andere geprüfte Varianten, weil ein hoher Ertrag hier mit vergleichsweise geringen Inputs gepaart ist.

Im Versuch 354 variierte die Energieeffizienz über die Einzelpflanzen auffallend. Der Jahreseinfluss der Witterung, der sich durch immer häufig werdende Wetterextreme stark auf die Bestandsentwicklung und damit auf den Ertrag auswirkt, bedingte hohe Ertragschwankungen. 2012 konnte Mais eine Energieeffizienz von 45-59 aufweisen, während 2013 die Energieeffizienz nur noch zwischen 15-22 lag. Der Winterroggen, der sein Ertragsniveau bereits im Frühsommer erreichte und die Winterfeuchte gut nutzen kann, zeigte sich im Jahr 2013 mit einer Energieeffizienz von 29-35 dem Mais überlegen.

#### Treibhausgasemissionen

Der Vergleich der produktbasierten Treibhausgasemissionen für ausgewählte Fruchtfolgen aus dem Versuch 354 zeigte, dass die Fruchtfolgen mit 100 % Silomaisanteil auf allen Standorten mit die höchsten Emissionen aufwiesen (24-42 kg CO<sub>2</sub>-eq dt<sup>-1</sup>). Aufgrund der positiven Auswirkungen auf die Kohlenstoffbindung emittierte die Fruchtfolge mit dem 2-jährigen Weidelgrasanbau nur 14-17 kg CO<sub>2</sub>-eq dt<sup>-1</sup> über alle Standorte. Zu berücksichtigen ist, dass bei der Berechnung auf die mittleren Werte von VDLUFA (2014) zurückgegriffen wurde, die jedoch nur als grobe Schätzung zu verstehen sind. Deshalb werden die CO<sub>2</sub>-eq-Emissionen aus dem Humusumsatz in bei solchen Betrachtungen oft gestrichelt dargestellt und sind nur als Tendenz zu verstehen. Die konkreten Werte können nicht die Realität wiedergeben, sie berücksichtigen nur die Einschätzung bestimmter Pflanzen als Humuszehrer bzw. -mehrer. Um die damit verbundenen Aussagen auf die Bodenfruchtbarkeit zu erhöhen, wurden weitere Parameter zur mikrobiologischen Aktivität im Boden bestimmt. Die Ergebnisse konnten aber keine signifikanten Unterschiede darlegen.

#### Fazit

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass in einer energieeffizienten Biogassubstratproduktion, die zudem den Anspruch an den Flächenumfang gering hält, der Silomais auch weiterhin eine wesentliche Rolle einnehmen wird. Entscheidend für die hohe Flächen- und Ressourceneffizienz von Silomais ist eine gute und stabile Ertragsleistung. Um die Ertragsstabilität langfristig zu sichern, gilt es Ertragsrisiken wie sie z.B. durch Wetterextreme und Krankheiten bedingt werden, zu minimieren und die Bodenfruchtbarkeit zu erhalten. Dazu ist der Silomais in Anbausysteme und Fruchtfolgen mit weiteren Kulturen zu stellen. Da die Treibhausgasemissionen des Pflanzenbaus stark durch den Humusumsatz beeinflusst werden, zeigen sich in diesem Punkt Fruchtfolgen mit humusmehrenden Kulturen vorteilhaft gegenüber maisbetonten Fruchtfolgen. Standortangepasste Anbausysteme mit Getreide und Ackergräsern können somit zu einer langfristigen Nachhaltigkeit beitragen.

## **Teilprojekt 2**

Teilprojekt 2 befasste sich mit dem Methanbildungspotential der Substrate. Die Spezifische Methanausbeute gilt als Qualitätsmerkmal, welche neben dem Trockenmasse (TM) -ertrag und dem Aschegehalt einen Einfluss auf den Methanertrag pro Hektar hat. Dieser wiederum bestimmt die Wirtschaftlichkeit der Biogasproduktion. Effizienzsteigerungen erfordern somit auch die optimale Nutzung des Methanbildungspotentials.

### Gräser: Arten und Sorten Vergleich

Die Variabilität der Methanausbeute ist bei den Gräsern am ausgeprägtesten. Vorangegangene Versuche haben gezeigt, dass abhängig vom Pflanzenbestand, Nutzung und Schnitzeitpunkt die Methanausbeute starken Schwankungen unterworfen ist. Um den Einsatz von Gräsern und Grünlandbeständen zu optimieren, bedarf es Aussagen über den Einfluss verschiedener Faktoren auf das Qualitätsmerkmal Methanausbeute. Im Rahmen dieses Projektteils soll mittels Batch Analysen das Methanbildungspotential unterschiedlicher Gräserarten und -sorten zu verschiedenen Erntezeitpunkten bestimmt werden und auf ihren Zusammenhang untersucht werden. Dazu wurden vier Grasarten (Deutsches Weidelgras, Wiesenrispe, Knaulgras, Wiesenschwingel) und zwei Kleearten (Rotklee, Weißklee), die für den bayerischen Futterbau typisch sind, ausgewählt. Vom Deutschen Weidelgras standen vier verschiedene Sorten zur Verfügung, die sich vor allem in der Reife unterscheiden. Damit konnten insgesamt neun Substrate (Arten und Sorten) für die Batch - Gärtests bereitgestellt werden.

### Kulturen Vergleich

Für das Methanbildungspotential der verschiedenen Substrate bzw. einzelner Kulturen findet man in der Literatur immer wieder unterschiedliche Werte. Dies ist bedingt durch unterschiedliche Bestimmungsverfahren wie Methoden der Berechnung (z.B. nach Baserga (1998) oder Weisbach (2008)) oder Messungen im Labor. Eine Vergleichbarkeit ist damit nur möglich, wenn die Werte aus derselben Bestimmungsmethode entstammen.

Um eine Vergleichbarkeit der spezifischen Methanausbeuten verschiedener Kulturen zu erhalten, ist es somit unerlässlich eine vergleichende Messung in einem Labor mit einem einzigen Batchansatz durchzuführen. In diesem Projekt soll mit Batch Analysen ein Kulturenvergleich unter gleichen sowie unter verschiedenen Standortbedingungen erfolgen, um so Aussagen zum Methanertrag in Abhängigkeit der Kultur und den Standort zu bekommen.

### Fazit

Abschließend kann festgehalten werden, dass die Ergebnisse der Batch Analysen der Gräserarten und-sorten keine Aussagen zu einem optimalen Erntezeitpunkt im Grünlandbereich zu lassen. Die höchste Methanausbeute liegt im Bereich des Erntetermins für die optimale Futterverwertung. Unter wirtschaftlichen Aspekten sind vor allem die Methanektarerträge pro Jahr von Bedeutung. Dieser wird nicht nur durch die spezifischen Methanerträge beeinflusst, sondern vor allem durch den Trockenmasseertrag, den es auch weiterhin ackerbaulich zu optimieren gilt. Da der TM mit der Erntereife zunimmt, scheint der optimale Erntetermin für die Biogasproduktion, wie es Hartmann und Sticksel (2012) bereits formuliert haben, wahrscheinlich etwas später (ca. 3-4 Tage) als bei der Nutzung für Milchvieh zu liegen.

Die Ergebnisse des Vergleichs verschiedener Kulturen als Biogassubstrat zeigen, dass Unterschiede in der spezifischen Methanausbeute vorhanden sind. Sie schwanken in einem Bereich von 230 – 403 Normliter CH<sub>4</sub> pro kg oTS, Mais liegt dabei immer im oberen Bereich. Lediglich die Zuckerrübe zeigt ein besseres Methanbildungspotential. Im unteren Bereich liegen die Wildpflanzenmischungen und die Durchwachsene Silphie. Teilweise sind nur 57 - 70% des Methanbildungspotentials des Maises möglich. Auf einzelnen Standorten waren höhere prozentuale Anteile gegeben, was auf die Möglichkeit der Optimierung hinweist.

Die Ergebnisse zeigen aber auch, dass das Methanbildungspotential einer Kultur in einem weiten Bereich schwanken kann. Es scheint eine Abhängigkeit vom Standort gegeben zu

sein. Unterschiedliche Witterungen können zu unterschiedlicher Abreife führen, was wiederum das Methanbildungspotential beeinflussen kann. Damit ist eine Vorhersage der optimalen Methanausbeuten anhand des Entwicklungsstadiums nicht möglich.

Der Trockenmasseertrag bleibt damit weiterhin die wichtigste Größe zur Einschätzung der Wirtschaftlichkeit einer Biogaskultur.

### **Teilprojekt 3**

Im Rahmen des Teilprojektes 3 sollte die Produktionstechnik von Getreide-Ganzpflanzensilage optimiert werden.

Getreide mit der Nutzung als Ganzpflanzensilage (GPS) gehört längst zu den etablierten Verfahren in der Erzeugung von Rohstoffen für den Biogasprozess. Nach Silomais, der bedingt durch sein hohes Ertragspotential und seine gute Vergärbarkeit die Substratproduktion dominiert, werden am zweit- und dritthäufigsten Gras- und Getreide-Ganzpflanzensilage in der Biogasproduktion eingesetzt. Im Gegensatz zu vielen neuen Kulturen, die durchaus ihre Potentiale haben, jedoch in den verschiedensten Bereichen noch Forschungsbedarf zeigen, ist die Produktionstechnik bei Getreide bekannt und die Mechanisierung auf den Betrieben vorhanden. Auch wenn der Ertrag von Getreide hinter dem von Mais steht, so bietet dessen Anbau viele pflanzenbauliche Vorteile. Die Winterbegrünung bietet Schutz vor Nährstoffauswaschung und Erosion. Eine Gärrestverwertung ist im Gegensatz zum Mais im Herbst und Frühjahr möglich. Zudem lassen sich die verschiedenen Getreidearten vielfältig in die Fruchtfolge integrieren und lockern diese auf. Als Haupt- oder Zweitfrucht ist Getreide ein wichtiger Teil von Biogasfruchtfolgen und kann dort vielseitig eingesetzt werden.

#### Untersaat in Getreidebeständen

Die Etablierung einer Untersaat in Getreidebeständen ist ein Verfahren, das in für Biogasbetriebe aufgrund seines effizienten und nachhaltigen Charakters zunehmend Anklang findet. Vorangegangene Versuche haben gezeigt, dass der Roggenanbau mit integrierter Weidelgras-Untersaat sehr gute Erträge liefert. Aufgrund der durchaus hohen Erträge und vieler ökologischer Vorteile stellt ein solches Anbausystem durchaus eine Alternative zum Anbau von Mais dar. Es findet seine Berechtigung auch aufgrund einer besseren Ertragsstabilität bei ungünstigen Witterungsverhältnissen. Durch die frühzeitige Ernte des Getreide-GPS kann einer witterungsbedingten Sommertrockenheit ausgewichen werden. Zudem kann durch die Etablierung verschiedener Arten und derer zeitlich versetzter Entwicklungsstadien eine Ertragskompensation bei ungünstigen Witterungsverhältnissen stattfinden. Gerade eine Auflockerung von maisbetonten Fruchtfolgen kann sowohl den Schädlings- als auch Krankheits- und Unkrautdruck maßgebend reduzieren und zur Biodiversität beitragen.

Im Rahmen dieses Projektes sollte die Effizienz des Verfahrens gesteigert und die Produktionstechnik optimiert werden. Neben der Wahl verschiedener Deckfrüchte (Wintertriticale, Winterroggen, Wintergerste, Sommergerste, Mais) und Saatzeitpunkte (Getreide: Herbst-, Frühjahrs-, Blanksaat; Mais: 3-Blatt-, 5-Blatt-Stadium) wurden auch verschiedene Ackerfutmischungen (Luzernegrass, Klee-grass, Weidelgräser) getestet. Die Nutzung erfolgte über 2 Jahre. Um Jahreseffekte auszuschließen wurden über den Versuchszeitraum 3 Rotationen angelegt (2012-2014; 2013-2015; 2014-2016). Versuchsstandort war Grub. Bundesweit wurde er an 10 weiteren Standorten umgesetzt, da der Versuch in den Forschungsverbund „EVA“ integriert wurde. Dies ermöglichte die Bearbeitung erweiterter

Fragestellungen. Die hohe Anzahl der vielen Versuchsfaktoren machte den Versuch sehr komplex, umfangreich und arbeitsintensiv, lieferte aber auch eine Vielzahl von Ergebnissen, die in eine Reihe von Beratungsaussagen für die Praxis mündeten.

#### Fazit:

Praxisaussagen zur Etablierung von Ackerfuttermischungen in Getreide:

- Untersaaten reduzieren den Getreide-GPS Ertrag, jedoch kann der Gesamtflächenertrag gesteigert werden. Dabei ist die Steigerung des Gesamtflächenertrages abhängig von der Witterung in der Vegetationszeit.
- Untersaaten, die im Herbst mit dem Getreide ausgebracht werden, tragen zur Unkrautunterdrückung im Bestand bei. Dies führt zu einer guten Etablierung der Untersaat, was sich in guten Erträgen sichtbar wird.
- Im Herbst gesäte Untersaaten liefern im Vergleich zu Frühjahrsuntersaaten bei einer einjährigen Nutzung die höchsten Gesamtflächenerträge
- Bei Untersaaten, die im Frühjahr in den Getreide Bestand ausgebracht werden, muss auf die Verunkrautung geachtet werden. Es kommt schnell zu einer Verunkrautung, die eine schlechte Etablierung mit geringen Erträgen zu Folge hat.
- Blanksaaten nach der Getreide GPS Ernte liefern zwar im ersten Jahr nur wenig Ertrag, zeigen sich aber im Folgejahr ertragsstark, so dass bei einer zweijährigen Nutzung die höchsten Gesamtflächenerträge erzielt werden können.
- Lang stehende Deckfrüchte wie Triticale und Roggen sind als Deckfrüchte zu empfehlen. Frühräumende Deckfrüchte wie Gerste haben einen niedrigeren Ertrag, ermöglichen aber den Untersaaten eine längere Vegetationszeit. Der Ertrag der Untersaaten ist aber stark witterungsabhängig und konnte den niedrigeren GPS Ertrag in der Summe nicht kompensieren. Zudem bedingt die Nutzung der verlängerten Vegetationszeit eine erhöhte Schnitthäufigkeit, die ein Mehraufwand an der Ressourcen Arbeit und Betriebsmittel wie Diesel und Dünger erfordert.

Praxisaussagen zur Etablierung von Ackerfuttermischungen in Mais:

- Anbausysteme mit Untersaaten im Mais benötigen eine gute Wasserverfügbarkeit
- Wassermangel und Trockenheit führt zu erheblichen Ertragsverlusten
- Zum Aussaatzeitpunkt kann keine Aussage getroffen werden
- Gras-Untersaaten im Mais bieten die Möglichkeit der Anrechnung beim „Greening“

#### Sommergetreide

Sommergetreide stellt in Biogasfruchtfolgen eine geeignete Zweitfrucht dar, die gegenüber vielen anderen Kulturen wie z.B. Sonnenblume und Sorghumhirse den Vorteil hat, noch zuverlässig ausreichende Trockensubstanzgehalte bis zur Ernte zu erreichen. Bislang war das Ertragspotential jedoch mit Ausnahme der Sommertriticale äußerst schwach. Zudem waren die Pflanzen krankheitsanfällig. Beobachtungen aus anderen Bundesländern (Versuche der LWK Nordrhein-Westfalen) sowie ein eigener Tastversuch lassen vermuten, dass sich durch einen späteren Saatzeitpunkt (Juni/Juli) und damit verbunden veränderte Tageslängen und Temperaturen das Ertragspotential von Sommergetreide-GPS deutlich steigern lässt. Insbesondere Sommertriticale scheint sich als gesund, standfest und ertragreich auszuzeichnen. Hier ist zu klären inwieweit eine Variation im Aussattermin die Ertragsleistung von Sommergetreidearten beeinflusst, um genauere Empfehlungen zur Eingliederung von GPS als Zweitfrucht für den Praxisanbau in Bayern geben zu können.

Der Saatzeitpunkt-Versuch wurde drei Jahre (2011-2013) lang auf drei Standorten (Pulling, Steinach, Straßmoos) durchgeführt. Die Sommertriticale wurde jeweils zu drei Terminen (Steinach, Straßmoos) beziehungsweise zu fünf Terminen (Pulling) gesät. Geerntet wurde an einem einheitlichen Termin je Standort. Die Saatzeitpunkte können in Kategorien ungefähren Terminen zugeordnet werden

#### Fazit:

Der Versuch bestätigt, dass mit Sommertriticale ein Anbau einer erntefähigen Zweitfrucht möglich ist. Der für die Silierung nötige TS - Gehalt wird, bis auf einen sehr späten Saattermin (Ende Juli), erreicht. Ertragsoptimum liegt bei einem Saatzeitpunkt um den 20. Juni. Das entspricht in etwa dem Erntetermin von Roggen-GPS. Damit ist als Vorfrucht eine ertragsreiche Erstfrucht möglich. Das Ertragsniveau auf dem feucht - kühlen Standort Pulling mit über 80 dt/ha ist akzeptabel. Im Durchschnitt der Standorte und Jahre ist mit Erträgen unter 70 dt/ha letztendlich weniger zu erwarten. Zu beachten ist, dass im Versuch die Erstfrucht Getreide nicht angebaut wurde. So ein Zweikulturnutzungssystem hat aber hohe Ansprüche an die Wasserverfügbarkeit, so dass die Betrachtung des kompletten Anbausystems in weiteren Versuchen berücksichtigt finden sollte.

#### Sortenversuchen

Mit Sortenversuchen kann der Frage nach einer weiteren Optimierung des TM Ertrages nachgegangen werden. Die Wahl der Sorte bietet eine weitere Möglichkeit der Steigerung der Effizienz von Getreide.

Frühere Versuche haben gezeigt, dass es bei allen Getreidearten mit GPS-Nutzung Ertragsunterschiede zwischen den Sorten gibt. Am stärksten waren diese Unterschiede bei Triticale mit 30 dt TM/ha ausgebildet. Damit war klar, dass mit der Sortenwahl der Ertrag gesteigert werden kann. Die Annahme, dass es Zusammenhänge zwischen dem TM-Ertrag und anderen agronomischen Größen wie Pflanzenlänge oder Kornertrag gibt, konnte durch die Versuche nicht gesichert bestätigt werden. Um Aussagen zum Ertragspotential einzelner Sorten machen zu können, sind somit Sortenversuche unerlässlich. Aus diesem Grund wurde im Rahmen des Projektes das Ertragspotential von jeweils zehn Sorten der Wintergetreidearten Triticale und Roggen getestet.

Zum Anbau kamen Sorten mit bereits großer Anbaubedeutung sowie Neuzüchtungen, dabei handelte es sich um Hybrid-, Population- und synthetische Sorten. Standort des Versuches war Grub (Poing) mit flachgründigen leichten Böden in der Münchener Schotterebene. Der Versuch verlief ohne Komplikationen. Bedingt durch die sehr trockene Witterung im Juni wurde der für die optimale Silage benötigte Trockensubstanz (TS)-Gehalt von 28-35% bereits im Stadium der frühen Milchreife (BBCH 72) beim Roggen und bei Triticale sogar noch früher zum Ende der Blüte (BBCH 69) erreicht. Um den Ertrag zu optimieren wird in der Praxis aber erst zur Teigreife geerntet. Die Erfahrungen dieses Versuches haben gezeigt, dass dies schnell zu sehr hohen TS-Gehalten von > 40% führt. Die Folge bedingt eine schlechte Silierung, die mit hohen Verlusten einhergeht. Für die Praxis bildet sich daraus die Beratungsaussage, den Erntezeitpunkt nicht nur am Entwicklungsstand festzumachen, sondern die Abreife als Ganzes im Blick zu haben.

Die Unterschiede im Ertrag der Sorten beider Arten umfassten 20 dt TM/ha, wobei sich bei Triticale die beiden Hybridsorten *HYT Max* (114 dt TM/ha) und *HYT Prime* (112 dt TM/ha) besser darstellten als die acht Populationssorten. Die beste Populationssorte *Tricanto* zeigt aber mit 111 dt TM/ha keine nennenswerten Unterschiede zu den beiden Hybridsorten. Bei Roggen erbrachte ebenfalls eine Hybridsorte *KWS Progas* (120 dt TM/ha) den höchsten Ertrag, aber die synthetische Sorte *Sandie* (114 dt TM/ha)

und die Populationssorte *Generator* (113 dt TM/ha) lagen ebenfalls in diesen oberen Ertragsbereich mit nicht signifikanten Unterschieden zu *KWS Progas*. Schlusslicht machte die Hybridsorte *Hellvus*, eine Körnersorte, die sich durch eine geringe Lagerneigung auszeichnet, mit 99 dt TM/ha.

#### Fazit:

Diese einjährigen Ergebnisse von einem Standort können natürlich nicht das komplette Potential der Sorten auf anderen Standorten darstellen. Sie dienen lediglich als erste Orientierungshilfe unter ähnlichen Bedingungen. Um Sortenempfehlungen geben zu können und die Versuche als Beratungsinstrument nutzen zu können, müssen die Versuche in den nächsten Jahren auf weitere Standorte ausgedehnt werden.

### **Teilprojekt 4**

Die Nachhaltigkeit von Energiefruchtfolgen im ökologischen Landbau wurde in Teilprojekt 4 mit dem konventionellen Landbau zusammengeführt. Bedeutende Unterschiede sind insbesondere einerseits die größere Bedeutung von Biogasgärrest als kurzfristig wirkender Mineraldüngerersatz im Ökolandbau. Andererseits ist die Entstehung ausreichender Mengen an Gärresten stark von ausreichend hohen Erträgen abhängig, wie beim Silomais von Fruchtfolge B zu beobachten war. Zusätzlich war der Einfluss der Fruchtfolge auf die Marktfrucht Winterweizen deutlich festzustellen. Daraus folgt, dass das Paradigma des Silomais als bedeutendster Frucht für die Biogasproduktion für den Ökolandbau unter bayerischen Bedingungen nicht im gleichen Maß gilt wie im bayerischen konventionellen Landbau. Hier ist es von großer Bedeutung, die Fruchtfolge noch genauer als ohnehin im Ökolandbau notwendig an die Standortbedingungen und an die besonderen Anforderungen bei der Produktion von Energiepflanzen anzupassen. Bei der biologischen Aktivität über die Katalase waren Unterschiede im Verhältnis der Fruchtfolgen zueinander zwischen dem konventionellen und dem ökologischen System feststellbar. Der Einfluss vieler standortabhängiger Parameter auf die biologische Aktivität ist allerdings zu hoch, um eine grundsätzliche Empfehlung dazu ableiten zu können. Zur abschließenden Verknüpfung der Energiepflanzenproduktion unter konventionellen und ökologischen Bedingungen und um grundlegende Unterschiede zwischen den Systemen feststellen zu können, besteht weiterer Forschungsbedarf, der nur in einem eigens angelegten Feldversuch sicher geprüft werden kann.

## 1 Hintergrund und Ziel des Projekts

Die Produktion von Biogas ist mit einer Anlagenzahl von knapp 8000 in Deutschland nach wie vor ein bedeutender Wirtschaftsfaktor im Bereich der Erneuerbaren Energien (Fachverband Biogas 2014). Die Grundlage für die Produktion von Biogas ist Biomasse, die als Nährsubstrat für die Mikroorganismen in der Anlage dient. In konventionell geführten landwirtschaftlichen Betrieben nimmt Silomais eine herausragende Stellung als Gärsubstrat ein, weil er eine hohe Ertragsleistung bei sehr guter Vergärbarkeit hat und die Produktionstechnik bekannt und verbreitet ist. Dieser Umstand hat zu einer Ausweitung der Maisanbaufläche für die Bioenergiegewinnung geführt, die besonders in Regionen mit einer hohen Dichte an Biogasanlagen von sinkender Akzeptanz in der Bevölkerung begleitet wurde. Auch im Bereich von Wissenschaft und Praxis werden hohe Maisanbaudichten für die Biogaserzeugung seit einigen Jahren kritisch diskutiert. Zweifel an der sozio-ökologischen Nachhaltigkeit von Nutzpflanzen als Biogassubstrat wurden nicht zuletzt von Leopoldina (2013) geäußert.

Den ökologischen Problembereichen des Maises wie Bodenerosion, Nährstoffauswaschung sowie wachsender Schädlingsdruck kann mit Auflockerung maisbetonter Fruchtfolgen entgegen gewirkt werden. Am Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung (IPZ) an der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL) wird schon seit Jahren das Leistungspotential unterschiedlicher pflanzlicher Substrate für die Biogaserzeugung geprüft. Dabei stehen klassische landwirtschaftliche Kulturen mit bekannter Produktionstechnik und vorhandener Mechanisierung in den Betrieben im Vordergrund. Anbaufolgen mit Mais, Getreide-Ganzpflanzensilagen (GPS) sowie Futterpflanzen und verschiedene Gräser wurden auf ihre Ertragsleistung hin untersucht. Die Versuche zeigten keine Ertragsvorteile aller alternativen Kulturen und Anbausysteme gegenüber Mais in Hauptfruchtstellung. Größtenteils waren die Erträge deutlich geringer. Hohe Erträge wurden immer in Kombinationen mit Mais erwirtschaftet. Anbausysteme mit zwei Kulturen realisierten Erträge auf dem Niveau von Mais, gestalten sich aber arbeitsintensiv und setzen zudem eine hohe Standortgüte voraus. Zahlreiche geprüfte Zweitfrüchte waren bedingt durch unzureichende Trockensubstanzgehalte (Sonnenblume, Sorghumhirse), geringe Erträge (Hafer) und hohe Krankheitsanfälligkeit (Sonnenblumen, Hafer) als derzeit nicht anbauwürdig einzustufen. Letztendlich stellte sich unter den Zweitfrüchten auch der Mais als ertragreichste Kultur heraus. Somit sehen nahezu alle Kulturen und Anbausysteme mit ihrem Leistungspotential hinter dem Mais zurück. Dennoch weisen sie eine Vielzahl von Vorteilen auf. Diese einjährigen Kulturen erhöhen die Artenvielfalt auf dem Acker, reduzieren Erosion und Krankheiten und besitzen positive Wirkungen auf den Humushaushalt sowie die Bodenfruchtbarkeit. Damit tragen sie zur Nachhaltigkeit und so gesehen zur langfristigen Effizienz bei.

Ziel des Projektes ist es, den Anbau der klassischen landwirtschaftlichen Kulturen - integriert in eine Fruchtfolge - nicht nur hinsichtlich ihrer ertraglichen Effizienz zu bewerten, sondern die Bodenfruchtbarkeit und die Klimarelevanz in die Betrachtungen mit einzubeziehen. Damit können in die vergleichende Bewertung unterschiedlicher Fruchtfolgen die Aspekte der Nachhaltigkeit mit aufgenommen werden. Gleichzeitig ist es Ziel des Projektes die nachhaltige Substratproduktion zu optimieren. Dabei kommt der Erhöhung der Effizienz durch Verbesserung der Qualitäten der Substrat sowie der verbesserte Anbausystem vor allem mit Blick auf produktionstechnischen Fragestellungen eine bedeutende Rolle zu.

Im Rahmen des Projekts mit der Förderkennziffer K/09/11 wurden deshalb in vier Teilprojekten die Grundlagen für eine Nutzbarmachung von Alternativen zu Silomais als Substrat für eine nachhaltige Produktion von Biogas ausgelotet. Dabei beschäftigte sich jedes der Teilprojekte mit einem für die Identifikation von alternativen Substratpflanzen bedeutenden Thema.

In Teilprojekt 1 wurden unterschiedliche, schon jetzt praxisrelevante Biogasfruchtfolgen auf ihre Nachhaltigkeit hin überprüft. Dazu wurden moderne Algorithmen zur Modellierung eingesetzt, um den pflanzenbaulichen Prozess im landwirtschaftlichen Betrieb vollständig abzubilden. Das Ergebnis dieser Modellierung ist ein Vergleich der geprüften Fruchtfolgen hinsichtlich bedeutender Nachhaltigkeitskriterien wie Flächeneffizienz, Ressourceneffizienz, Treibhausgas (THG-) emissionen und Bodenfruchtbarkeit.

Teilprojekt 2 befasste sich mit den Qualitäten der Erzeugung von Biogassubstrat unter anderem auf Grünlandstandorten. Für die Wirtschaftlichkeit der Biogasproduktion ist der Methanertrag pro Hektar von Bedeutung. Dieser wird stark durch den Trockenmasse (TM) ertrag beeinflusst. Aber auch Qualitätsparameter wie die spezifische Methanausbeute haben einen Einfluss.

Im Rahmen von Teilprojekt 3 wurde an der Verbesserung der Produktionstechnik von Getreide-Ganzpflanzensilage (Getreide-GPS) mit dem Ziel der Nutzung als Biogassubstrat gearbeitet. Getreide - GPS gehört neben Mais- und Grassilage zu den am häufigsten eingesetzten Gärsubstraten. Als Haupt- oder Zweitfrucht ist Getreide ein wichtiger Teil von Biogasfruchtfolgen und kann dort vielseitig eingesetzt werden. Anbausystem mit Untersaaten oder Zweitfrüchten sind bereits bekannt. Im Rahmen des Projektes sollen Getreide - GPS Produktionssysteme optimiert werden, um so die Effizienz zu erhöhen und die Attraktivität des Anbaus steigern.

In Teilprojekt 4 wurden Energiefruchtfolgen für die Biogasnutzung in konventionellen und ökologisch wirtschaftenden Betrieben verglichen. Für den Ökolandbau, insbesondere für Betriebe ohne Viehhaltung, kann der Biogasgärrest eine bedeutende Quelle an schnell verfügbarem Stickstoff sein, weshalb die Nutzung von Gärresten dort seit Jahren an Bedeutung gewinnt. Dabei können sich Gärreste unterschiedlicher Qualität in den unterschiedlich gestalteten Pflanzenbauregimes anders auswirken als in konventionellen Betrieben. Teilprojekt 4 wurde durchgeführt, um eine Einschätzung der Unterschiede zwischen konventionellen und ökologischen Betrieben im Bereich der Gärrestverwertung zu gewinnen.

Insgesamt wurden mit dem Projekt K/09/11 mit Hilfe von umfangreichen Feldversuchen viele pflanzenbauliche Fragestellungen im Zusammenhang mit der Biogasproduktion beantwortet, die im Rahmen des vorliegenden Berichts zusammengeführt werden sollen. Die daraus hervorgegangen praxisrelevanten Beratungsaussagen wurden bereits im Rahmen des Projektes an die Praxis weitergetragen. Der wissenschaftliche Ansatz der Versuche ermöglichte das Einbringen der Ergebnisse in Ausarbeitungen zur Erlangung des Akademischen Master- bzw. Doktorgrades.

## 2 Teilprojekt 1: Bewertung von Energiefruchtfolgen auf Effizienz und Nachhaltigkeit

### 2.1 Hintergrund und Aufgabenstellung

Das Teilprojekt 1 verfolgt drei wesentliche Ziele. Zum einen soll eine Bewertung von Energieeffizienz, Nettoenergieoutput und THG-Bilanz als Maß für die Ressourceneffizienz, Flächennutzungseffizienz und den Anteil am anthropogenen Klimawandel für die am häufigsten genutzten Feldfrüchte für die Biogaserzeugung erfolgen. Damit soll in Erfahrung gebracht werden, wie groß das Potenzial für diese Nachhaltigkeitsparameter unter bayerischen Anbaubedingungen ist. Zweitens sollen Alternativen zum Silomais als Energiepflanze auf Grundlage der Energiebindung, der THG-Emissionen oder anderer Umweltwirkungen identifiziert werden, um Landwirten praxisrelevante Alternativen für die Fruchtfolgeauflockerung zu bieten. Drittens sollen die Erkenntnisse aus dem Teilprojekt 1 auf Grundlage der Ertragszahlen zu weiteren Aussagen über die Fruchtfolgegestaltung beitragen, die von Landwirten zu einer nachhaltigeren Energiepflanzenproduktion umgesetzt werden können.

Um diese Ziele zu erreichen, wurden zwei Feldversuche (Tabelle 1) hinsichtlich der oben genannten Nachhaltigkeitsparameter analysiert. Die Ergebnisse dieser Analysen werden im Folgenden vorgestellt und vor dem Hintergrund der Teilprojektziele diskutiert.

*Tabelle 1: Im Rahmen von Teilprojekt 1 analysierte Feldversuche.*

LfL-Versuchsnr.	Laufzeit	Standorte	Varianten
350	2007-2010	Freising, Ansbach, Straubing	Zweikultursysteme aus Getreide und Zweitfrüchten mit Referenz Mais (28 Varianten)
354	2012-2015	Freising, Poing, Donauwörth	Fruchtfolgen mit unterschiedlichen Maisanteilen (12 Varianten)

### 2.2 Material und Methoden

Im Rahmen von Teilprojekt 1 wurden zwei Feldversuche unter bayerischen Bedingungen durchgeführt, um die Grundlage für eine Nachhaltigkeitsbewertung im Sinne der Projektziele zu bilden. Diese zwei Feldversuche werden im Folgenden als V350 („Zweikultursysteme“) und V354 („Nachhaltige Fruchtfolgen“) bezeichnet.

#### 2.2.1 V350: Zweikultursysteme

Der Versuch 350 wurde bereits vor Projektbeginn in den Jahren 2007-2010 im Rahmen des Projekts N/07/02 (Pflanzenbausysteme für die Biogasproduktion in Bayern) durchgeführt. Es wurde die Anbauwürdigkeit von verschiedenen Zweitfrüchten im Verhältnis zur Erstfrucht bewertet und mit der Referenzfrucht Silomais in Einzelfruchtstellung vergli-

chen. Für das Verständnis der Zusammenhänge wird der Versuchsaufbau im Folgenden überblicksartig beschrieben.

Der Parzellenversuch wurde an drei bayerischen Standorten (Pettenbrunn bei Freising, Willendorf bei Ansbach, Straubing) durchgeführt und als ortswechselnde zweifaktorielle Blockanlage umgesetzt. Drei verschiedene Erstfrüchte (Wintergerste, Winterroggen, Wintertriticale) mit jeweils drei unterschiedlichen Ernteterminen wurden mit sechs möglichen Zweitfrüchten (Weidelgras, Klee gras, Hafer, Silomais, Sorghumhirse, Sonnenblume) kombiniert und mit Silomais in Einzelstellung verglichen. Insgesamt ergaben sich so 28 Faktorkombinationen (Abbildung 1), die in jeweils drei Wiederholungen geprüft wurden. Der Ernte der Erstfrüchte folgte eine möglichst rasche Bodenbearbeitung, um den Zweitfrüchten eine möglichst lange Vegetationsperiode und die Feldreife zu ermöglichen. Durch die unterschiedlichen Erntetermine der Erstfrüchte ergaben sich unterschiedliche Standzeiten für die Zweitfrüchte. Um die Randeffekte möglichst gering zu halten, wurde jede Parzelle in eine 12 m<sup>2</sup> große Ernteparzelle und zwei außen liegende Randparzellen eingeteilt.

Erstfrucht/ Hauptfrucht	Ernte (BBCH)	Zweitfrucht							
		ohne	einj. Weidelgras	Hafer	Sorghumhirse	Silomais	Sonnenblume	Klee gras	W. Weidelgras
Wintergerste	73-75		•	•	•	•	•		
	77		•	•	•	•	•		
	83-85	•							
Winterroggen	73-75	•							
	77		•	•	•				
	83-85		•	•	•				
Wintertriticale	77	•							
	83-85		•	•	•				
Grünroggen	55					•			
Deckfrucht Winterroggen	Anf. Mai							•	•
	Anf. Juni							•	•
Silomais	Siloreife	•							

Abbildung 1: Faktorkombinationen im Versuch V350.

Die Bewirtschaftung der Parzellen erfolgte durch die Techniker an den jeweiligen Standorten. Bodenbearbeitung, Pflanzenschutz und Pflegemaßnahmen wurden ortsüblich optimal durchgeführt.

Die Standorte des Versuchs wurden gewählt, um einen möglichst großen Ausschnitt aus dem Spektrum der bayerischen Anbaubedingungen abzubilden (Abbildung 2). Freising

liegt im Tertiären Hügelland, Willendorf ist typisch für mittelfränkische Trockenlagen und Straubing repräsentiert eine niederbayerische Gäulage (Sticksel et al. 2010).

Die Wetterlage der Versuchsjahre war standortuntypisch; Niederschlagssummen und Durchschnittstemperaturen wichen teilweise erheblich vom langjährigen Mittel ab (Tabelle 2). In den Versuchsjahren 2007-2009 lag die mittlere Jahrestemperatur deutlich über dem langjährigen Mittel. Insbesondere im Winterhalbjahr 2006/2007 lag die mittlere Temperatur rund 3,5° C über dem langjährigen Mittel, so dass die Getreidesaat sich deutlich stärker entwickelte als in den Folgejahren und so eine erheblich frühere Erntereife erreichte. Im Jahr 2010 waren die Temperaturabweichungen vom langjährigen Mittel deutlich niedriger als in den Vorjahren.

Die Niederschläge waren besonders am Standort Willendorf bei Ansbach im Jahr 2007 ungewöhnlich hoch. Durch eine Niederschlagssumme von 619 mm während der

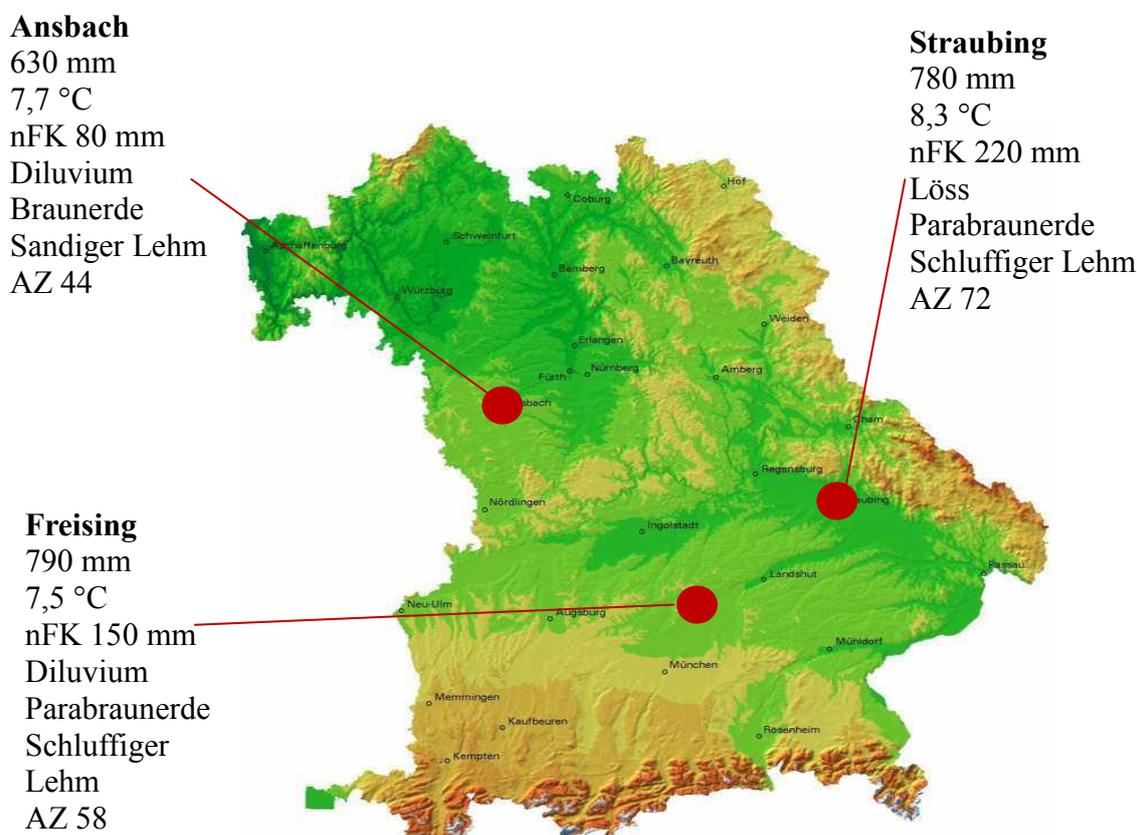


Abbildung 2: Standorte von V350 mit Standorteigenschaften.

Vegetationsperiode konnte am eigentlich trockenen mittelfränkischen Standort eine gute Wasserversorgung gewährleistet werden. Auch in Freising und Straubing fiel in 2007 ungewöhnlich viel Regen. In den Folgejahren lag die Niederschlagssumme insbesondere in Straubing deutlich niedriger, was zu einem verzögerten Feldaufgang vieler Zweitfrüchte führte, während in Willendorf nach den ungewöhnlich hohen Niederschlägen im Jahr 2007 standorttypisch niedrige Niederschlagsmengen beobachtet wurden.

Tabelle 2: Langjähriges Mittel von Temperatur und Jahresniederschlag der Versuchstandorte. Abweichungen vom langjährigen Mittel in Klammer (Sticksel et al. 2010, verändert).

	2007	2008	2009	2010
	<b>Mittlere Temperatur (°C)</b>			
Freising	9,4 (+1,9)	9,0 (+1,5)	8,7 (+1,2)	7,7 (+0,2)
Straubing	9,7 (+1,4)	9,3 (+1,0)	9,1 (+0,8)	8,1 (-0,2)
Ansbach	9,3 (+1,6)	8,9 (+1,2)	8,5 (+0,8)	7,3 (-0,4)
	<b>Jahresniederschlag (mm)</b>			
Freising	885 (+98)	876 (+88)	820 (+32)	850 (+62)
Straubing	849 (+66)	738 (-46)	741 (-43)	678 (-106)
Ansbach	868 (+236)	627 (-5)	689 (+56)	694 (+61)

Die tiefgründigen Lößböden in Straubing ermöglichen eine ausreichende Wasserversorgung von bereits etablierten Pflanzenbeständen auch bei geringen Niederschlägen, allerdings führte die teilweise auftretende Sommertrockenheit zu Schwierigkeiten in der Saatbettbereitung und der Bereitstellung einer ausreichenden Keimbettfeuchtigkeit.

### 2.2.2 V354: Nachhaltige Biogasfruchtfolgen

Der Versuch 354 wurde in den Jahren 2012-2015 an den drei bayerischen Standorten Pettenbrunn bei Freising, Grub bei Poing und Neuhof bei Donauwörth durchgeführt (Abbildung 3). Die Standorte wurden gewählt, um einen Ausschnitt aus dem bayerischen Standortspektrum abzubilden und die Bedeutung des Standorts für die Vorzüglichkeit von bestimmten Biogasfruchtfolgen darstellen zu können.

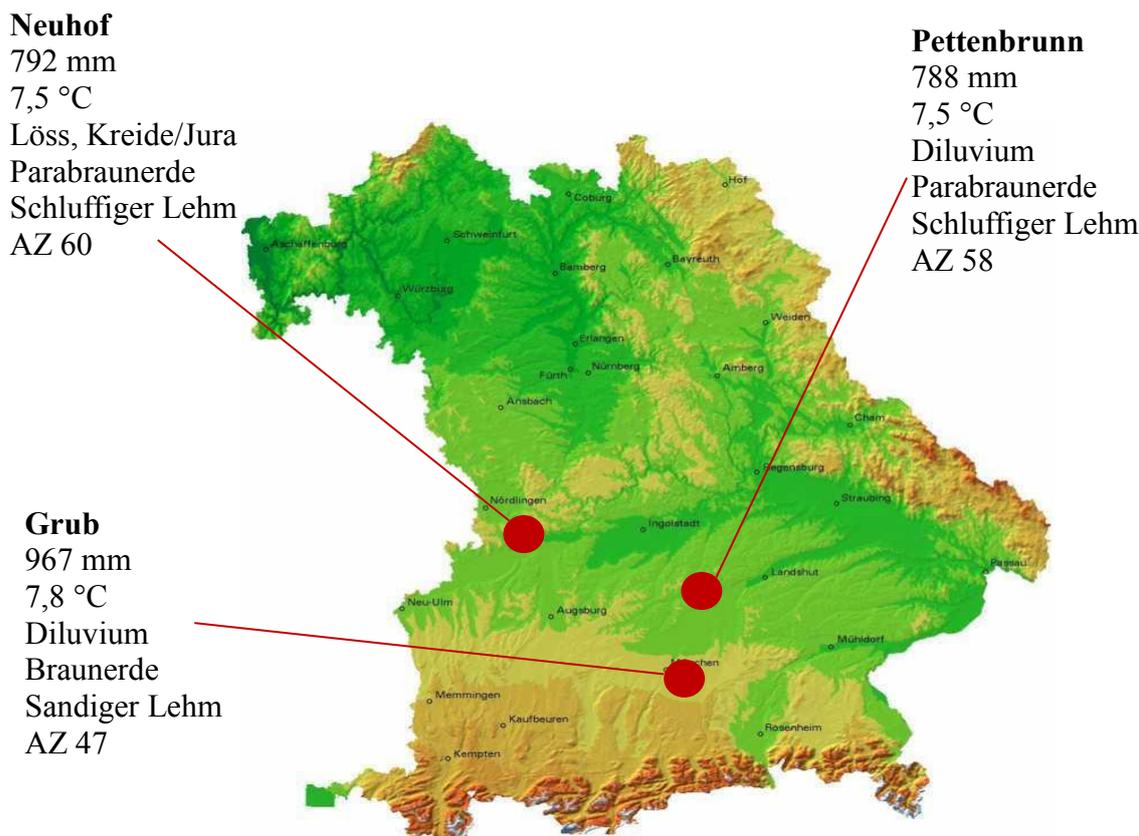


Abbildung 3: Standorte von V354 mit Standorteigenschaften.

Der Versuch war als ortsfestes lateinisches Rechteck mit einem Faktor (Fruchtfolge) in vier Wiederholungen angelegt. Im Rahmen des Versuchs wurden, aufbauend auf den Ergebnissen von V350, Fruchtfolgen aus den Fruchtarten gebildet, die vielversprechende Eigenschaften als Substrate für die Vergärung in Biogasanlagen gezeigt hatten. Insgesamt ergaben sich zwölf Varianten mit unterschiedlichen Maisanteilen (Tabelle 3). Als Referenz für den Vergleich diente Variante 11 (Silomais-Selbstfruchtfolge). Alle Feldfrüchte wurden als Ganzpflanzensilage geerntet, um ihre Verwendung als Biogassubstrat zu simulieren. Lediglich der im Jahr 2015 nach allen Varianten angebaute Winterweizen wurde wie zur Körnernutzung behandelt. Der einheitliche Winterweizennachbau diente dazu, Fruchtfolgeeffekte auf den Ertrag der Folgefrucht festzustellen und eine einheitliche Feldfrucht für die Nachuntersuchungen im Bereich der Bodenbiologie zu bieten.

Tabelle 3: Varianten von V354. (SomTri=Sommertriticale, WT=Wintertriticale, WR=Winterroggen, WD=Weidelgras, WDu= Weidelgrasuntersaat, KG=Kleegrass, KGu=Kleegrassuntersaat, GR=Grünroggen, SM=Silomais, WW=Winterweizen)

Var.	Maisanteil (%)	2012	2013	2014	2015
1	0	SomTri	WT+WD	WD	WW
2	0	SomTri	WR+WDu	WD	WW
3	0	SomTri	WR+KGu	KG	WW

4	33	SM	WT+WD	WD	WW
5	33	SM	WR+WDu	WD	WW
6	33	SM	WR+SomTri	WR+WDu	WW
7	33	SM	WR+SomTri	WR+KGu	WW
8	66	SM	SM	WT	WW
9	66	SM	GR+SM	WR+WDu	WW
10	66	SM	GR+SM	WR+KGu	WW
11	100	SM	SM	SM	WW
12	100	SM	GR+SM	GR+SM	WW

Die Düngung erfolgte mit Biogasgärrest in Höhe der jeweils gewonnenen Gärrestmenge. Die Menge des anfallenden Gärrests wurde mit dem Online-Tool der LfL abgeschätzt (LfL 2015). Der hierzu notwendige Ertrag wurde auf Grundlage früherer Versuche geschätzt. Die ausgebrachte Menge an Gärrest erfolgte dann auf Basis der Stickstoffmenge, die durch die kalkulierte Gärrestmenge ausgebracht würde und deren Verrechnung mit den tatsächlich ausgebrachten Praxisgärresten. Zusätzlich erfolgte eine Düngung mit Kaliumsalpeter bis zu einer Gesamt-N-Menge, die den erwarteten Entzug kompensierte. Dieses  $N_{\text{soll}}$  wurde mit Hilfe des Düngereberatungssystems Stickstoff (DSN 2012) ermittelt. Bodenbearbeitung, Pflanzenschutz, Arbeitsgänge und Pflegemaßnahmen erfolgten ortsüblich optimal.

Die Witterung während des Versuchszeitraums war an allen Standorten sehr untypisch und führte zu Problemen mit der plangemäßen Umsetzung des Versuchs (Tabelle 4). Während es in den Jahren 2012-2014 an allen drei Standorten teilweise deutlich wärmer war als im langjährigen Mittel, führten ausgeprägte Trockenperioden und Starkregenereignisse zu Schwierigkeiten sowohl bei Bodenbearbeitung und Bestellung, als auch bei der Ausbringung und Einarbeitung der Gärreste.

*Tabelle 4: Langjähriges Mittel von Temperatur und Niederschlag (März-Oktober) der Versuchsstandorte. Abweichungen vom langjährigen Mittel in Klammer.*

	2012	2013	2014
	<b>Mittlere Temperatur (°C)</b>		
Pettenbrunn	12,9 (+1,5)	12,1 (+0,7)	13,1 (+1,7)
Grub	13,2 (+1,5)	12,4 (+0,7)	13,2 (+1,5)
Neuhof	13,2 (+1,8)	12,2 (+0,8)	13,5 (+2,1)
	<b>Niederschlag (mm)</b>		

Pettenbrunn	659 (+57)	645 (+43)	694 (+92)
Grub	804 (+66)	702 (-36)	720 (-18)
Neuhof	397 (-175)	625 (+53)	589 (+17)

Im Jahr 2012 führte eine Trockenperiode während der Saat zu einem verzögerten Auflaufen und einer späten Entwicklung der Bestände an allen Standorten. Im Jahr 2013 fiel die Maissaat in eine Trockenperiode. Die Entwicklung der Maisbestände wurde dadurch, und durch die danach aufgetretene nass-kalte Witterung beeinträchtigt. Eine ausgeprägte Trockenperiode, die über den gesamten Juli andauerte, führte zu einer geringeren Düngewirkung der zuvor ausgebrachten Biogasgärreste als angenommen. Hinzu kam die verspätete Saat der Wintergetreide in 2012, die zusammen mit den ungünstigen Bedingungen für die Aussaat (zu nasser Boden) zu beeinträchtigten Getreidebeständen führte. In 2014 wurde der Mais in Pettenbrunn erst Ende Mai gesät, was zu einer ungenügenden Reifezeit führte. Weidel- und Klee gras lieferte teilweise auf allen Standorten einen geringeren Ertrag als erwartet, weil es durch die ausgeprägten Trockenperioden zur Blühentwicklung kam.

### 2.2.3 Methodik der Energie- und Treibhausgasbilanzierung

Bei der Beurteilung der Nachhaltigkeit von Energiefruchtfolgen spielen drei Parameter eine herausragende Rolle: a) Fläche ist der begrenzende Faktor bei der Produktion von landwirtschaftlichen Produkten, egal ob Energie, Futter oder Nahrungsmittel für den Menschen. Ein Parameter zur Beurteilung der Flächennutzungseffizienz ist der Nettoenergieoutput, also die Differenz zwischen Energieoutput und Energieinput. b) Weil durch die Nutzung von Biomasse als Energieträger auch fossile Brennstoffe substituiert werden sollen, ist die Energieeffizienz einer Energiefruchtfolge wichtig für ihre Beurteilung. Die Energieeffizienz ist definiert als das Verhältnis zwischen Energieoutput und Energieinput. c) Die Emission von klimawirksamen Gasen soll bei der Produktion von erneuerbarer Energie möglichst niedrig sein, um ihren Anteil am anthropogenen Klimawandel zu minimieren und im Idealfall über die ganze Wertschöpfungskette klimatisch günstiger zu sein als fossile Energieträger.

Diese drei Parameter (Nettoenergieoutput, Energieeffizienz und Treibhausgasemissionen) wurden für die beiden Versuche, die im Rahmen von Teilprojekt 1 bewertet wurden, ermittelt. Die Berechnungen wurden mit Hilfe des EDV-Programms Repro durchgeführt (Hülsbergen 2003, Küstermann et al. 2008, Küstermann et al. 2010). Als Systemgrenze für die Betrachtungen galt jeweils die Feldgrenze, d. h. die Analysen beschränkten sich auf den landwirtschaftlich beeinflussbaren Bereich. Im Folgenden werden die verwendeten Methoden jeweils kurz vorgestellt.

### 2.2.4 Ermittlung des Nettoenergieoutputs und der Energieeffizienz

Der Nettoenergieoutput kann als Maß für die Flächeneffizienz einer Fruchtart oder Fruchtfolge herangezogen werden, weil er eine Aussage über die gebundene Sonnenenergie abzüglich der investierten Energie zulässt. Die Energieeffizienz erlaubt Rückschlüsse auf die Ressourceneffizienz einer landwirtschaftlichen Produktionskette. Für beide Parameter

werden die gleichen Eingangsdaten benötigt. Dazu werden über den gesamten Produktionsprozess bis einschließlich der Ernte alle Inputs an Produktionsmitteln (Saatgut, Düngemittel, Pflanzenschutzmittel, Maschinen und Geräte, Treibstoff) erfasst und über die zu ihrer Bereitstellung notwendige Energie bewertet. Demgegenüber steht der energetische Output, der auf Basis des Heizwertes des Trockenmasseertrags berechnet wird. Die Berechnung des Nettoenergieoutputs und der Energieeffizienz sind in Repro integrierter Analysebestandteil.

### **2.2.5 Ermittlung der pflanzenbaubasierten Treibhausgasemissionen**

Die bei der Produktion von landwirtschaftlichen Produkten emittierten Treibhausgase basieren auf drei Einflussgrößen. a) Bei der Bereitstellung von Produktionsmitteln wie Pflanzenschutzmitteln oder Mineraldüngern entstehen Treibhausgasemissionen in teilweise erheblichem Ausmaß. Deshalb müssen, wie bei der Ermittlung der Energiekennzahlen, alle Produktionsmittelinputs erfasst und die Treibhausgasemissionen, die bei ihrer Herstellung entstehen, bewertet werden. Diese Bewertung wurde mit Hilfe von Repro durchgeführt. b) Durch den Auf- oder Abbau von organischer Substanz im Boden wird Kohlenstoff entweder gebunden oder frei. Freiwerdender Kohlenstoff kann in Form von  $\text{CO}_2$  aus dem Boden emittiert werden. Zusätzlich führt ein Abbau von organischer Substanz langfristig zu einer Verringerung der Produktionsfähigkeit des Bodens. Um diesen Umstand abzubilden, wurde für V350 eine Humusbilanzierung mit Hilfe des Modells HU-MOD (Brock et al. 2012) durchgeführt, weil keine Messwerte vorlagen. Im Rahmen des Versuchs V354 wurden die Änderungen des Gehalts an organischer Substanz gemessen, so dass hier die Realwerte verwendet werden konnten. c) Durch die Vorgänge der Nitrifizierung und der Denitrifizierung werden Stickstoffverbindungen von Mikroorganismen so umgebaut, dass als Nebenprodukt Lachgas entsteht. Die Höhe der Lachgasemissionen ist abhängig von der Höhe des Stickstoffinputs. In vielen Arbeiten, in denen die Treibhausgasemissionen von Pflanzenbausystemen quantifiziert werden, wird die Methode zur Abschätzung der Lachgasemissionen nach IPCC (2006) verwendet, bei dem geschätzt wird, dass 1 % des ins System gebrachten Stickstoffs als  $\text{N}_2\text{O-N}$  emittiert wird. Die für die Emissionen zuständigen Prozesse sind allerdings stark von Bodenart, Wassersättigung und Frost-/Tau-Zyklen abhängig. Flessa et al. (2002) konnten zeigen, dass die Emissionen unter bayerischen Bedingungen wesentlich höher sind und sich im Bereich von 2,5 % bewegen. Aus diesem Grund wurde für die Abschätzung der Lachgasemissionen der Ansatz nach Flessa et al. (2002) verwendet.

### **2.2.6 Beschreibung weiterer Nachhaltigkeitsindikatoren**

Im Rahmen einer Masterarbeit (Cyffka 2016) wurden im Jahr 2015 weitere Nachhaltigkeitsindikatoren von V354 am Standort Pettenbrunn untersucht. Das Ziel dieser zusätzlichen Untersuchungen war die Ergänzung der Beurteilung von Energiebilanz, Humusbilanz und Treibhausgasemissionen der Fruchtfolgen um bodenbiologische Parameter. Die biologische Aktivität des Bodens wurde über die Katalaseaktivität, sogenannte Bait Sticks und den teabag-index geprüft. Die Prüfung im einheitlichen Winterweizenbestand sollte sicherstellen, dass der Einfluss der Fruchtfolgen der Vorjahre erfasst wurde.

Katalase ist ein Enzym in bodenbewohnenden Mikroorganismen, dessen Messung einen Rückschluss auf die Lebenstätigkeit im Boden erlaubt. Diese Messung nach Beck (1971, verändert) erfasst freiwerdenden Sauerstoff bei Behandlung von Bodenproben mit  $\text{H}_2\text{O}_2$ .

Die Untersuchung der Bodenaktivität mit Bait Sticks funktioniert durch das Einsetzen von Köderstreifen in den Boden, in denen sich mit Nährsubstrat gefüllte Löcher befinden. Die Streifen verbleiben eine Woche im Boden. Anschließend werden die durch Fraß geleerten Löcher gezählt. Dadurch sind Rückschlüsse auf die biologische Aktivität möglich (Keplin und Hüttl 2000).

Eine ähnliche Untersuchung ist der teabag-index, bei dem Teebeutel für 90 Tage in den Boden eingegraben werden. Anschließend wird der durch Fraß und mikrobiellen Abbau aufgetretene Masseunterschied ermittelt.

### 2.2.7 Statistische Auswertung

Die beiden im Rahmen von Teilprojekt 1 untersuchten Feldversuche V350 und V354 wurden im Rahmen der Analysen mit Hilfe von R einer deskriptiven Statistik unterzogen. Die Prüfung der Signifikanz der Unterschiede wurde mit Hilfe des Student-Newman-Keuls-Tests im Programm SPSS durchgeführt. Das Signifikanzniveau lag bei allen Untersuchungen bei  $p < 0,05$ .

## 2.3 Ergebnisse und Diskussion

Im Rahmen der Untersuchungen wurden Nettoenergieoutput, Energieeffizienz und Treibhausgasemissionen der Varianten geprüft. Zur besseren Darstellbarkeit werden die Varianten von V350 in den folgenden Abbildungen zahlenkodiert dargestellt. Die jeweils zugehörige Variante lässt sich Tabelle 5 entnehmen.

### 2.3.1 Erträge von V350

Bei der Betrachtung der Gesamterträge der einzelnen Varianten zeigte sich Silomais in Einzelstellung (Var. 101) mit 244 dt ha<sup>-1</sup> erwartungsgemäß ertragsstark (Abbildung 4). Lediglich Variante 98, also Grünroggen/Silomais erreichte mit etwa 270 dt ha<sup>-1</sup> einen höheren Ertrag, der Unterschied war allerdings nicht signifikant.

*Tabelle 5: Zahlenschlüssel der in V350 untersuchten Fruchtartenkombinationen mit Erntezeitpunkten.*

Zahlenschlüssel	Erstfrucht	Zweitfrucht
12	Wintergerste EC 75	W. Weidelgras
13	Wintergerste EC 75	Hafer
14	Wintergerste EC 75	Sorghumhirse
15	Wintergerste EC 75	Mais
16	Wintergerste EC 75	Sonnenblume
22	Wintergerste EC 77	W. Weidelgras
23	Wintergerste EC 77	Hafer

---

24	Wintergerste EC 77	Sorghumhirse
25	Wintergerste EC 77	Mais
26	Wintergerste EC 77	Sonnenblume
31	Wintergerste EC 85	-
41	Winterroggen EC 75	-
52	Winterroggen EC 77	W. Weidelgras
53	Winterroggen EC 77	Hafer
54	Winterroggen EC 77	Sorghumhirse
62	Winterroggen EC 85	W. Weidelgras
63	Winterroggen EC 85	Hafer
64	Winterroggen EC 85	Sorghumhirse
71	Wintertriticale EC 77	-
82	Wintertriticale EC 85	W. Weidelgras
83	Wintertriticale EC 85	Hafer
84	Wintertriticale EC 85	Sorghumhirse
98	Winterroggen EC 55	Silomais
101	Silomais	-
207	Winterroggen Ernte Mai	Kleegrasuntersaat
209	Winterroggen Ernte Mai	W. Weidelgrasuntersaat
217	Winterroggen Ernte Juni	Kleegrasuntersaat
219	Winterroggen Ernte Juni	W. Weidelgrasuntersaat

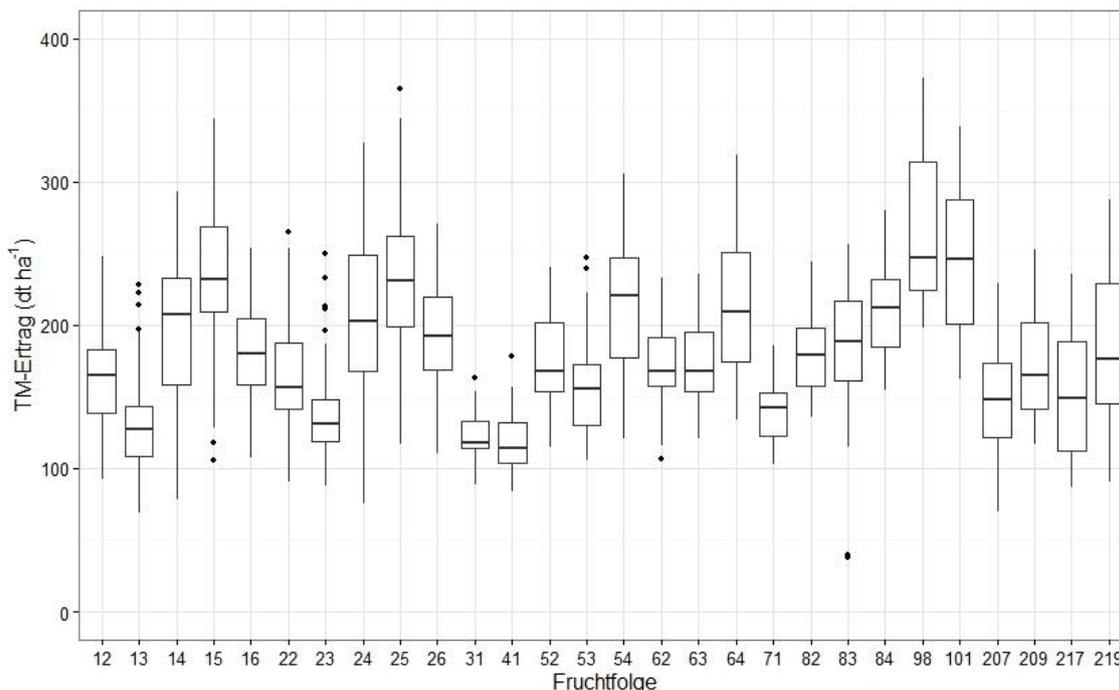


Abbildung 4: Gesamttrockenmasseerträge der Varianten im Mittel aller Jahre und Standorte.

Die Basis der Ertragsbildung war jeweils das Wintergetreide, also die Erstfrucht. Abhängig von der Wasserverfügbarkeit, die für die Etablierung einer Zweitfrucht von zentraler Bedeutung war, erreichten die Zweitfrüchte den Ertrag der Wintergetreide. Sorghumhirse und Silomais konnten den Ertrag der Erstfrüchte meist noch übertreffen, hatten aber mit ungenügender Ausreife auf dem Feld zu kämpfen, wenn die Vegetationsperioden zu kurz wurden.

### 2.3.2 Nettoenergieoutput von V350

In Abbildung 5 ist der Nettoenergieoutput der Varianten im Mittel aller Jahre und Standorte dargestellt. Ebenso wie beim Ertrag zeigte sich hier ein starker Vorteil der Varianten mit Maisanteil gegenüber den anderen Fruchtartenkombinationen, die Verhältnisse waren nahezu identisch zum Ertrag. Das liegt daran, dass die Energiebindung bei der Pflanzenproduktion um das zehnfache bis zwanzigfache höher ist als der Energieinput über Betriebsmittel, Maschinen und Geräte. Der Trockenmasseertrag als Lieferant des Energieoutputs bestimmt wesentlich den Nettoenergieoutput und damit die Flächeneffizienz einer Biogasfruchtfolge (Abbildung 6).

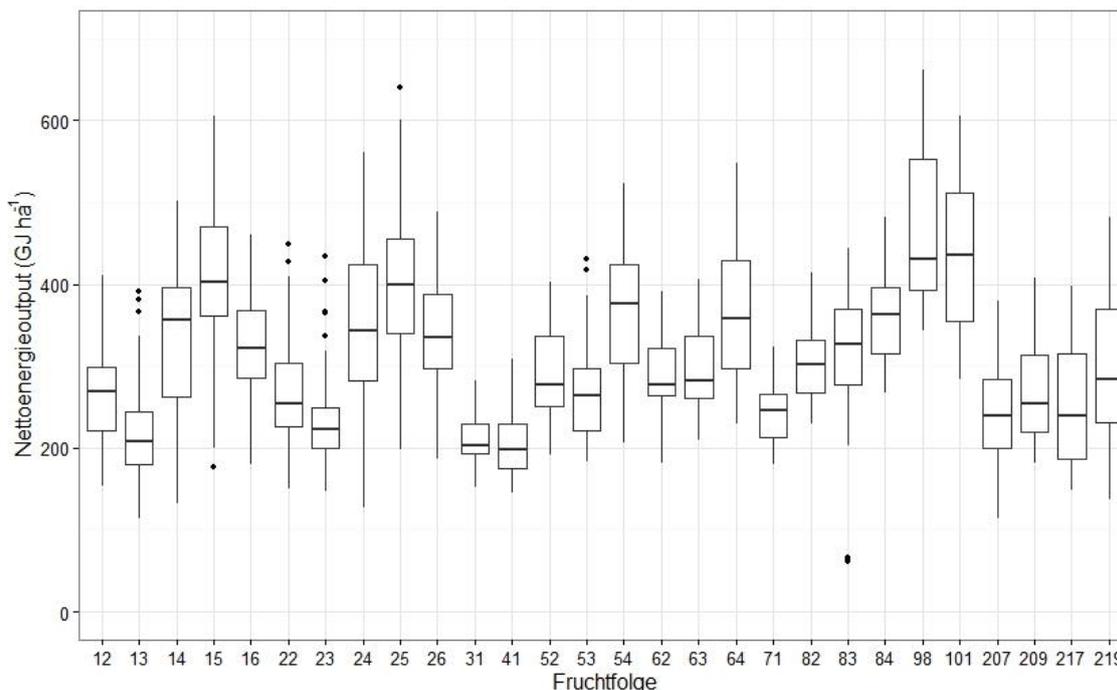


Abbildung 5: Nettoenergieoutput der Varianten im Mittel aller Jahre und Standorte.

Das bedeutet, dass nach Gesichtspunkten der Flächeneffizienz, gemessen am Parameter des Nettoenergieoutputs, eine Fruchtfolge mit möglichst hohem Ertrag zu wählen ist. Dieser Umstand spiegelt sich in der landwirtschaftlichen Realität bereits wieder. Landwirte versuchen, den maximalen Output auf der begrenzten Fläche, die ihnen zur Verfügung steht, zu erzeugen, weil sich ein höherer Ertrag auch monetär ausdrückt. Mit Blick auf die Energieerzeugung bedeutet die Maximierung des Ertrags aber auch, dass weniger Fläche für die Erzeugung nachwachsender Energieträger benötigt wird, also bei gleicher Fläche eine geringere Konkurrenz zur Nahrungs-, Futtermittel- und Pflanzenproduktion zur stofflichen Nutzung entsteht. Diese Ergebnisse weisen darauf hin, dass Silomais in Einzelstellung oder mit dauerhafter Bodenbedeckung bei Kombination mit frühräumendem Getreide (vor allem Grünroggen) im Punkt der Flächeneffizienz Vorteile gegenüber anderen Kulturen aufweist.

### 2.3.3 Energieeffizienz von V350

Die Energieeffizienz, also das Verhältnis zwischen Energieoutput und Energieinput, ist ein Maß für die Ressourceneffizienz einer Energiefruchtfolge, weil sie eine Aussage über die gebundene Energie je eingesetzter Energieeinheit zulässt. Die Energieeffizienz der in V350 untersuchten Fruchtartenkombinationen sind in Abbildung 7 dargestellt.

Anders als beim Nettoenergieoutput ist die Energieeffizienz sehr stark von der Höhe der Energieinputs über die Betriebsmittel abhängig. Deshalb weisen Feldfrüchte mit sehr hohen Inputs, wie z. B. Weidelgras mit häufigen und arbeitsaufwändigen Erntegängen und hohen Mineraldüngergaben, bei gleichem Ertrag eine deutlich geringere Energieeffizienz auf als Fruchtarten mit niedrigeren Inputs. Silomais in Einzelstellung (Var. 101) hatte im Mittel der Jahre und Standorte eine signifikant höhere Energieeffizienz als die übrigen in V350 geprüften Varianten, weil ein hoher Ertrag hier mit vergleichsweise geringen Inputs gepaart war.

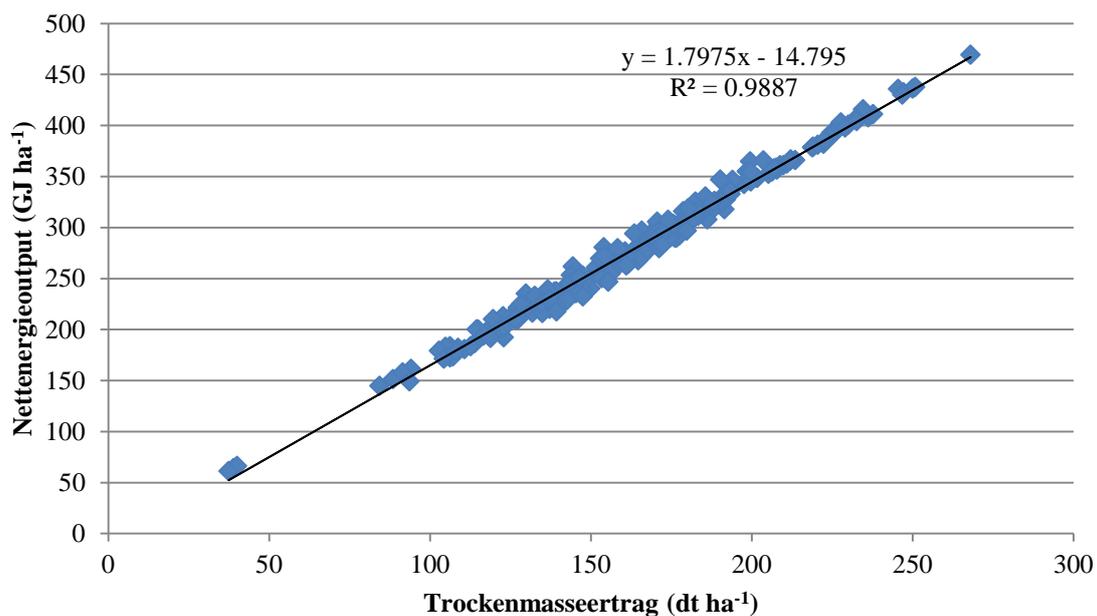


Abbildung 6: Zusammenhang zwischen Trockenmasseertrag und Nettoenergieoutput (n=254).

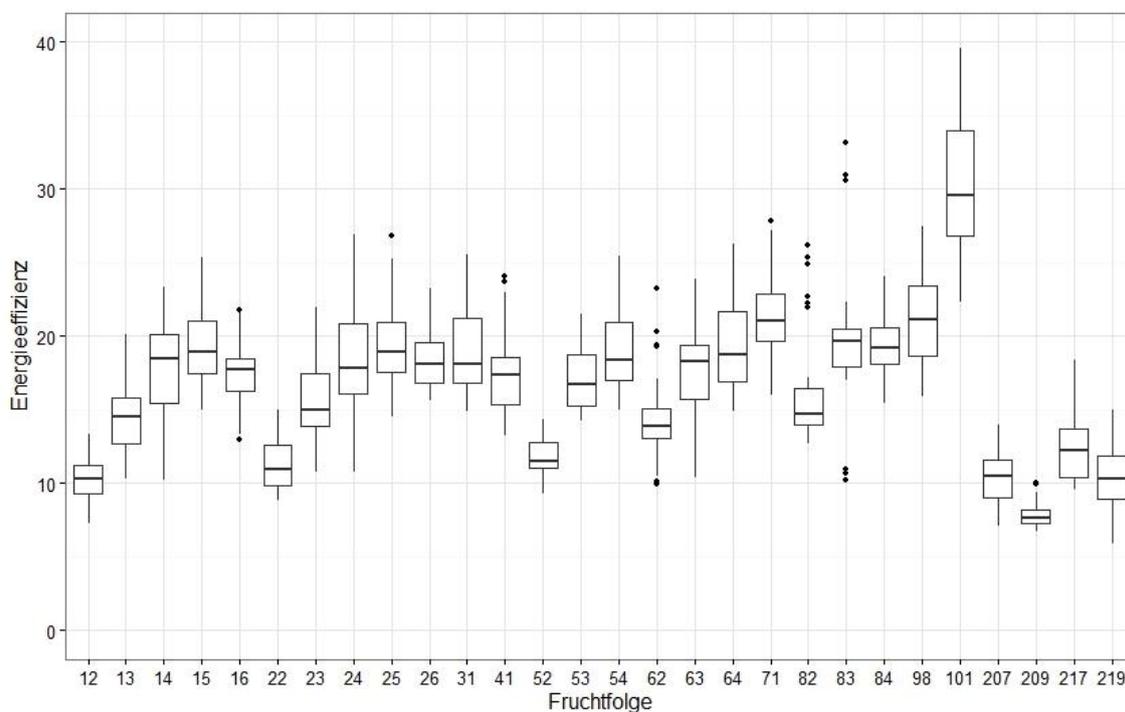


Abbildung 7: Energieeffizienz der Varianten im Mittel aller Jahre und Standorte.

### 2.3.4 Ergebnisse des Versuchs „Nachhaltige Biogasfruchtfolgen“ (V354) und Diskussion

Im Interesse einer möglichst detaillierten Darstellung der Einzelergebnisse der in der jeweiligen Fruchtfolge beteiligten Fruchtarten wurde im Weiteren ein anderes Abbildungsdesign als bei V350 gewählt. Die deskriptive Statistik des Versuchs liegt vor. Um jedoch die Abbildungen nicht unnötig zu überfrachten, wurde auf die Darstellung von Ausreißern, Quantilen und Median verzichtet.

### 2.3.5 Erträge von V354

Die Erträge von V354 werden für die drei Versuchsstandorte als Summe der Erträge der Einzelfruchtarten dargestellt. In Abbildung 8 sind die Erträge des Standorts Pettenbrunn dargestellt. Die Summe der Erträge unterschied sich zwischen Variante 4-12 nicht signifikant, mit Gesamttrockenmasseerträgen von 510-570 dt ha<sup>-1</sup> (Kodierung der Varianten siehe Tabelle 3). Dies ist in erster Linie auf die außergewöhnlich niedrigen TM-Erträge von Silomais im Jahr 2013 zurückzuführen (90-96 dt ha<sup>-1</sup>), wodurch die Varianten 8-12 nur einen geringen Anteil ihres Ertragspotenzials verwirklichen konnten. Auch im Jahr 2014 blieb der Silomais mit 192 (Variante 11), bzw. 143 (Variante 12) dt ha<sup>-1</sup> hinter den Erwartungen zurück, während am kühl-feuchten Standort Pettenbrunn mit einer guten Wasserverfügbarkeit auch während kurzen Abschnitten ohne Niederschläge die Weidelgrasvarianten einen hohen Trockenmasseertrag lieferten, wobei die Untersaatvarianten durchgehend erst im Hauptnutzungsjahr stabile Erträge lieferten, weshalb die Varianten 6 und 9 geringere Weidelgraserträge aufwiesen.

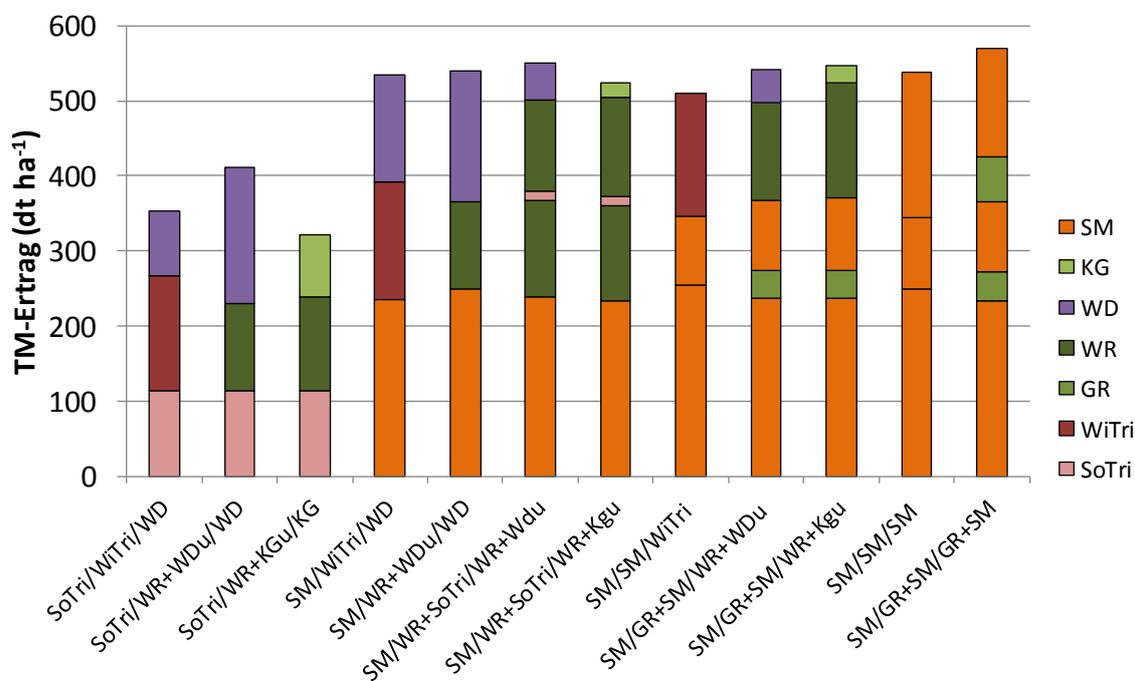


Abbildung 8: TM-Erträge von V354 am Standort Pettenbrunn. SM=Silomais, KG=Kleegrass, WD=Weidelgras, WR=Winterroggen, GR=Grünroggen, WiTri=Wintertriticale, SoTri=Sommertriticale.

Niedriger als die Erträge vom Weidelgras fielen dagegen die Erträge der Klee grasvarianten aus. Mit einem Kleeanteil zwischen 0-20 %, aber einer Düngung, die von deutlich höheren Kleeanteilen ausging und deshalb zu niedrig war, blieben sie in jeder Variante hinter der vergleichbaren Weidelgrasvariante zurück. Ebenfalls hinter den Erwartungen zurück blieben die Erträge der Sommertriticale, was an der kurzen Wachstumsperiode lag, die zur Verfügung stand. In den Varianten 1-3 wurde die Triticale nach Versuchsbeginn im März angesät, so dass nicht ausreichend Zeit für eine Massebildung zur Verfügung stand. Die Sommertriticale aus den Varianten 6 und 7 litten unter der ausgeprägten Sommertrockenheit in 2013 und lieferten mit knapp 12 dt ha<sup>-1</sup> sehr geringe Erträge.

Abbildung 9 zeigt die TM-Erträge am Standort Grub bei Poing. Das Gesamtertragsniveau lag hier wie erwartet deutlich unter dem von Pettenbrunn, wobei die Variante 12 das Niveau von Pettenbrunn mit ca. 519 dt ha<sup>-1</sup> knapp erreichte. Auch hier waren die niedrigen Silomaiserträge im Jahr 2013 hauptsächlich ausschlaggebend für das Ergebnis, wobei der Rückgang im Vergleich mit dem guten Jahr 2012 nicht so stark ausfiel wie in Pettenbrunn. Insgesamt zeigte die Variante 12 einen signifikant höheren Gesamtertrag als die Varianten 1-10, was auch an den geringeren Weidelgraserträgen im Vergleich zu Pettenbrunn lag. Grub ist ein sehr flachgründiger Standort mit einer Mächtigkeit des Oberbodens von nur 30 cm. Den Weidel- und Klee gräsern stand nicht ausreichend Wasser zur Verfügung, so dass das Wasserangebot wachstumslimitierend wirkte. In den Varianten 1,2,4 und 5 wurden deshalb nur zwischen knapp 70 und 116 dt ha<sup>-1</sup> TM realisiert, bei den Klee grasvarianten schwankten die Erträge zwischen 26 und 67 dt ha<sup>-1</sup>. Auch in Grub lagen die Erträge der Sommertriticale sehr niedrig, während die Wintergetreide durch die Ausnutzung der Winterfeuchte Erträge erbrachten, die mit denen in Pettenbrunn vergleichbar waren.

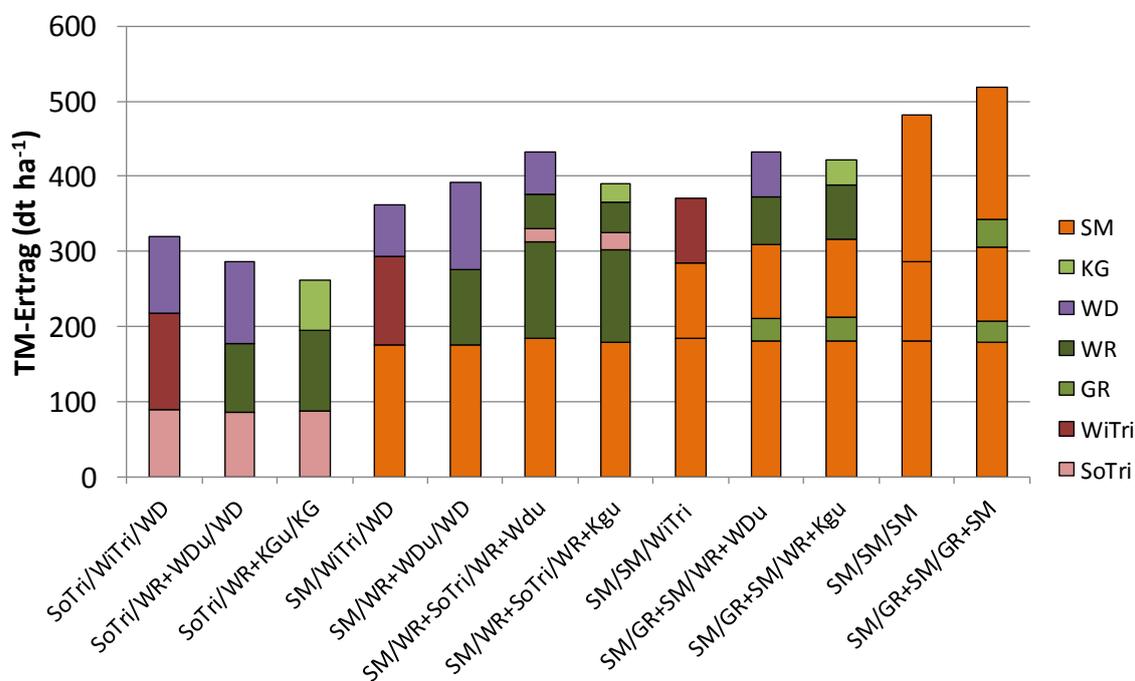


Abbildung 9: TM-Erträge von V354 am Standort Grub. SM=Silomais, KG=Klee gras, WD=Weidelgras, WR=Winterroggen, GR=Grünroggen, WiTri=Wintertriticale, SoTri=Sommertriticale.

Die Trockenmasseerträge am Standort Neuhof lassen sich Abbildung 10 entnehmen. Der Durchschnittsertrag aller Varianten lag hier niedriger als in Grub oder in Pettenbrunn. Mit Gesamterträgen zwischen knapp unter 300 bis ca. 420 dt ha<sup>-1</sup> waren hier auch die Unterschiede zwischen den Varianten am geringsten ausgeprägt. Überraschend erreichten die Varianten 4, 5 und 12 annähernd gleiche TM-Erträge, was an den sehr niedrigen Silomaisserträgen lag, welche die an den anderen beiden Standorten nochmals deutlich untertrafen und im Jahr 2013 mit Erträgen zwischen 30 und 42 dt ha<sup>-1</sup> fast als Totalausfall bezeichnet werden mussten. Auch im Jahr 2014 lagen die Silomaisserträge mit 98 (Variante 11) bzw. 122 (Variante 12) dt ha<sup>-1</sup> deutlich unter den Ertragsserwartungen, während die Wintergetreide stabilen Ertrag lieferten und die Erträge vom Weidelgras den Silomais im Jahr 2014 teilweise übertrafen.

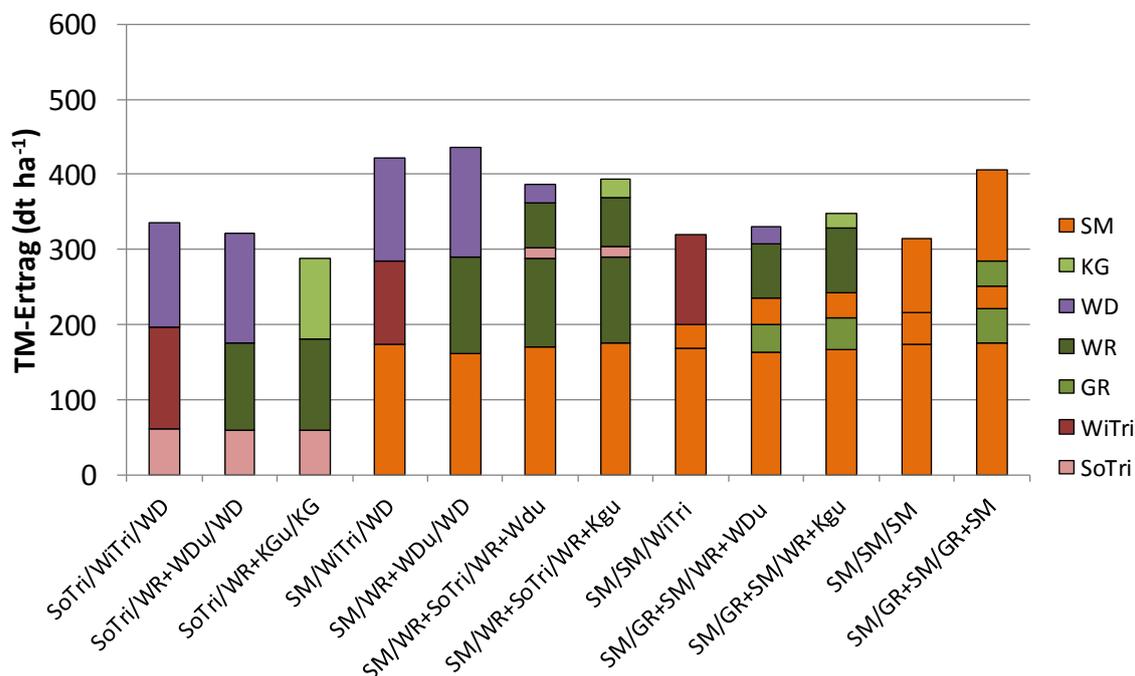


Abbildung 10: TM-Erträge von V354 am Standort Neuhof. SM=Silomais, KG=Kleegrass, WD=Weidelgras, WR=Winterroggen, GR=Grünroggen, WiTri=Wintertriticale, SoTri=Sommertriticale.

Insgesamt zeigte sich an allen drei Standorten ein ähnliches Bild: Die Varianten 1-3 lieferten wegen der späten Aussaat von Sommertriticale nicht konkurrenzfähige Erträge, während durch das schwierige Maisjahr 2013 die übrigen Erträge ungefähr auf einem Niveau lagen. An den beiden gut wasserversorgten Standorten lieferten die Weidelgrasvarianten teilweise hohe Trockenmasseerträge, während das Wintergetreide sich auch im für den Mais schwierigen Jahr ertragsstabil zeigte. Für die weitere Betrachtung der Flächen-, Ressourcen- und THG-Effizienz werden sechs Fruchtfolgen herausgegriffen, die genauer beleuchtet werden sollen. Diese Fruchtfolgen sind auf Grundlage der im Versuch erbrachten Erträge besonders interessant und lassen sich Tabelle 6 entnehmen.

Tabelle 6: Auswahl der Fruchtfolgen von V354 für die Nachhaltigkeitsdarstellung.

Var.	Maisanteil (%)	2012	2013	2014	2015
5	33	SM	WR+WDu	WD	WW
6	33	SM	WR+SomTri	WR+WDu	WW
8	66	SM	SM	WT	WW
9	66	SM	GR+SM	WR+WDu	WW
11	100	SM	SM	SM	WW
12	100	SM	GR+SM	GR+SM	WW

### 2.3.6 Nettoenergieoutput von V354

Der Nettoenergieoutput der ausgewählten Fruchtfolgen von V354 ist in Abbildung 11 dargestellt. Durch den hohen Zusammenhang zwischen TM-Ertrag und Nettoenergieoutput ist das Verhältnis der Fruchtarten an einem Ort zueinander und zwischen den Orten fast identisch mit dem der TM-Erträge. Das Niveau des Nettoenergieoutputs und damit der Flächeneffizienz war in Pettenbrunn durchschnittlich am höchsten und in Neuhof am niedrigsten. Zwischen den ausgewählten Fruchtfolgen bestanden am Standort Pettenbrunn keine signifikanten Unterschiede, was durch den niedrigen Ertrag von Silomais im Jahr 2013 erklärt werden kann. Im Versuchszeitraum waren somit alle Fruchtfolgen in Pettenbrunn gleichwertig, was den Parameter der Flächeneffizienz betrifft.

In Grub war der Unterschied deutlicher ausgeprägt. Die Varianten 11 und 12 erbrachten hier einen signifikant höheren Ertrag als die übrigen Fruchtfolgen der Auswahl. Für diesen Unterschied sind die geringere Wasserverfügbarkeit im Vergleich mit Pettenbrunn und die

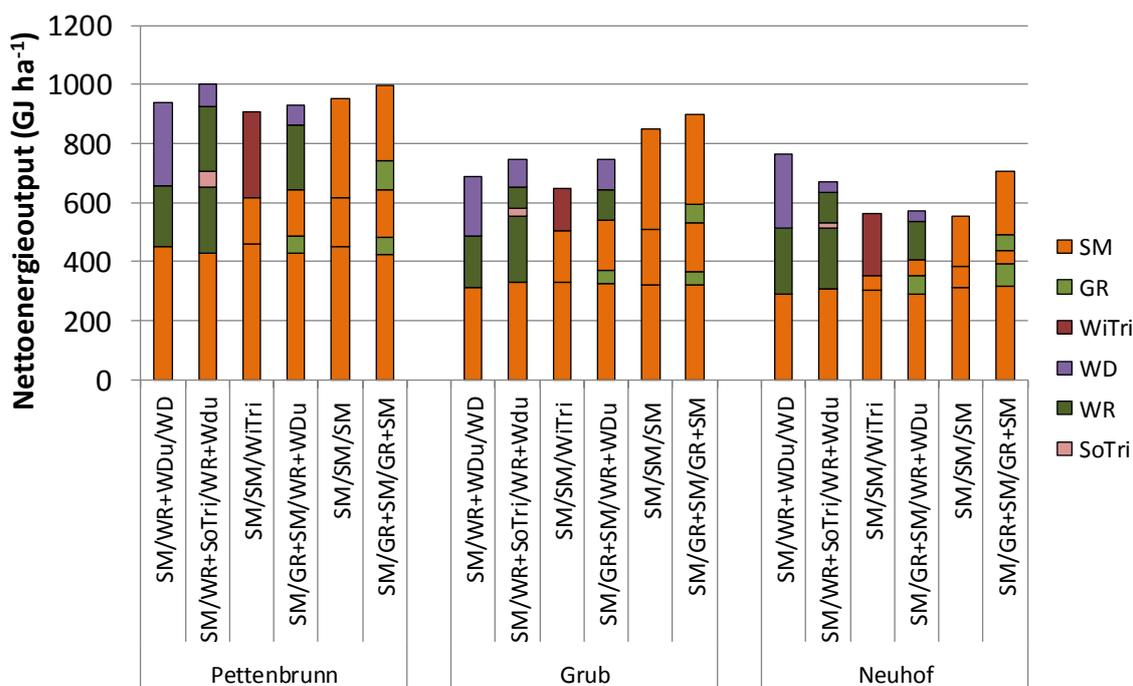


Abbildung 11: Nettoenergieinput ausgewählter Fruchtfolgen von V354.

damit verbundenen geringeren TM-Erträge beim Weidelgras verantwortlich.

Am Standort Neuhof unterschied sich der Nettoenergieoutput von Variante 5 nicht von dem von Variante 12. Bedingt durch die äußerst schwachen Erträge im Jahr 2013 trug der Mais hier nicht zu einer höheren Flächeneffizienz bei.

### 2.3.7 Energieeffizienz von V354

Die Energieeffizienz als Maß für die Ressourceneffizienz lässt sich Tabelle 7 entnehmen. Das höchste Output/Inputverhältnis in Pettenbrunn konnte der Silomais im Jahr 2012 aufweisen, wobei die Spanne über den gesamten Versuchszeitraum mit 14-59 sehr groß war. Die geringe Energieeffizienz im Jahr 2013 bedeutet, dass in diesem Jahr Winterroggen mit einer Spanne von 29-33 eine deutlich höhere Ressourceneffizienz (bei gleichzeitig gleich hoher Flächeneffizienz, siehe 2.1.3.2.2) aufwies. Eine herausragend hohe Energieeffizienz lieferte auch Wintertriticale im Jahr 2014, die im Versuchszeitraum im Parameter TM-Ertrag konkurrenzfähig zu Silomais war und durch die geringen Inputs beim Anbau die Energieeffizienz von Silomais deutlich übertraf. Die geringste Energieeffizienz erreichte Sommertriticale mit 12, während Grünschnittroggen eine Energieeffizienz von 14-21 erreichte. Das Weidelgras hatte in allen Varianten relativ geringe Energieeffizienzen zwischen 11 und 16 trotz hohem Energieoutput, was an den vergleichsweise hohen Inputs für den Anbau liegt.

In Grub lag die Energieeffizienz von Silomais durchschnittlich um 20 Punkte unter der in Pettenbrunn. Die Spanne von Silomais aller Jahre lag hier bei 15-40. Im Vergleich dazu

*Tabelle 7: Energieeffizienz der ausgewählten Fruchtfolgen von V354.*

Ort	Fruchtfolge	2012	2012-2013	2013	2013-2014	2014
Pettenbrunn	SM/WR/WDu	59	29	n. a.	n.a.	16
	SM/WR/SoTri/WR/WDu	56	33	12	45	11
	SM/SM/WiTri	59	n.a.	19	n.a.	50
	SM/SM/SM	58	n.a.	22	n.a.	34
	SM/GR/SM/GR/SM	55	14	14	21	35
Grub	SM/WR/WDu	38	27	n. a.	n.a.	24
	SM/WR/SoTri/WR/WDu	40	35	6	11	12
	SM/SM/WiTri	39	n.a.	20	n.a.	16
	SM/SM/SM	38	n.a.	21	n.a.	23
	SM/GR/SM/GR/SM	38	11	15	14	21
Neuhof	SM/WR/WDu	42	39	n. a.	n.a.	30
	SM/WR/SoTri/WR/WDu	44	42	5	17	8
	SM/SM/WiTri	44	n.a.	9	n.a.	32
	SM/SM/SM	45	n.a.	12	n.a.	21

	SM/GR/SM/GR/SM	46	19	7	17	31
--	----------------	----	----	---	----	----

lag der Wert für Wintertriticale hier mit 16 deutlich niedriger als in Pettenbrunn. Auch hier schlägt sich die geringere Wasserverfügbarkeit deutlich nieder, genau wie beim Weidelgras, das hier Werte von 12-24 erreichte. Ebenfalls wie in Pettenbrunn lieferte Sommertriticale in Variante 6 die niedrigste Energieeffizienz, gefolgt von Grünroggen mit 11 bzw. 14.

Am Standort Neuhof waren die Unterschiede innerhalb der Fruchtarten von den untersuchten Standorten am höchsten. Mit den extrem niedrigen Erträge von Silomais im Jahr 2013 schwankte die Energieeffizienz hier zwischen 7 und 46, wobei der Wert von 7 sogar niedriger lag als bei Sommertriticale in Pettenbrunn und nur geringfügig höher als bei Sommertriticale am gleichen Standort mit einem Wert von 5. Das Wintergetreide erreichte hier stabile Energieeffizienzen von 17-39, wobei der untere Wert deutlich niedriger lag als die anderen und nicht repräsentativ ist. Die Energieeffizienz des Weidelgrases war sehr stark davon abhängig, ob genug Zeit zur Verfügung stand, dass sich der Bestand im zweiten Jahr nach der Untersaat etablieren konnte. Während im ersten Jahr der Nutzung mit 8 nur eine geringe Energieeffizienz erreicht wurde, konnte im zweiten Jahr ein Wert von 30 erreicht werden, der sich nicht signifikant von den höheren Wintergetreidewerten unterschied.

### 2.3.8 Treibhausgasemissionen von V354

Die Ergebnisse der Treibhausgasbilanz lassen sich Abbildung 12 entnehmen. Die Bilanz besteht bei jeder Fruchtfolge aus drei Teilen: Den THG-Emissionen aus der Energienutzung, den Lachgasemissionen aus der Düngernutzung und den Emissionen aus dem Humusumsatz. Bei der Betrachtung ist außerdem von Bedeutung, ob eine flächenbezogene oder produktbezogene THG-Bilanz erstellt wurde. Für die zielorientierte Einschätzung verschiedener Fruchtfolgen zur Energiegewinnung eignet sich die produktbezogene Bilanz besser, die hier auf den TM-Ertrag bezogen ist, der ausschlaggebend für die im Erntegut

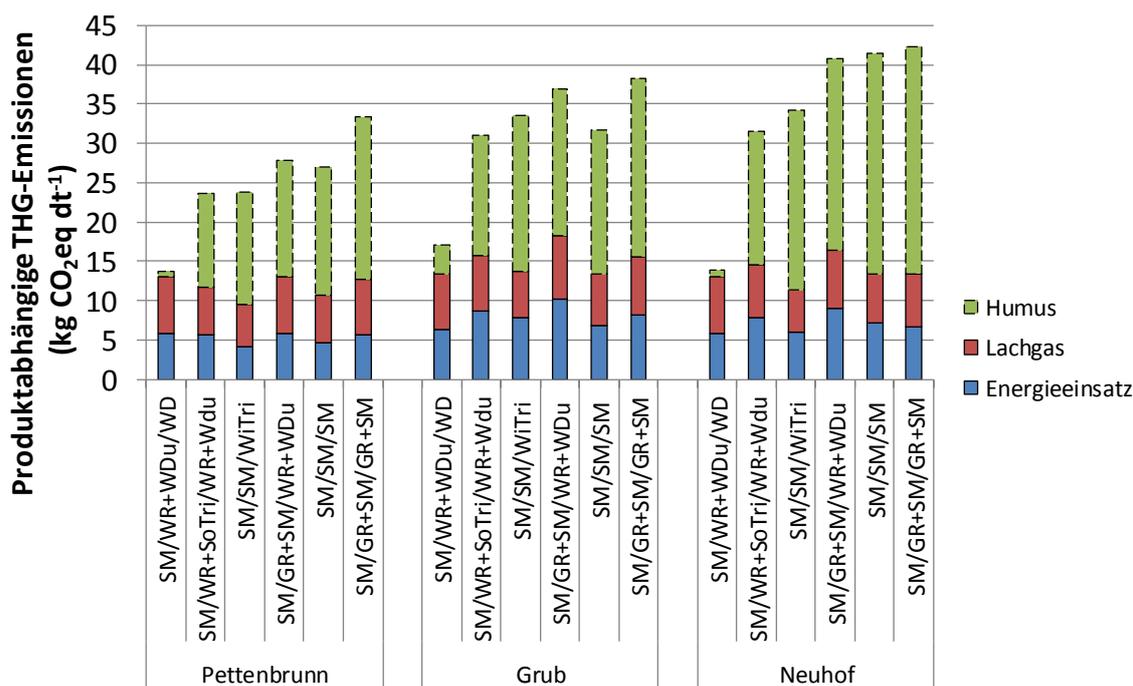


Abbildung 12: Produktbasierte Treibhausgasemissionen ausgewählter Fruchtfolgen in V354. Humus (gestrichelt) als grobe Schätzung.

enthaltene Energie ist.

Bei der Betrachtung der Emissionen aus der Energienutzung und den Lachgasemissionen ließ sich an allen drei Standorten die gleiche Tendenz feststellen. Obwohl sich das Niveau der Emissionen ertragsabhängig von Standort zu Standort unterschied, lagen die THG-Emissionen der Varianten 8 und 11 (SM/SM/WiTri, bzw. SM/SM/SM) je dt TM an allen Standorten signifikant niedriger als die der anderen Varianten, mit Ausnahme der Variante 5, die in Grub und in Neuhof auf gleichem Niveau lag. Die Unterschiede zwischen den Varianten waren jedoch relativ niedrig und lagen zwischen 10 und 13 kg CO<sub>2</sub>eq dt<sup>-1</sup> in Pettenbrunn, 14 und 18 kg CO<sub>2</sub>eq dt<sup>-1</sup> in Grub und 11 bis 16 kg CO<sub>2</sub>eq dt<sup>-1</sup> in Neuhof. Dieses Ergebnis würde für eine Vorzüglichkeit der Varianten mit geringen Inputs bei stabilem Ertrag sprechen, besonders unter Berücksichtigung der außergewöhnlich niedrigen Maiserträge in 2013.

Allerdings muss, gerade auf Standorten mit einem vorangegangenen Nutzungswechsel, auch der Humusumsatz berücksichtigt werden. Weil Humus zu großen Teilen aus Kohlenstoff besteht, der beim Humusumsatz als CO<sub>2</sub> emittiert oder bei Humusaufbau aus der Luft gebunden werden kann, muss der Humusumsatz zumindest als Tendenz in eine THG-Bilanz im Energiepflanzenbau eingehen. Bedingt durch die hohen Stickstoffflüsse in V354 können die meisten Humusbilanzmodelle den Humusumsatz im Versuchszeitraum nicht korrekt einschätzen. Aus diesem Grund wurde auf die mittleren Werte von VDLUFA (2014) zurückgegriffen, die jedoch nur als grobe Schätzung zu verstehen sind. Deshalb sind die CO<sub>2</sub>eq-Emissionen aus dem Humusumsatz (in Abbildung 12 grün gestrichelt dargestellt) auch nur als Tendenz zu verstehen. Die konkreten Werte stimmen mit der Realität sicher nicht überein und berücksichtigen nur die Einschätzung bestimmter Pflanzen als humuszehrer, bzw. -mehrer.

Unter Berücksichtigung des Humusumsatzes verändert sich das Bild der THG-Emissionen deutlich. Durch die positiven Effekte der ganzjährigen Bodenbedeckung und des Hu-

musaufbaus von Weidelgras stiegen die Gesamt-THG-Emissionen nur leicht an, während die zuvor besseren Varianten 8 und 11 jetzt deutlich schlechter, teilweise signifikant schlechter als die anderen Varianten abschneiden. Dies liegt daran, dass alle beteiligten Fruchtarten als Humuszehrer gelten.

### 2.3.9 Weitere Nachhaltigkeitsindikatoren von V354

Im Rahmen von Teilprojekt 1 wurden weitere Parameter erfasst, welche nicht vom Ertrag abhingen und den Einfluss der jeweiligen Fruchtfolge auf die Bodenbedingungen beschreiben sollten. Abbildung 13 zeigt die mikrobielle Biomasse am Standort Pettenbrunn, gemessen im Frühjahr 2015 im Weizenbestand. Auffällig ist, dass die Weidelgrasvarianten durchweg eine höhere mikrobielle Biomasse aufweisen als die anderen Varianten. Die niedrigsten Ergebnisse sind hier, mit Ausnahme von Variante 3, bei der der Kleeanteil und die Kleegraserträge sehr niedrig waren, bei den Silomaisvarianten, insbesondere den Varianten 8, 11 und 12 zu finden, wo die geringste durchgängige Bodenbedeckung herrschte.

Im Zusammenhang mit der mikrobiellen Biomasse ist die Katalasezahl zu verstehen, die eine Einschätzung der (Atmungs-)Aktivität von Mikroorganismen zulässt. Die Unterschiede fielen bei diesem Indikator deutlich geringer aus als bei der mikrobiellen Biomasse, allerdings ist bei der Variante 11 (SM/SM/SM) der höchste Wert zu verzeichnen, was trotz der geringen Abundanz an Mikroorganismen für eine höhere Aktivität als in den

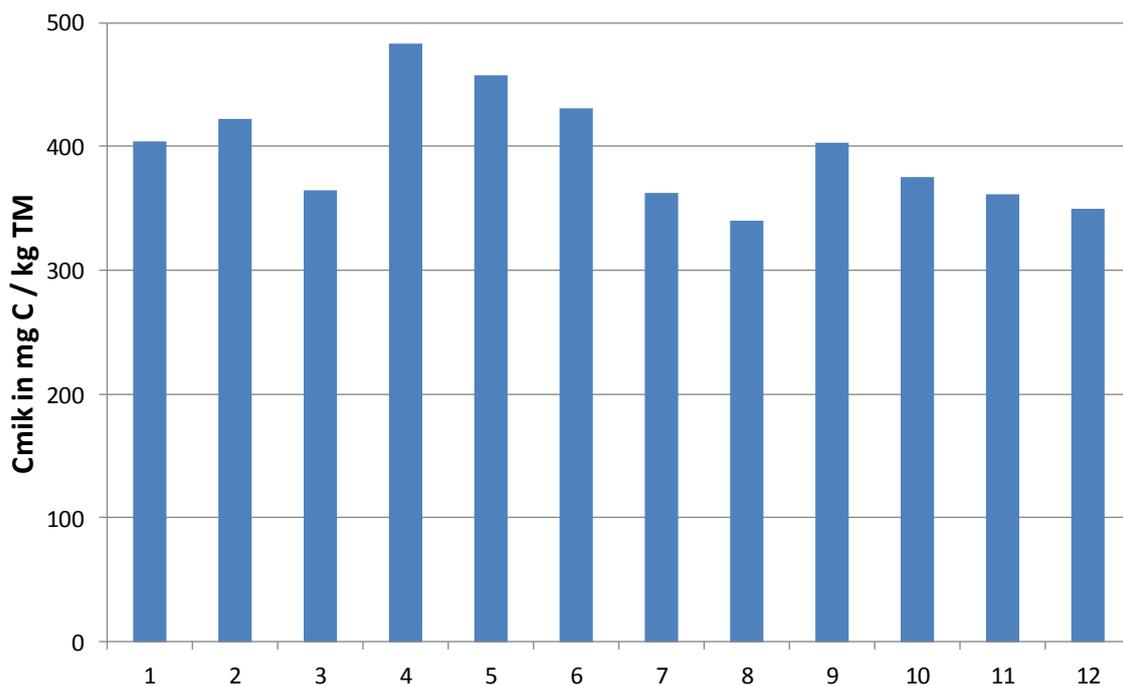


Abbildung 13: Mikrobielle Biomasse am Standort Pettenbrunn im Jahr 2015.

anderen Fruchtfolgen spricht. Die geringste Katalasezahl zeigte sich bei Fruchtfolge 8, was sich mit den Beobachtungen bei der mikrobiellen Biomasse deckt.

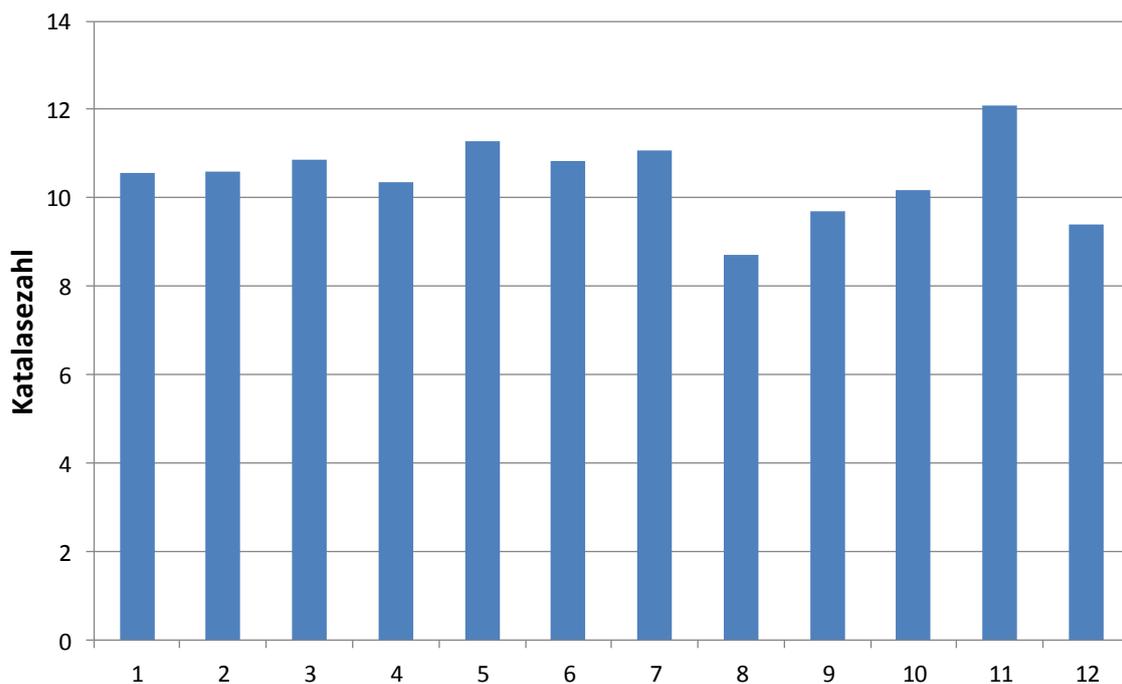


Abbildung 14: Katalasezahl am Standort Pettenbrunn im Jahr 2015.

Bei den anorganischen Bodenparametern des Kohlenstoffgehalts bzw. des C/N-Verhältnisses ließen sich keine Unterschiede zwischen den einzelnen Fruchtfolgen am Standort Pettenbrunn erkennen (Abbildung 15 und Abbildung 16). Ursache dafür ist vermutlich ein zu kurzer Versuchszeitraum, da die großen Pools an Kohlenstoff im Boden in einem Zeitraum von drei Jahren kaum auf Bewirtschaftungsunterschiede reagieren. Für eine detaillierte Analyse der Auswirkung der geprüften Fruchtfolgen müssen Versuche länger, mindestens zehn Jahre laufen.

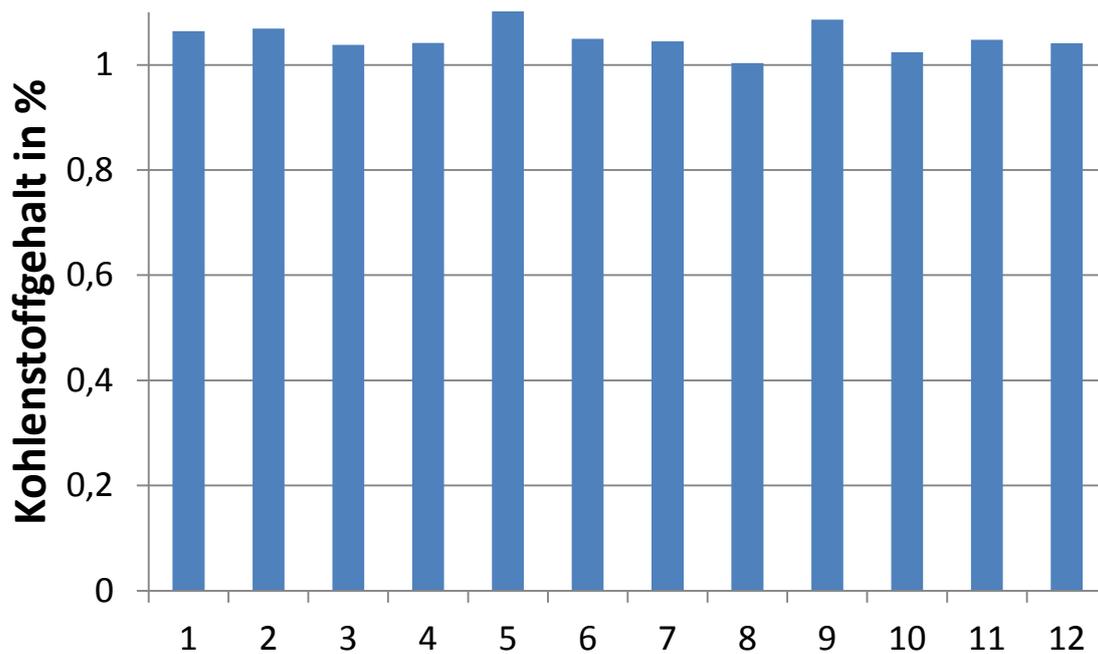


Abbildung 15: Kohlenstoffgehalt am Standort Pettenbrunn im Jahr 2015.

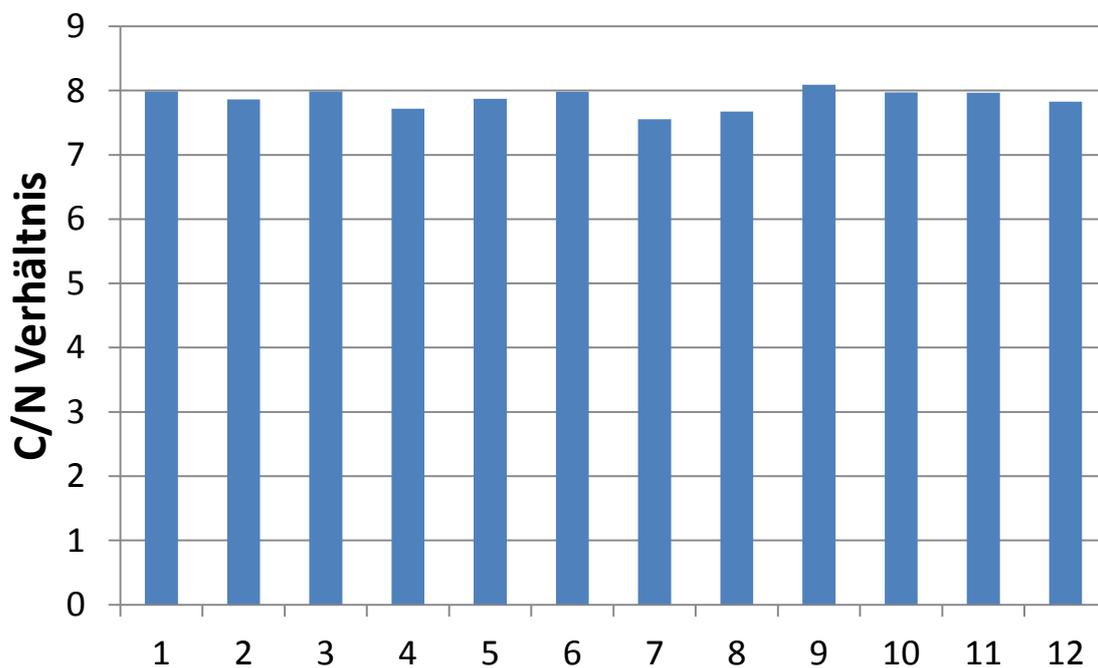


Abbildung 16: C/N-Verhältnis am Standort Pettenbrunn im Jahr 2015.

## 2.4 Zusammenfassung und Schlussfolgerungen

Unter Berücksichtigung der vorliegenden Ergebnisse aus V350 und V354 lassen sich folgende Schlussfolgerungen ziehen.

Nachhaltigkeit besteht aus verschiedenen Komponenten. Diese sind sozialer, ökonomischer und ökologischer Natur. Wegen der Bandbreite der verschiedenen Parametern, mit denen Nachhaltigkeit beschrieben wird, wurde im Rahmen von Teilprojekt 1 der Fokus auf ökologische Kenngrößen für die Nachhaltigkeit gesetzt. Innerhalb dieser Kenngrößen war der Trockenmasseertrag häufig ausschlaggebend für die Einordnung der betrachteten Fruchtfolgen. Mit Hilfe der Parametern zur Bodenfruchtbarkeit wie der Fruchtfolgeeffekte, gemessen am Winterweizenertrag, oder der mikrobiellen Aktivität sollten kurzfristig reagierende Alternativen zu den stark ertragsabhängigen Größen Nettoenergieoutput, Energieeffizienz und produktbasierte THG-Emissionen untersucht werden. Der Zeitraum des Versuchs war allerdings zu kurz, um signifikante Unterschiede zu erzeugen. Deshalb muss festgehalten werden, dass zwar eine Vielzahl an Parametern ausschlaggebend für die Nachhaltigkeit einer Fruchtfolge sind, allerdings der Ertrag eine herausragende Rolle spielt.

Silomais hat eine herausragende Stellung in der Produktion von Substrat von Biogasanlagen. Dies ist mit den hohen Erträgen, der gut bekannten Prozesstechnik und der sehr guten Vergärbarkeit begründet. Zusätzlich wurde im Rahmen von Teilprojekt 1 auch belegt, dass Silomais in Alleinstellung (abgesehen vom Versuchsjahr 2013 mit den deutlich zu niedrigen Erträgen) eine herausragend hohe Ressourceneffizienz und im allgemeinen auch eine hohe Flächeneffizienz und niedrige produktbasierte THG-Emissionen aufweist. Allerdings haben Standort- und Witterungseffekte einen starken Einfluss auf die Ausprägung dieser Tendenz. So konnten z. B. am Standort Pettenbrunn wegen der guten Wasserverfügbarkeit Weidelgrasuntersaaten einen beträchtlichen TM-Ertrag und damit grundsätzlich in Verbindung mit einer ertragsstabilen Deckfrucht wie Winterroggen oder Wintertriticale konkurrenzfähige Nachhaltigkeitsparameter erreichen.

Die niedrigen Erträge von Silomais im Jahr 2013 wurde in erster Linie durch die schwierigen Witterungsbedingungen erzeugt, die zwei wichtige Folgen hatten. Zum einen waren die Flächen durch den sehr spät abgetrockneten Boden erst Anfang April befahrbar, wodurch dem Silomais eine deutlich kürzere Vegetationszeit zur Verfügung stand, als notwendig. Zum anderen wurde durch ungünstige Witterungsbedingungen zu den Terminen der Gärrestausrückführung (Ausbringung nach Abschnitten langer Bodenfeuchte in den Bestand, gefolgt von vier Wochen ohne Niederschläge zur Hauptgärrestgabe im Sommer) nur ein geringer Teil des Stickstoffs im Gärrest tatsächlich von den Pflanzen verwertet. Diese Schwierigkeiten wirkten sich beim Silomais deutlich stärker aus als bei den anderen Fruchtarten. Zusätzlich muss man davon ausgehen, dass der nicht von den Pflanzen genutzte Stickstoff im Gärrest während der langen Trockenzeit zu einem großen Teil in Form von Lachgas in die Atmosphäre emittiert wurde, was in den dargestellten Ergebnissen zu den THG-Emissionen nicht berücksichtigt wurde. Die Emissionen im Bereich Lachgas könnten nochmals deutlich höher gewesen sein als dargestellt.

Die Folgen der geringen TM-Erträge von Silomais können in Jahren mit einer sehr ungünstigen Witterung für Mais (wie das Jahr 2013) gravierend für Landwirte mit Energiepflanzenfruchtfolgen sein. Der Versuch hat allerdings nochmals verdeutlicht, was viele Landwirte bereits verwirklichen: Eine ausgewogene Fruchtfolge mit verschiedenen Fruchtfolgegliedern kann in Jahren wie 2013 die Ertragsverluste durch eine Fruchtart abmildern und so das Ertragsrisiko der Energiepflanzenproduktion abmildern. Deshalb

spricht neben der Erhaltung der Bodenfruchtbarkeit durch eine geringere Humuszehrung auch betriebswirtschaftlich einiges dafür, vielfältige Fruchtfolgen zur Energiegewinnung anzubauen. Jedoch ist Silomais im Allgemeinen mit sehr hohen Erträgen und der guten Vergärbarkeit ein wichtiger Grundpfeiler für die Energiepflanzenproduktion mit deutlich geringeren negativen Folgen für die Nachhaltigkeit, als vielfach angenommen.

Durch die niedrigen Kleeanteile in den Varianten mit Klee gras erzielten diese Varianten, kombiniert mit einer an hohe Kleeanteile angepassten Düngung, nur einen geringen Ertrag, meistens signifikant niedriger als die vergleichbaren Weidelgrasvarianten. Um eine Unterrepräsentierung von Klee gras in Versuchen des konventionellen Landbaus zu vermeiden, sollte Klee gras zukünftig mit Knöllchenbakterien inokuliert werden, um einen hohen Kleeanteil zu gewährleisten. Zusätzlich ist auf eine ausreichende Phosphorversorgung zu achten.

Der niedrigste Ertrag wurde im Versuchszeitraum von Sommertriticale in den Varianten 6 und 7 erbracht. Verbunden mit der sehr geringen Energieeffizienz von 5-12 kann der Anbau auf Grundlage der Versuchsergebnisse von V354 an keinem der drei Standorte gerechtfertigt werden. Stattdessen empfiehlt sich eine längere Standzeit des ertragsstabilen Winterroggens in diesen Fruchtfolgen, um die Konkurrenz um Wasser und Nährstoffe zu verringern und das Ertragspotenzial und damit Nettoenergieoutput und Energieeffizienz der gesamten Fruchtfolge deutlich zu erhöhen. Auch in Bezug auf die Bodenfruchtbarkeit konnte innerhalb des Versuchszeitraums durch die Bodenbedeckung im Sommer kein Vorteil ausgemacht werden.

Der Nettoenergieoutput war in V350 durchgehend, in V354 teilweise in der Kombination Grünroggen+Silomais am höchsten. Das bedeutet in Jahren ohne extreme Witterungsprobleme, dass diese Kombination die höchste Flächeneffizienz aufwies. Wenn keine weiteren Flächen für die Bioenergieproduktion verwendet werden sollen, um die Konkurrenz zwischen Teller und Tank zu verringern, müssen auf den bestehenden Flächen Fruchtfolgen mit einer möglichst hohen Flächeneffizienz genutzt werden. Allerdings erreichte Silomais allein in normalen Jahren den Nettoenergieoutput der Kombination Grünroggen+Silomais fast, bei einer deutlich besseren Energieeffizienz. Die höchste Energieeffizienz hing dabei stark vom Standort ab. Am Standort Pettenbrunn konnten gerade Wintergetreide eine Energieeffizienz erreichen, die mit der von Silomais konkurrieren konnte.

Für die Betrachtung des Nettoenergieoutputs als Maß für die Flächeneffizienz der einzelnen Fruchtfolgen sind sowohl Energieinput, als auch Energieoutput entscheidend. In Abbildung 17 ist der Energieoutput und der Energieinput von vier Fruchtarten dargestellt, die im Rahmen von V354 (Futterroggen, Weidelgrasuntersaat und Silomais mit Gärreinstatz), bzw. V350 (Silomais ohne Gärreinstatz) angebaut wurden. Es zeigt sich, dass der Energieoutput um ein Vielfaches höher ist als der Energieinput. Weil sich der Nettoenergieinput aus der Differenz der beiden Größen berechnet, ist der Einfluss des Energieinputs hier relativ klein. Für die Betrachtung der Energieeffizienz (Output-/Input-Verhältnis) ist die Höhe des Energieinputs allerdings ausschlaggebend.

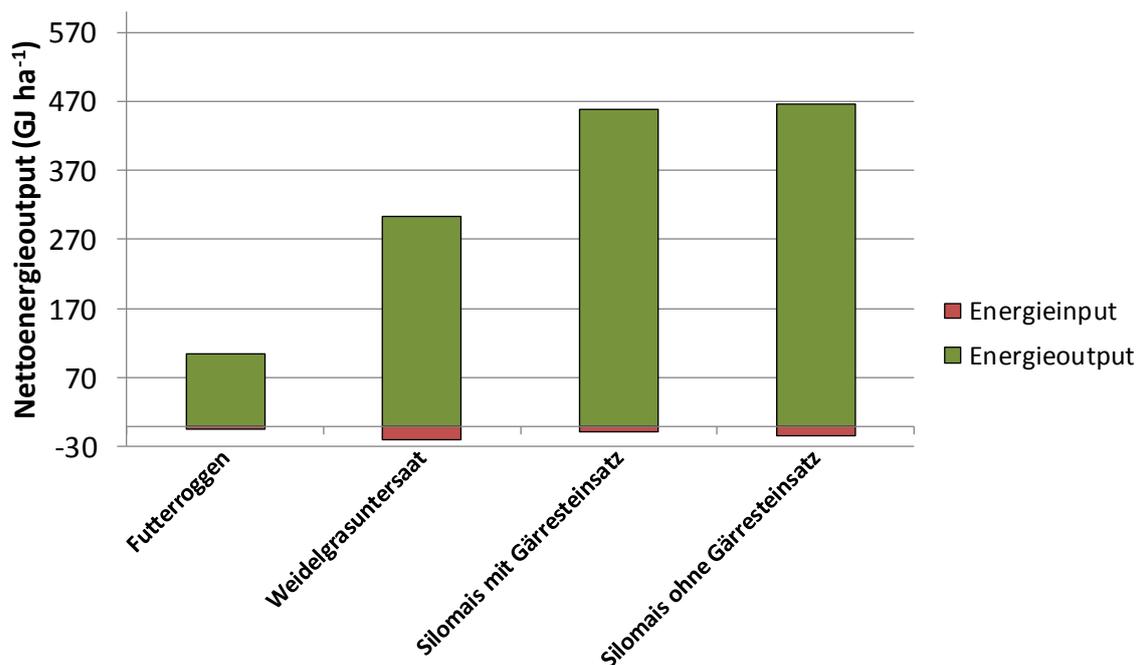


Abbildung 17: Energieinput und -output von vier beispielhaften Fruchtarten.

Deshalb kann die Energieeffizienz der Weidelgrasuntersaat trotz des deutlich höheren Outputs in manchen Fällen niedriger ausfallen als die des Futterroggens, weil hier die Inputs durch die höhere Zahl an Arbeitsgängen und die höhere Mineralstickstoffdüngung deutlich höher sind. Der Unterschied in der Energieeffizienz zwischen den beiden Versuchen V350 und V354 lässt sich durch den Einsatz der Gärreste begründen. Der größte Input neben dem Kraftstoff für den Betrieb der Maschinen ist durch den energieaufwändigen Haber-Bosch-Prozess der Einsatz von Mineralstickstoff (Abbildung 18). Weil der Gärrest im Betrieb produziert und damit nicht als Input von außen zugeführt wird, kann der Energieinput der Energiepflanzenproduktion durch den Einsatz von Gärrest gesenkt – und damit die Energieeffizienz gesteigert werden. Insgesamt hatte Silomais im Versuch 354 meist die höchste Energieeffizienz, was sich auch schon in V350 gezeigt hatte. Gleichzeitig war durch die unterschiedlichen Erträge im Versuchszeitraum die Spanne zwischen den Energieeffizienzen einer Fruchtart deutlich größer als in V350.

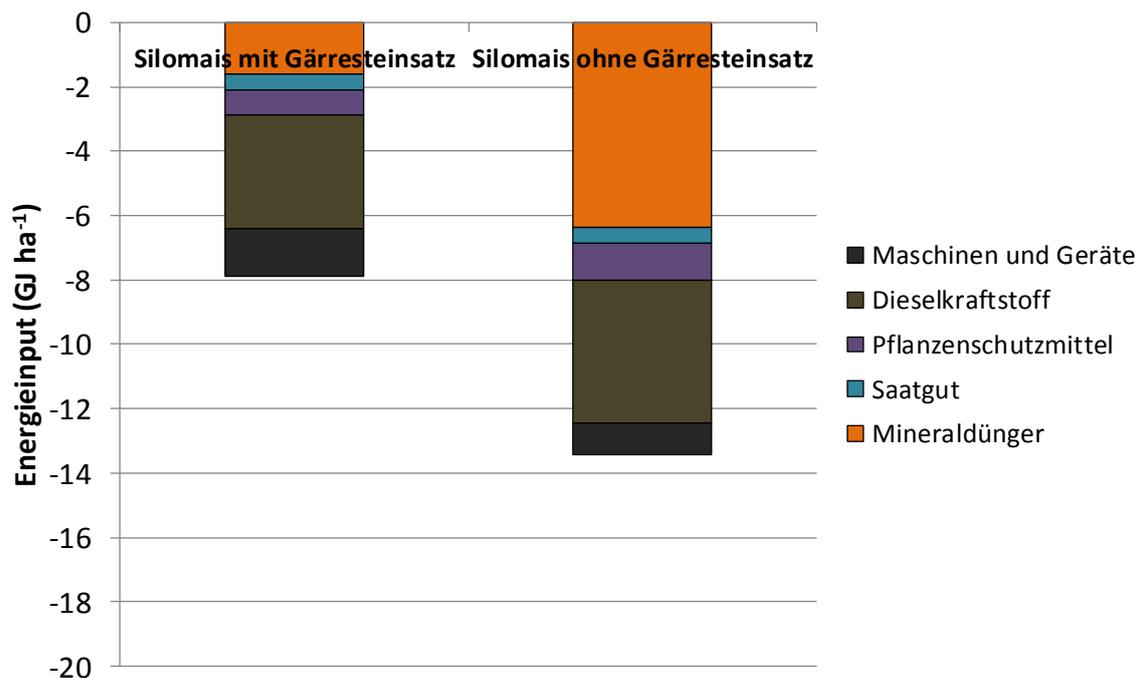


Abbildung 18: Energieinputs bei der Silomaisproduktion mit und ohne Gärrestausbringung.

Allerdings ist der Einsatz von Gärresten stark von der Witterung abhängig. Im Idealfall erfolgt die Ausbringung vor der Saat mit Schleppschläuchen oder Injektionssystemen und ist mit einer sofortigen Einarbeitung verbunden. So werden die Verluste an pflanzenverfügbarem Stickstoff minimiert.

Abschließend kann festgehalten werden, dass sich für eine nachhaltige Biogasproduktion auf der Basis von Energiepflanzen eine auf mehreren Feldern im Wechsel angebaute Fruchtfolge mit mittlerem bis hohem Maisanteil und Wintertriticale und Ackergräsern in Abhängigkeit von der Wasserverfügbarkeit am Standort unter den traditionellen Kulturpflanzen für die Biogasnutzung am besten eignet, um eine günstige Flächen-, Ressourcen- und THG-Effizienz bei gleichzeitiger Abmilderung von Extremwettereffekten zu gewährleisten.

## 3 Teilprojekt 2: Qualitätsabschätzung von Grünlandaufwüchsen und anderen Substraten

### 3.1 Hintergrund und Aufgabenstellung

Die wirtschaftliche Zielgröße in der Biogasproduktion ist der Methanhektarertrag. Einflussgrößen sind der Trockenmasseertrag sowie die spezifischen Methanausbeute und der Aschegehalt der Kulturen. Der Aschegehalt der meisten Kulturen liegt bei 5%. Höhere Werte kommen insbesondere bei Kulturen, die angewelkt werden, oder bei lagerndem Getreide, vor. Dabei kommt es zu einem erhöhten Eintrag von Schmutz und Sand in den Fermenter. Der Trockenmasse (TM)- Ertrag ist bislang die bedeutendste Einflussgröße für den Methanertrag. Dieser kann sehr stark in Abhängigkeit zur gewählten Kultur variieren. Auch mit pflanzenbaulichen Maßnahmen wie unter anderem Sortenwahl oder Saat/Ernte Zeitpunkt besteht eine gute Einflussmöglichkeit den TM Ertrag zu optimieren.

Des Weiteren hat auch die spezifische Methanausbeute einen Einfluss auf den Methanertrag. Dabei ist jeder Kultur eine spezifische Methanausbeute zugeordnet. Sie gilt als Qualitätsmerkmal und gibt Auskunft über das Methanbildungspotential. Nach derzeitigem Wissensstand, erhoben durch vorangegangene Versuche, haben pflanzenbaulichen Maßnahmen nur im geringen Ausmaß Auswirkungen auf diesen Qualitätsparameter. Dies gilt insbesondere für die praxisrelevanten Kulturen wie Mais und Getreide, wenn sie im optimalen Erntebereich geerntet werden. Allerdings geht mit dem physiologischen Alter eine Abnahme der Energiedichte einher. Verschiedene Studien haben gezeigt, dass der spezifische Methanertrag in einem engen Zusammenhang zur Verdaulichkeit der Trockenmasse steht. So stellten McEniry und O'Kiely (2013) fest, dass eine signifikant positive Korrelation zwischen diesen beiden Größen besteht. Messner und Elsäßer (2012) fanden mit steigenden NDF-Gehalten eine Abnahme des spezifischen Methanertrags. Sie folgerten aber auch, dass der spezifische Methanertrag nicht von einem einzelnen Parameter abgeleitet werden kann. Auch Dandikas, V. *et al.* (2015) konnten statistisch zeigen, dass sich anhand des Lignin- (ADL) und Hemizellulosegehalts (HC) die Differenzierung in der Biogasausbeute der Energiepflanzen ableiten lässt.

Die Variabilität der Methanausbeute ist bei den Gräsern am ausgeprägtesten. Vorangegangene Versuche haben gezeigt, dass abhängig vom Pflanzenbestand, Nutzung und Schnittzeitpunkt die Methanausbeute starken Schwankungen unterworfen ist. Um den Einsatz von Gräsern und Grünlandbeständen zu optimieren, bedarf es Aussagen über den Einfluss verschiedener Faktoren auf das Qualitätsmerkmal Methanausbeute. Im Rahmen dieses Projektteils soll mittels Batch Analysen das Methanbildungspotential unterschiedlicher Gräserarten und -sorten zu verschiedenen Erntezeitpunkten bestimmt werden und auf ihren Zusammenhang untersucht werden.

Für das Methanbildungspotential der verschiedenen Substrate bzw. einzelner Kulturen findet man in der Literatur immer wieder unterschiedliche Werte. Dies ist bedingt durch unterschiedliche Bestimmungsverfahren wie Methoden der Berechnung (z.B. nach Baserga (1998) oder Weisbach (2008)) oder Messungen im Labor. Eine Vergleichbarkeit ist damit nur möglich, wenn die Werte aus derselben Bestimmungsmethode entstammen. Aber selbst bei der analytischen Messung im Labor kann es bei ein und derselben Probe zu Variationen bei mehrmaligen Messungen kommen. Die Ursachen liegen darin, dass ein lebender Prozess zugrunde liegt.

Um eine Vergleichbarkeit der spezifischen Methanausbeuten verschiedener Kulturen zu erhalten, ist es somit unerlässlich eine vergleichende Messung in einem Labor mit einem einzigen Batchansatz durchzuführen. In diesem Projekt soll mit weiteren Batch Analysen ein Kulturenvergleich unter gleichen sowie unter verschiedenen Standortbedingungen erfolgen, um so Aussagen zum Methanertrag in Abhängigkeit der Kultur und des Standortes zu bekommen.

### **3.2 Gräser: Arten und Sorten Vergleich**

Die seit vielen Jahren kontinuierliche Abnahme der Viehbestände führt zu frei werdenden Grünlandflächen, deren Aufwüchse nachhaltigen Nutzungsmöglichkeiten zugeführt werden müssen. Ein möglicher Verwendungszweck stellt die Nutzung als Substrat für die Biogaserzeugung dar. Im Ackerbau haben mehrschnittige Gräser eine Vielzahl pflanzenbaulicher Vorteile, mit denen sie sich - insbesondere durch die humusmehrenden Eigenschaften - positiv in die Fruchtfolgegestaltung einbringen können. Dem Einsatz von Gras in der Biogasproduktion steht bei sachgerechter Prozessführung nichts entgegen.

In vorangegangenen Versuchen konnte gezeigt werden, dass Gräser auf niederschlagsreichen Standorten in Zweit-, Zwischenfrucht oder Untersaat-Varianten gute Ertragsleistungen bringen. Die Methanausbeuten liegen meist auf hohem Niveau vergleichbar mit Silomais, sind jedoch abhängig vom Pflanzenbestand und durch Mischung, Nutzung und Schnittzeitpunkt starken Schwankungen unterworfen. In diesem Versuch soll anhand von Untersuchungen zum Gasbildungspotential verschiedener Gräserarten und -sorten sowie Erntezeitpunkten Aussagen getroffen werden, wie der Erntezeitpunkt und die Gräserarten gewählt werden können, dass der Methanhektarertrag maximiert wird.

Die Ergebnisse sind Teil der Master Thesis „Einfluss des Erntezeitpunktes auf die stoffliche Zusammensetzung und die Methanausbeute verschiedener Grünlandarten und –sorten des ersten Aufwuchses“ von Julia Hofele.

#### **3.2.1 Material und Methoden**

Die untersuchten Gräserarten und –sorten stammten von den Schauflächen der Arbeitsgruppe „Grünland und Feldfutterbau“ des Institutes für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung (IPZ) der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL). Für die Untersuchungen wurden vier Grasarten (Deutsches Weidelgras, Wiesenrispe, Knaulgras, Wiesenschwingel) und zwei Kleearten (Rotklee, Weißklee), die für den bayerischen Futterbau typisch sind, ausgewählt. Vom Deutschen Weidelgras standen vier verschiedene Sorten zur Verfügung, die sich vor allem in der Reife unterscheiden. Damit konnten insgesamt neun Substrate (Arten und Sorten) für die Batch - Gärtests bereitgestellt werden (Tabelle 8).

Tabelle 8: Untersuchte Grünlandarten und -sorten

	<b>Art</b>	<b>Sorte</b>	<b>Bezeichnung</b>
<b>Gräser</b>	<b>Deutsches Weidelgras</b> ( <i>Lolium perenne</i> )	Ariola	WD_3
		Respect	WD_6
		Sirius	WD_15
		Sponsor	WD_13
	<b>Wiesenrispe</b> ( <i>Poa pratensis</i> )	Lato	WPR
	<b>Knaulgras</b> ( <i>Dactylis glomerata</i> )	Husar	KL
	<b>Wiesenschwingel</b> ( <i>Festuca pratensis</i> )	Preval	WSC
<b>Leguminosen</b>	<b>Rotklee</b> ( <i>Trifolium pratense</i> )	Titus	RKL
	<b>Weißklee</b> ( <i>Trifolium repens</i> )	Lirepa	WKL

Über die komplette Vegetationszeit wurden für die Gräser 11 und für die Leguminosen 9 Erntetermine festgelegt, verteilt auf 3 Schnitte:

- -1. Schnitt mit 5 (Gräser) bzw. 4 (Leguminosen) Schnittzeitpunkten (eine Ernte vor dem optimalen Termin, optimaler Termin und drei Ernten nach dem optimalen Termin),
- -2. Schnitt mit 3 Schnittzeitpunkten (optimaler Termin und zwei Ernten nach dem optimalen Termin)
- -3. Schnitt mit 3 Schnittzeitpunkten (optimaler Termin und zwei Ernten nach dem optimalen Termin)

Die Beprobungstermine wurden anhand des Entwicklungsstadiums nach BBCH definiert (Tabelle 9). Die Daten Erhebung fand in den Jahren 2013 und 2014 statt.

Tabelle 9: Definierte Erntetermine

<b>Termin</b>	<b>Code</b>	<b>Entwicklungsstadium</b>
1. Probenahme	1	BBCH 39 Ligula Stadium
Optimale Probenahme	0	BBCH 42 - 45 Blattscheide des Fahnenblattes geschwollen Entspricht dem optimalen Termin für Futtermittelverwertung
2. Probenahme	2	BBCH 51 Beginn Ährenschieben (ca. 10% - 20 % Ähren sichtbar)
3. Probenahme	3	BBCH 55 im Ährenschieben mind. 50% Ähren sichtbar
4. Probenahme	4	BBCH 60 - Blüte

Die Codierung der Proben beinhaltet die Art bzw. Sorte, den Schnitt und den Erntetermin (z.B. WSC\_1\_3 = Wiesenschwingel, 1. Schnitt, 3 Probenahme).

Die Batchgärtests wurden am Institut für Landtechnik und Tierhaltung (ILT) der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL) in Freising durchgeführt. Die Gärtests wurden in Anlehnung an die VDI-Richtlinie 4630 (VDI 2006) durchgeführt. Für alle Substratvarianten wurden die Gaserträge gemessen.

### 3.2.2 Ergebnisse und Diskussion

Für die größere Anzahl an Grünlandarten und -sorten konnten keine signifikanten Unterschiede der spezifischen Methausbeute zwischen den Schnittzeitpunkten festgestellt werden. Zudem konnte die höchste Methanausbeute auch an keinem Entwicklungsstadium festgemacht werden. Abbildung 19 zeigt am Beispiel Wiesenschwingel die Methanausbeute zu den einzelnen Probeterminen für die Jahre 2013 und 2014. Die Methanausbeute schwankte von knapp 300 bis 390 CH<sub>4</sub> I<sub>N</sub>/kg oTS, wobei die höchsten Werte beim 1. Schnitt erzielt wurden, mit den 2. und 3. Schnitt ging die Methanausbeute zurück. Aufgrund von schnell wechselnden und extremer Witterungen konnten 2014 nicht alle Termine beprobt werden. Die höchste Methanausbeute lag zwar 2013 für alle Schnitte bei dem Termin, der optimal für die Futterverwertung ist. Die Ergebnisse von 2014 zeigten aber, dass dies nicht immer der Fall war. Auch bei Betrachtung der einzelnen Arten und Sorten, verhielten sich diese hier unterschiedlich.

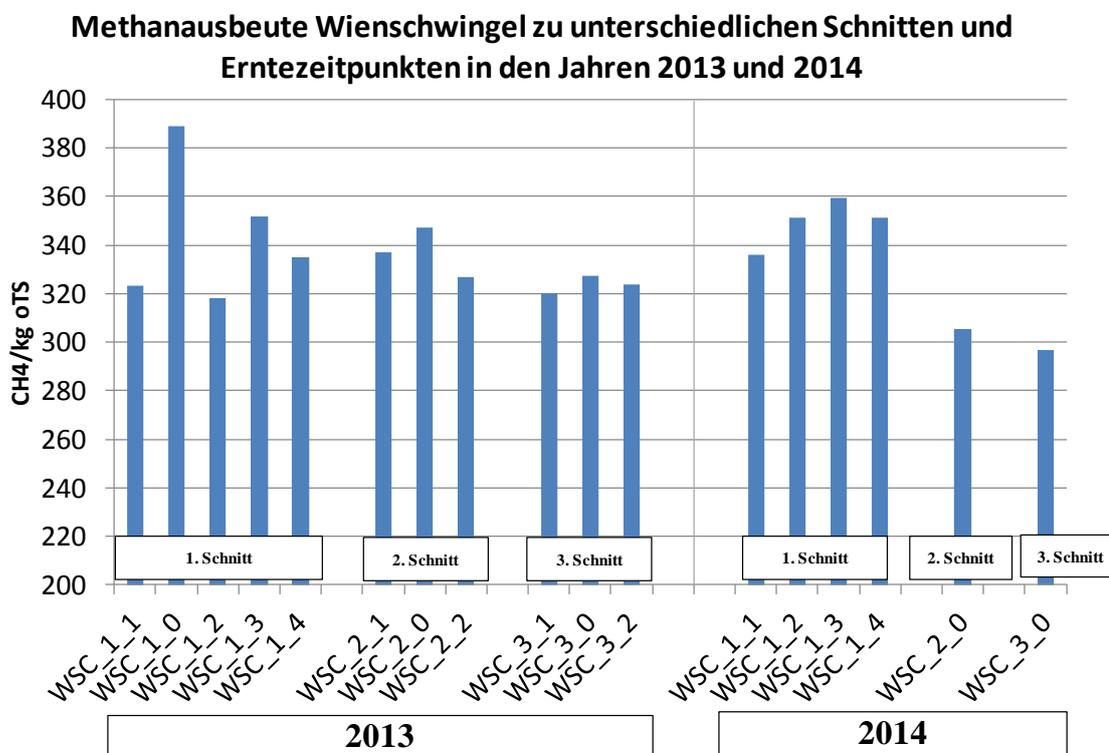


Abbildung 19: Methanausbeute Wiesenschwingel zu unterschiedlichen Schnitten und Erntezeitpunkte 2013 und 2014

Abbildung 20 zeigt die höchsten Methanausbeuten für die verschiedenen Arten und Sorten am Beispiel des ersten Schnittes im Mittel der Jahre 2013/2014. Die Werte lagen im Bereich von 310 bis 432  $\text{CH}_4 \text{ l}_\text{N}/\text{kg oTS}$ . Dabei haben die Arten und Sorten ihr Optimum der Methanausbeuten zwischen dem Termin 1 (vor dem optimalen Termin Futterverwertung) und dem Termin 3 Ährenschieben (nach dem optimalen Termin Futterverwertung). Zudem verhielten sich die einzelnen Jahre sehr unterschiedlich, so dass keine Zuordnung der Methanausbeute zum Entwicklungsstadium gemacht werden konnte. Dementsprechend ist auch keine Aussage zum optimalen Erntezeitpunkt möglich. Ein weiterer Ansatzpunkt die optimale Methanausbeute zu bestimmen, ist das Festmachen an Inhaltsstoffen. Die Ergebnisse fließen in das Projekt „Batchformel – Modellentwicklung anhand bestehender und neuer Datensätze“ am ILT ein, dort soll ein möglicherweise inhaltsstofflich basierender Zusammenhang zum Biogasertragspotenzial geprüft werden.

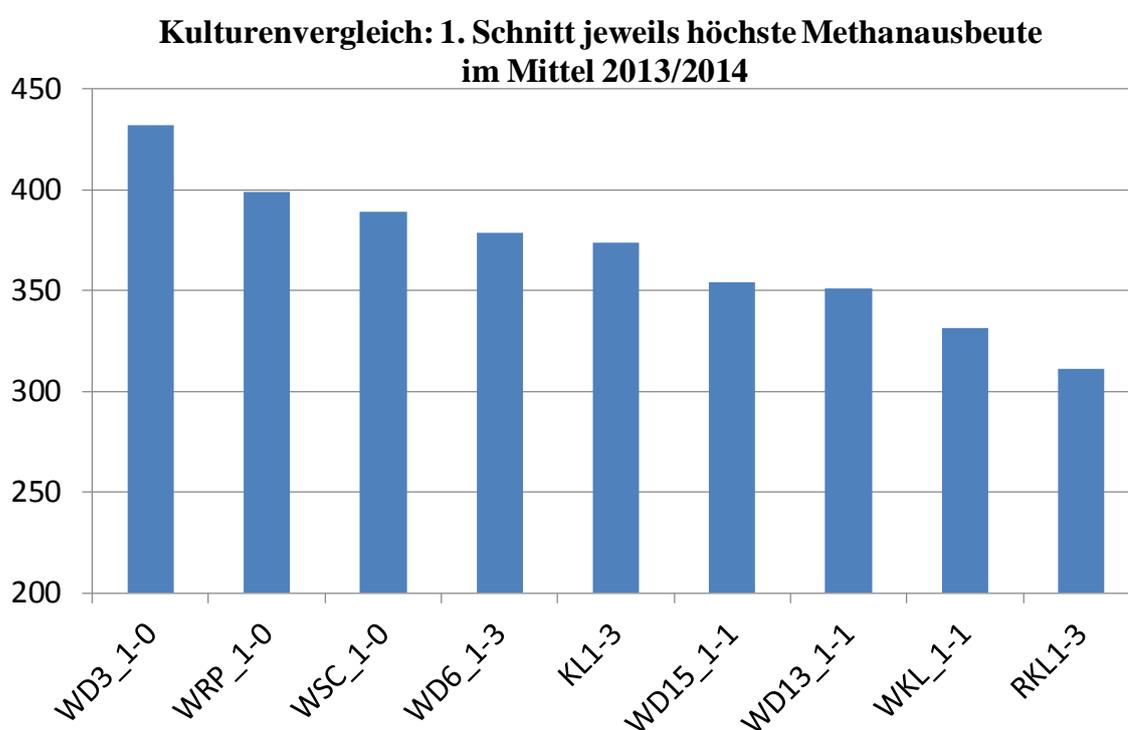


Abbildung 20: Kulturenvergleich: 1. Schnitt jeweils höchste Methanausbeute im Mittel 2013/2014

Hinsichtlich der Unterschiede im Methanertrag zwischen den Arten und Sorten zeigte sich, dass die Gräser die höchsten Methanerträge erzielten und sich abgesehen von wenigen Ausnahmen signifikant von den Leguminosen unterschieden. Den höchsten Methanertrag erzielte die Weidelgrassorte Arvicola, die sich bis auf wenige Ausnahmen signifikant von allen anderen Grünlandarten und -sorten unterschied. Der Grund dafür liegt im Wesentlichen darin, dass der Methanertrag zu einem einzigen Schnittzeitpunkt wesentlich höher war als zu allen anderen Schnittzeitpunkten. Abgesehen von der Weidelgrassorte Arvicola wurden innerhalb der Gräser jedoch keine signifikanten Unterschiede im Methanertrag ermittelt, weshalb der Einfluss der Grasart vernachlässigt werden kann.

### 3.2.3 Zusammenfassung und Schlussfolgerungen

Abschließend sollte festgehalten werden, dass die Ergebnisse dieses Versuches keine Aussagen zu einem optimalen Erntezeitpunkt im Grünlandbereich zu lassen. Die höchste Methanausbeute lag im Bereich des Erntetermins für die optimale Futterverwertung. Unter wirtschaftlichen Aspekten sind vor allem die Methanhektarerträge pro Jahr von Bedeutung. Dieser wird nicht nur durch die spezifischen Methanerträge beeinflusst, sondern vor allem durch den Trockenmasseertrag, den es auch weiterhin ackerbaulich zu optimieren gilt. Da der TM mit der Erntereife zunimmt, scheint der optimale Erntetermin für die Biogasproduktion, wie es Hartmann und Sticksele (2012) bereits formuliert haben, wahrscheinlich etwas später (ca. 3-4 Tage) als beider Nutzung für Milchvieh zu liegen.

## 3.3 Kulturen Vergleich

Frühere Batch Analysen hatten gezeigt, dass Unterschiede in der Methanausbeute zwischen den verschiedenen Kulturen als Biogassubstrat vorhanden sind. Dabei lagen die meisten Kulturen in einem mittleren Bereich von 320 bis 350 Normliter CH<sub>4</sub> pro kg oTS, aber es gab auch Kulturen mit einem eher geringeren Methanbildungspotential. Die damaligen Proben stammten von unterschiedlichen Standorten und wurden zu verschiedenen Zeitpunkten geerntet. Um diesen Einflussfaktor auszuschließen sollte im Rahmen dieses Projektteils eine Vielzahl an Kulturen, die unter gleichen Standortbedingungen produziert wurden und nach gleichen Vorgaben geerntet wurden, auf ihr Methanbildungspotential untersucht werden. Die bayernweiten Demonstrations- und Informationszentren Energiepflanzenanbau boten die Möglichkeit das umfangreiche Probenmaterial unter den genannten Bedingungen zu Verfügung zu stellen. Dies machte nicht nur einen erneuten Kulturenvergleich untereinander möglich, sondern auch einen Standortvergleich.

### 3.3.1 Material und Methoden

Das Probenmaterial stammte aus den Demonstrations- und Informationszentren Energiepflanzenanbau (ID-Zentren) Rotthalmünster (RM), Grub, Ansbach und Almesbach.

In RM wurden Proben von 32 Substraten unterschiedlichster Kulturen, die im Rein- oder Mischanbau angebaut werden, genommen (*Tabelle 10*). Dabei waren auch 7 Wildpflanzenmischungen (WPM), die in der Zusammensetzung und im Anbauverfahren differenzierten. Zusätzlich wurden ausgewählte Kulturen an 3 weiteren ID Zentren genommen (grau hinterlegt). Die Probennahme erfolgte zum optimalen Erntezeitpunkt.

Es wurden zwei Batch Ansätze mit 32 bzw. 21 Proben am Institut für Landtechnik und Tierhaltung (ILT) der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL) in Freising durchgeführt. Die Batchanalysen wurden in Anlehnung an die VDI-Richtlinie 4630 (VDI 2006) durchgeführt. Für alle Substratvarianten wurden die Gaserträge gemessen.

Tabelle 10: Herkunft und Variation der untersuchten Kulturen

Kultur	Standort
Mais	Rotthalmünster, Grub, Ansbach, Almesbach
Mais Bohnen Mischanbau	Rotthalmünster
Wintertriticale	Rotthalmünster
Winterroggen	Rotthalmünster
Wintergerste	Rotthalmünster
Sommertriticale	Rotthalmünster, Grub, Ansbach, Almesbach
Winterroggen Weidelgras Gemisch	Rotthalmünster
Winterroggen Klee Gemisch	Rotthalmünster
Wickroggen	Rotthalmünster
Triticale Erbse	Rotthalmünster
Klee gras	Rotthalmünster
Zuckerrüben	Grub
Sorghum	Rotthalmünster, Grub, Ansbach, Almesbach
Sorghum Körner	Rotthalmünster
Sorghum Futter	Rotthalmünster
Sonnenblume	Rotthalmünster
Amarant	Rotthalmünster
Quinoa	Rotthalmünster
Buchweizen	Rotthalmünster
Riesenweizengras 1. Schnitt	Rotthalmünster
Riesenweizengras 2. Schnitt	Rotthalmünster
Switchgras	Rotthalmünster
durchwachsene Silphie	Rotthalmünster, Grub, Ansbach, Almesbach
Sida	Rotthalmünster, Grub, Ansbach, Almesbach
BG 90 SG 2014 (WPM)	Rotthalmünster
BG90 Mais 2014 (WPM)	Rotthalmünster
BG 70 2015 (WPM)	Rotthalmünster
BG70 2014 (WPM)	Rotthalmünster, Grub, Ansbach, Almesbach
BG 70 2013 (WPM)	Rotthalmünster
Fremdländische Stauden	Rotthalmünster
Hanfmischung	Rotthalmünster

### 3.3.2 Ergebnisse und Diskussion

Abbildung 21 zeigt die spezifische Methanausbeute der 32 Biogassubstrate vom Standort Rotthalmünster.

Die spezifischen Methanausbeuten der untersuchten Kulturen schwankten in einem Bereich von 230 – 403 Normliter CH<sub>4</sub> pro kg oTS, wobei der Mais das höchste Methanbildungspotential besaß. Daher wurden die Methanausbeuten aller Substrate zusätzlich prozentual ins Verhältnis zu Mais gesetzt. Bis 300 Normliter CH<sub>4</sub> pro kg oTS, dies entspricht 75 % der Methanausbeute von Mais, lagen die verschiedenen Getreidearten incl. Mischungen, Sorghum und Riesenweizengras. Unter 300 Normliter CH<sub>4</sub> pro kg oTS lagen Kleegras und der Großteil der sogenannten „neuen“ Kulturen. Schlusslicht machten die mehrjährigen Wildpflanzenmischungen. Dies bestätigten auch die Ergebnisse der früheren Batchanalysen. Kulturen, die zu den häufigsten eingesetzten Substraten gehören, wie Mais und Getreide lagen in einem oberen Bereich. Neue Kulturen schnitten schlechter ab. Es gilt aber zu beachten, dass gerade die durchwachsene Silphie und die WPM inhomogene Bestände bilden. Die durchwachsene Silphie reift unterschiedlich ab, damit kann die Lignifizierung bereits vorangeschritten sein, so dass das Methanbildungspotential reduziert wird. Auch bei den WPM kann es bedingt durch die Zusammensetzung verschiedener Pflanzen zu einer unterschiedlichen Abreife kommen und damit verbunden zu erhöhten Lignin-Gehalte bereits zum Erntezeitpunkt. Der Anbau dieser Substrate steht im Gegensatz zu Mais und Getreide aber noch am Anfang der Forschung. Die Optimierung des Erntezeitpunktes kann das Methanbildungspotential noch verbessern.

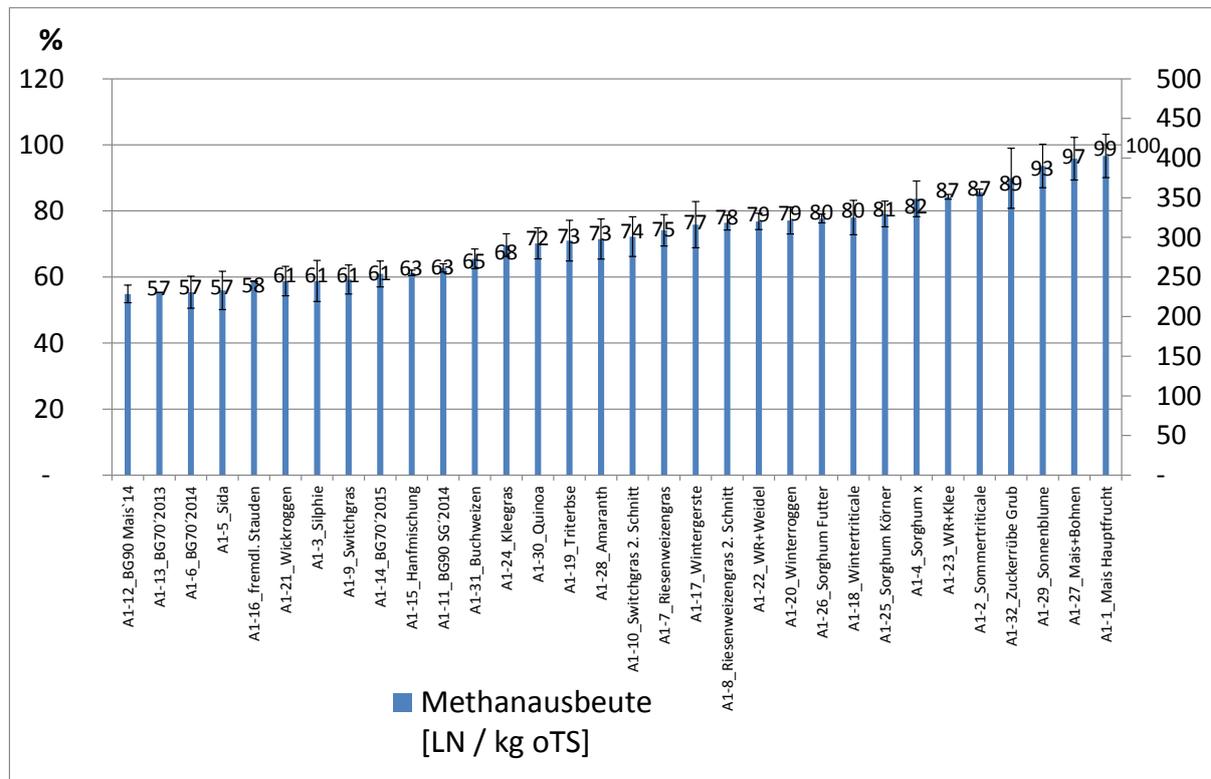


Abbildung 21: Kulturenvergleich: Methanausbeute unterschiedlicher Substrate am Standort Rotthalmünster

Abbildung 22 zeigt den Vergleich des Methanbildungspotentials ausgewählter Kulturen auf unterschiedlichen Standorten. Gereiht nach den Mittelwerte über die Standorte. Es zeigt sich, dass jede Kultur abhängig vom Standort unterschiedlich hohe spezifische Methanausbeuten ausbildet. Dabei können die Unterschiede an einem Standort zwischen 25 - 80 Normliter CH<sub>4</sub> pro kg oTS liegen. Die Reihung der Kulturen anhand des Methanbildungspotentials spiegelt die Ergebnisse aus *Abbildung 21* wider.

Mais (325-375) > Sommertriticale (315-360) > Sorghum (290-315) > Sida (250-330) > WPM (253-270) > Silphie (220-270). Angabe in Normliter CH<sub>4</sub> pro kg oTS.

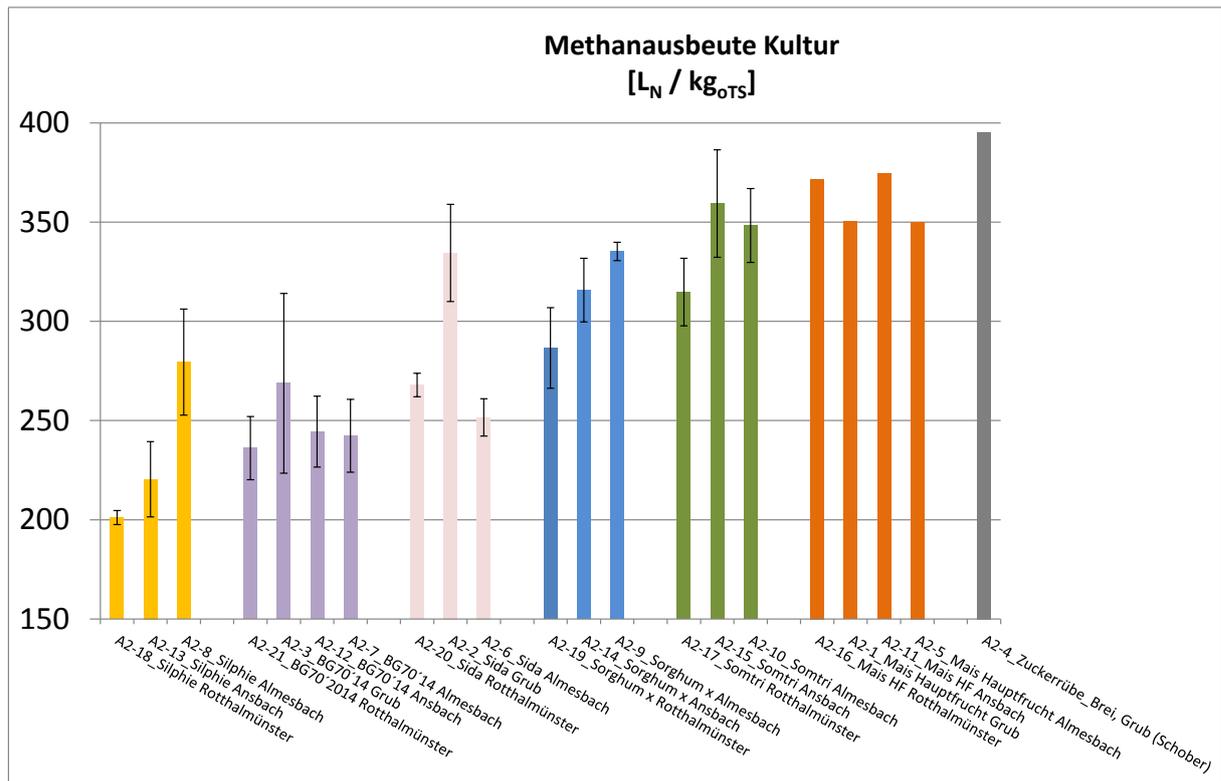


Abbildung 22: spez. Methanausbeute ausgewählter Substrate an unterschiedlichen Standorten

Abbildung 23 greift dieselben Ergebnisse aus *Abbildung 22* noch einmal auf und gibt sie in einer anderen Darstellungsform wider. Die ausgewählten Kulturen werden nach Standorten gruppiert. Die Abbildung zeigt, dass auch auf den einzelnen Standorten die Reihung der Kulturen im Hinblick auf das Methanbildungspotential dieselbe ist wie oben beschrieben. Mit Ausnahme der Zuckerrübe am Standort Grub zeigte Mais die höchste spezifische Methanausbeute. Alle anderen Kulturen erreichten 54 -113 % des Methanbildungspotentials von Mais. Die Durchwachsene Silphie, Sida und die WPM lagen dabei unter 75%. Ausnahme bildete der Standort Almesbach, dort erreichte die durchwachsene Silphie 80% des Methanbildungspotential von Mais. Dieses Ergebnis weist darauf hin, dass bei diesen Substraten mit inhomogenen Beständen ein Optimierungspotential vorhanden ist.

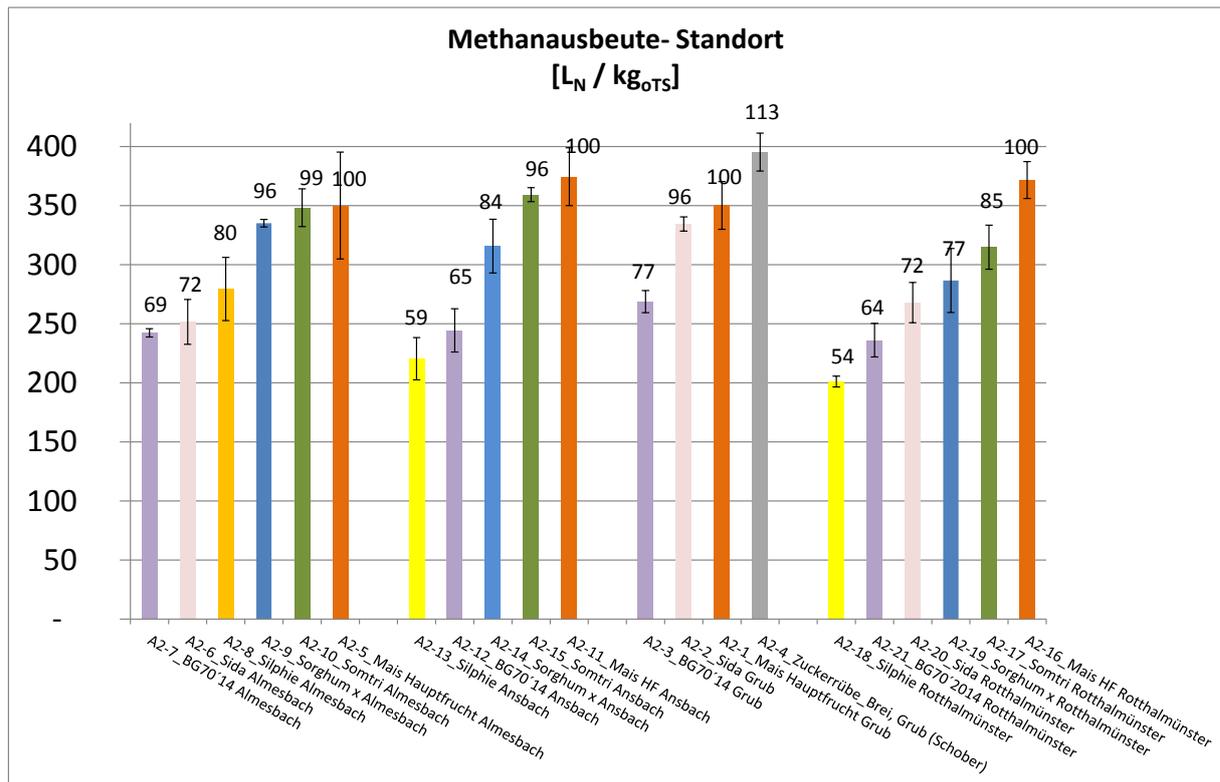


Abbildung 23: spez. Methanausbeute ausgewählter Substrate an unterschiedlichen Standorten

### 3.3.3 Zusammenfassung und Ausblick

Die Ergebnisse zeigen, dass Unterschiede in der Methanausbeute zwischen den verschiedenen Kulturen als Biogassubstrat vorhanden sind. Sie schwankten in einem Bereich von 230 – 403 Normliter CH<sub>4</sub> pro kg oTS, Mais lag dabei immer im oberen Bereich. Lediglich die Zuckerrübe zeigte ein besseres Methanbildungspotential. Im unteren Bereich lagen die Wildpflanzenmischungen und die Durchwachsene Silphie. Teilweise sind nur 57 - 70% des Methanbildungspotentials des Maises möglich. Auf einzelnen Standorten waren höhere prozentuale Anteile gegeben, was auf die Möglichkeit der Optimierung hinweist.

Die Ergebnisse zeigen aber auch, dass das Methanbildungspotential einer Kultur in einem weiten Bereich schwanken kann. Es scheint eine Abhängigkeit vom Standort gegeben zu sein. Unterschiedliche Witterungen können zu unterschiedlicher Abreife führen, was wiederum das Methanbildungspotential beeinflussen kann. Damit ist eine Vorhersage der optimalen Methanausbeuten nicht möglich.

Der Trockenmasseertrag bleibt damit weiterhin die wichtigste Größe zur Einschätzung der Wirtschaftlichkeit einer Biogaskultur.

## **4 Teilprojekt 3: Optimierung der Produktionstechnik von Getreide Ganzpflanzensilage für die Biogasproduktion**

Getreide mit der Nutzung als Ganzpflanzensilage (GPS) gehört längst zu den etablierten Verfahren in der Erzeugung von Rohstoffen für den Biogasprozess. Nach Silomais, der bedingt durch sein hohes Ertragspotential und seine gute Vergärbarkeit die Substratproduktion dominiert, werden am zweit- und dritthäufigsten Gras- und Getreide-Ganzpflanzensilage in der Biogasproduktion eingesetzt. Im Gegensatz zu vielen neuen Kulturen, die durchaus ihre Potentiale haben, jedoch in den verschiedensten Bereichen noch Forschungsbedarf zeigen, ist die Produktionstechnik bei Getreide bekannt und die Mechanisierung auf den Betrieben vorhanden. Auch wenn der Ertrag von Getreide hinter dem von Mais steht, so bietet dessen Anbau viele pflanzenbauliche Vorteile. Die Winterbegrünung bietet Schutz vor Nährstoffauswaschung und Erosion. Eine Gärrestverwertung ist im Gegensatz zum Mais im Herbst und Frühjahr möglich. Zudem lassen sich die verschiedenen Getreidearten vielfältig in die Fruchtfolge integrieren und lockern diese auf.

Im Rahmen dieses Teilprojektes sollte mit Feldversuchen die Effizienz unterschiedlicher Anbausysteme mit Getreide GPS gesteigert werden.

### **4.1 Versuch Untersaaten**

Die Etablierung von Untersaaten in Getreidebeständen ist ein Verfahren, dass in der Praxis insbesondere im ökologischen Anbau verbreitet ist. Aber auch für Biogasbetriebe kann dieses System aufgrund seines effizienten und nachhaltigen Charakters sehr interessant sein und findet in der Praxis auch zunehmend Anklang.

Vorangegangene Versuche haben gezeigt, dass der Roggenanbau mit integrierter Weidelgras-Untersaat sehr gute Erträge liefert. Die Untersaat führt hier zwar zu einer Ertragsreduktion des Getreides (10-20 dt TM/ha), jedoch kann die Weidelgras-Untersaat dieses Ertragsdefizit nicht nur kompensieren sondern sogar in der Summe für wesentliche Mehrerträge sorgen. Abhängig vom Standort kann durch das Weidelgras bei einer 2-4 Schnittnutzung ein Ertrag von 60-120 dt/ha erwirtschaftet werden. Damit sind im Mittel in der Summe 80 % des reinen Maisertrages möglich. Auf Standorten mit einer guten Wasserversorgung können die Erträge bei über 90% verglichen mit den Maiserträgen liegen. Zudem können in schlechten „Maisjahren“ und bei langanhaltenden ungünstigen Witterungsverhältnissen durch Getreide-GPS-Systeme mit Untersaaten sogar gleiche oder höhere Erträge als ein vergleichbares Mais-Anbausystem erzielt werden.

Nicht nur der Ertrag sondern auch vielfältige Anbaumöglichkeiten wie Untersaaten, Zwischen- und Zweitfrüchte sowie viele ökologische Vorteile machen Getreide-GPS-Anbausysteme sehr interessant. So können Ertragsrisiken durch eine Anbaudiversifizierung minimiert werden, was eine effiziente und nachhaltige Substratproduktion ermöglicht. In erster Linie kann durch eine Untersaat und die damit verbundene permanente Bodenbedeckung eine Reduktion von Erosion und Nährstoffauswaschung erfolgen, dies ist vor allem über den Winter sehr wichtig. Im Frühjahr sowie in der gesamten Vegetationsperiode ist die Unkrautunterdrückung durch einen dichten Grasbestand gegeben, daraus resultiert eine Reduktion des Einsatzes von Pflanzenschutzmitteln. Untersaaten haben zudem direkte positive Auswirkungen auf den Boden. Neben dem Aufbau von Humus, welcher wiederum Wasser- und Nährstoffe speichert und auch positiv zur Erosions- und Nährstoffauswaschungsproblematik beiträgt, kann auch das Bodenleben verbessert wer-

den. Zudem kann bei Untersaaten mit Anteilen an Leguminosen Stickstoff im Boden fixiert werden. Der fixierte Stickstoff steht der Folgekultur zur Verfügung, sodass im nächsten Anbaujahr die Stickstoffdüngung reduziert werden kann. Des Weiteren kann durch Untersaaten eine Bodenlockerung erfolgen und sich zugleich die Befahrbarkeit der Flächen verbessern. Letzteres ist gerade im Frühjahr bei nasser und kalter Witterung von Vorteil um Verschlammung und Verdichtungen im Boden zu verhindern.

Im Vergleich zu Blanksaaten von Weidelgras oder anderen Ackerfuttermischungen besteht bei der Untersaat kein Ansaatrisiko durch äußere Faktoren wie etwa der Witterung und der Bestand ist bereits bei der GPS-Ernte der Deckfrucht etabliert. Zudem wird ein weiterer Arbeitsgang eingespart. Versuche haben gezeigt, dass Untersaaten einen Entwicklungsvorsprung von 2-4 Wochen haben und somit ein Mehrertrag eines ganzen Schnittes möglich ist.

Aufgrund der durchaus hohen Erträge und vieler ökologischer Vorteile stellt ein solches Anbausystem durchaus eine Alternative zum Anbau von Mais dar. Es findet seine Berechtigung auch aufgrund einer besseren Ertragsstabilität bei ungünstigen Witterungsverhältnissen. Durch die frühzeitige Ernte des Getreide-GPS kann einer witterungsbedingten Sommertrockenheit ausgewichen werden. Zudem kann durch die Etablierung verschiedener Arten und derer zeitlich versetzter Entwicklungsstadien eine Ertragskompensation bei ungünstigen Witterungsverhältnissen stattfinden. Gerade eine Auflockerung von maisbetonten Fruchtfolgen kann sowohl den Schädlings- als auch Krankheits- und Unkrautdruck maßgebend reduzieren und zur Biodiversität beitragen.

Durch die häufige Schnittnutzung der Untersaaten ergibt sich auch eine gute Möglichkeit der Gärrestverwertung. Weiterhin wird auch politischen und gesetzlichen Neuerungen Rechnung getragen, wie etwa dem EEG 2017, welches eine sukzessive Reduktion des Maisanteils in der Biogasanlage vorsieht. So ist ab dem 01.01.2017 ein Maisanteil von nur noch 50%, bezogen auf die Masse, erlaubt (ausgenommen nicht ausschreibungspflichtige Anlagen).

Im Rahmen dieses Projektes sollte die Effizienz des Verfahrens gesteigert und die Produktionstechnik optimiert werden. Neben der Wahl verschiedener Deckfrüchte (Wintertriticale, Winterroggen, Wintergerste, Sommergerste, Mais) und Saatzeitpunkte (Getreide: Herbst-, Frühjahrs-, Blanksaat; Mais: 3-Blatt-, 5-Blatt-Stadium) wurden auch verschiedene Ackerfuttermischungen (Luzernengras, Klee gras, Weidelgräser) getestet. Die Nutzung erfolgte über 2 Jahre. Die hohe Anzahl der vielen Versuchsfaktoren ließ den Versuch sehr komplex, umfangreich und arbeitsintensiv werden.

Da an der LfL bereits Erfahrungen mit dem Anbausystem vorlagen, war es gewünscht die Versuchsplanung in das Verbundvorhaben „EVA“ zu integrieren. Das FNR (Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe) finanzierte Projekt „EVA“ bearbeitete in einem bundesweiten Forschungsverbund in drei Projektphasen von 2005 bis 2015 den Themenkomplex „Entwicklung und Vergleich von optimierten Anbausystemen für die landwirtschaftliche Produktion von Energiepflanzen unter den verschiedenen Standortbedingungen Deutschlands“. Dies ermöglichte die Bearbeitung erweiterter Fragestellungen. Bundesweit wurde der Versuch in reduzierter Ausführung an 10 weiteren Standorten in 5 Bundesländern umgesetzt. Zusätzlicher Standort in Bayern war der vom TFZ (Technologie und Förderzentrum) betreute Standort Ascha am Rande des Bayerischen Waldes. Auswertungen und Veröffentlichungen wurden teilweise in Zusammenarbeit mit dem TFZ erarbeitet.

#### 4.1.1 Material und Methoden

Der Versuch zu den Ackerfuttermischungen wurde am Standort Grub (Tabelle 11) durchgeführt, welcher in der Münchener Schotterebene liegt.

Tabelle 11: Standortcharakteristika des Versuchsstandortes Grub

Standortmerkmale	Grub
Gemeinde (Landkreis)	Poing (Ebersberg)
Höhenlage	525°m über NN
Ø Jahrestemperatur 1)	8,9 °C
Ø Jahresniederschlag 1)	857 mm
Bodentyp	Braunerde auf Münchener Schotterebene
Bodenart	sandiger Lehm
Ackerzahl	41-56

1) langjährige Jahresmittelwerte (Agrarmeteorologie Bayern)

Der Versuch besteht aus einer einfaktoriellen Blockanlage mit insgesamt 29 Varianten. Abgesehen von der Getreideart als Deckfrucht (Winterroggen, Wintertriticale, Wintergerste, Sommergerste, Mais) wurden verschiedene Ackerfuttermischungen als Untersaaten bzw. Blanksaaten (Luzernegras: FM3K, Klee gras: FM4K, Weidelgrasmischung: Bastard + Welsches Weidelgras) sowie unterschiedliche Einsaatvarianten (Getreide: Frühjahrsaat, Herbstansaat, Blanksaat; Mais: 3-Blatt-Stadium, 5-Blatt-Stadium) geprüft. In folgender Tabelle sind alle Varianten aufgelistet (Tabelle 12). Die einzelnen Ackerfuttermischungen sind standardisiert, geprüft und können als bayerische Qualitätssaatgutmischungen für den Feldfutterbau bereits fertig im Handel erworben werden. Beschreibungen der Zusammensetzungen sind der „Bayerische Qualitätssaatgutmischungen für Grünland und Feldfutterbau 2017“ zu entnehmen.

Tabelle 12: Versuchs - Varianten

Vgl	Variante	Deckfrucht	Saatverfahren
1	Klee gras	keine	Blanksaat
2	Luzernegras	keine	Blanksaat

<b>3</b>	Welsches + Bastardweidelgras	keine	Blanksaat
<b>4</b>	Klee gras	Mais	im 3-Blatt-Stadium
<b>5</b>	Luzernengras	Mais	im 3-Blatt-Stadium
<b>6</b>	Welsches + Bastardweidelgras	Mais	im 3-Blatt-Stadium
<b>7</b>	Klee gras	Mais	im 5-Blatt-Stadium
<b>8</b>	Luzernengras	Mais	im 5-Blatt-Stadium
<b>9</b>	Welsches + Bastardweidelgras	Mais	im 5-Blatt-Stadium
<b>10</b>	-	Mais (Referenz)	-
<b>11</b>	-	Winterroggen (Referenz)	-
<b>12</b>	Klee gras	Winterroggen	Herbstansaat mit Getreide
<b>13</b>	Luzernengras	Winterroggen	Herbstansaat mit Getreide
<b>14</b>	Welsches + Bastardweidelgras	Winterroggen	Herbstansaat mit Getreide
<b>15</b>	Klee gras	Winterroggen	Frühjahrsansaat
<b>16</b>	Luzernengras	Winterroggen	Frühjahrsansaat
<b>17</b>	Welsches + Bastardweidelgras	Winterroggen	Frühjahrsansaat
<b>18</b>	Klee gras	Winterroggen	Blanksaat in GPS
<b>19</b>	Luzernengras	Winterroggen	Blanksaat in GPS
<b>20</b>	Welsches + Bastardweidelgras	Winterroggen	Blanksaat in GPS

21	Luzernengras	Wintertriticale	Herbstansaat mit Getreide
22	Luzernengras	Wintertriticale	Frühjahrsansaat
23	Luzernengras	Wintertriticale	Blanksaat
24	-	Wintertriticale (Referenz)	-
25	Luzernengras	Wintergerste-GPS	Herbstansaat mit Getreide
26	Luzernengras	Wintergerste-GPS	Frühjahrsansaat
27	-	Wintergerste (Referenz)	-
28	Luzernengras	Sommergerste-GPS	Frühjahrsansaat
29	-	Sommergerste (Referenz)	-

Der Versuch wurde in drei Rotationen unterteilt um Jahreseffekte auszuschließen. Die erste Rotation wurde 2012 angelegt und lief bis 2014. Die zweite Rotation lief von 2013 bis 2015, die dritte von 2014 bis 2016. Die Untersaaten wurden innerhalb der Rotationen jeweils zu den bereits genannten verschiedenen Zeitpunkten gesät. Die Aussaat und Beernung in den einzelnen Rotationen wurde standort- und witterungs-angepasst vorgenommen. Eine Rotation umfasst dabei die Ansaat der Deckfrucht (Wintergetreide im Herbst; Sommergetreide, Mais im Frühjahr), die Ansaat der Ackerfuttermischungen als Untersaaten zu den jeweiligen Terminen bzw. bei Wintergetreide zusätzlich auch als Blanksaat nach der Getreide-GPS-Ernte sowie das komplette darauffolgende Jahr mit der Nutzung des etablierten Ackerfutterbestands.

Das Wintergetreide als Deckfrucht wurde im Herbst gesät und anschließend mit einer Cambridgewalze angedrückt. Die Untersaaten zum Herbst wurden bei einer weiteren Überfahrt über das bereits gesäte Getreide gelegt. Zur Frühjahrs-Untersaat in das Wintergetreide wurde der Boden vorher mit dem Striegel aufgeraut. Das Sommergetreide sowie der Mais wurden im Frühjahr gesät. Vor der Untersaat wurde ebenfalls nochmals gestriegelt. Die Ernte wurde nur bei ausreichend vorhandener Biomasse auf dem Feld durchgeführt, einige Ernten der Ackerfuttermischungen sind dabei eher als Schröpfungsschnitte zu werten.

Die Düngung erfolgte ortsüblich optimal und Pflanzenschutzmittel wurden nach guter fachlicher Praxis eingesetzt. Die Wintergetreide-Bestände wurden in zwei Gaben mit ASS im zeitigen Frühjahr und zu Beginn des Schossens im Mai gedüngt. Nach Auflauf des Ge-

treides im Herbst wurde noch eine Herbizidbehandlung, allerdings nur in den Parzellen ohne Untersaaten, durchgeführt. In den Parzellen mit Untersaaten wurde die Saatmenge der Deckfrüchte auf 2/3 reduziert und es erfolgte keine Herbizidanwendung. Während des Vegetationszeitraumes wurden mehrere Bonituren durchgeführt. Unter anderem eine Erfassung von Mängeln nach Auflauf sowie vor und nach Winter, von Krankheiten, Lager, Wuchshöhe und Bestandsdichte sowie Deckungsgrad und Ertraganteile der einzelnen Komponenten.

Alle Versuchsjahre zeichneten sich durch ein wechselhaftes Winterwetter mit Minusgraden, Frost und Schnee aber auch zweistelligen Plusgraden und Sonnenschein aus. Auch die Witterungsverhältnisse im Frühjahr und Sommer waren sehr wechselhaft. Unregelmäßige Niederschläge mit Starkregenereignissen sowie langanhaltende Trockenphasen machten es schwer, Bestands Pflegemaßnahmen zeitgerecht durchzuführen und führten in einigen Fällen zu Schäden an den Pflanzen sowie Trockenstress und Notreife.

#### **4.1.2 Ergebnisse und Diskussion**

Folgende Ergebnisse sind Mittelwerte der Erträge aller drei Rotationen. Es wird jeweils das Anbaujahr sowie das Folgejahr sowie teilweise beide Jahre summiert in eigenen Abbildungen dargestellt. Die Erträge der Deckfrucht sowie aller einzelnen Schnitte der Untersaaten werden summiert in einem Balkendiagramm aufgezeigt. Die Zusammensetzung der Aufwüchse wird nach Ertragsanteile (in %) dargestellt. In diesen Graphiken sind alle Aufwüchse der Ackerfuttermischungen des Anbaujahres sowie des Folgejahres von links nach rechts angezeigt, jedem einzelnen Aufwuchs wird ein Balken mit der dazugehörigen Zusammensetzung zugeordnet. Die Ackerfuttermischung Welsches Weidelgras mit Bastard Weidelgras wies nur bei einer Frühjahrsansaat sowie im Mais erhöhte Unkrautanteile auf, welche in Extremfällen bis zu 20% ausmachten. Für die später folgenden Betrachtungen der Ertragsanteile wurden die Grasmischungen deshalb nicht dargestellt.

#### **Saatzeitpunkt im Getreide**

Der Saatzeitpunkt ist ein entscheidender Faktor für den Ertrag sowie die Verunkrautung. Im Vergleich der drei Saatzeitpunkte der Untersaaten im Anbausystem Roggen waren die Gesamterträge bei einer Etablierung im Herbst mit 150-170 dt TM/ha am höchsten (*Abbildung 24*). Vor allem durch die Mischung aus Welschem Weidelgras und Bastard Weidelgras (WW + BW) konnten mit über 170 dt TM/ha sehr gute Gesamterträge erzielt werden.

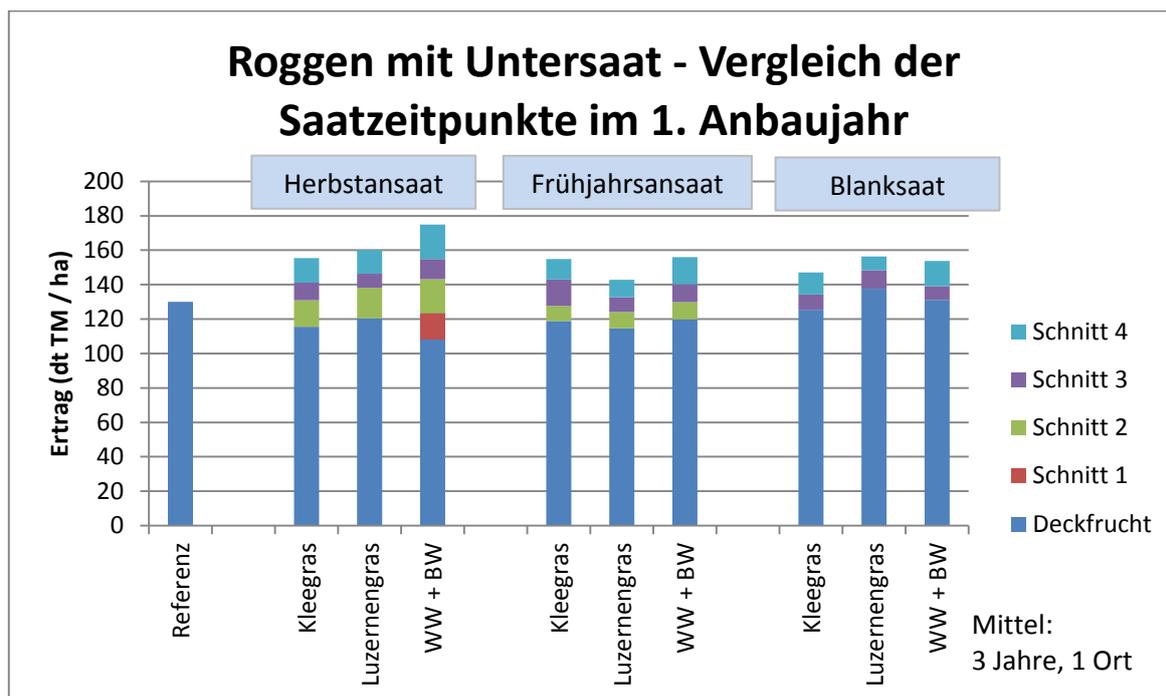


Abbildung 24: Erträge im Anbausystem Roggen im Vergleich der einzelnen Saatzeitpunkte im 1. Anbaujahr

Im Folgejahr lieferten die als Blanksaat nach der GPS-Ernte gesäten Ackerfuttermischungen die höchsten Erträge mit über 230 dt TM/ha, gefolgt von den Beständen der Frühljahrsansaat und der Herbstansaat (Abbildung 25). Bei der Herbstansaat sowie Blanksaat lagen die Weidelgras- und Luzernengrasmischung im Ertrag vor Klee gras.

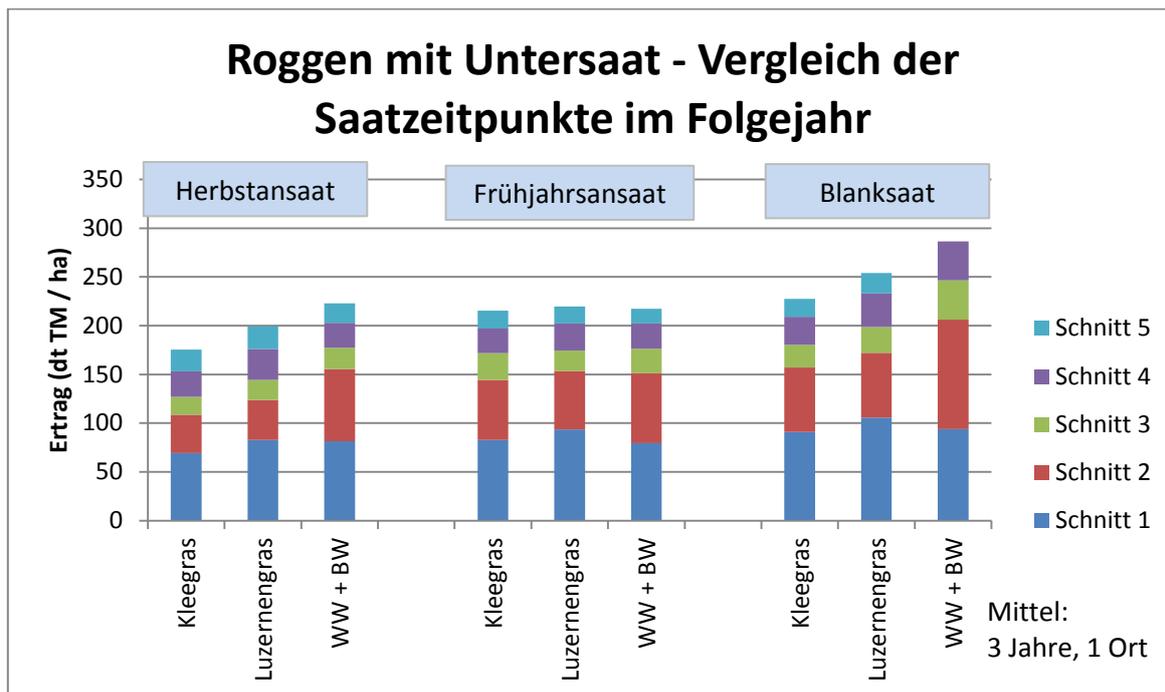


Abbildung 25: Erträge im Anbausystem Roggen im Vergleich der einzelnen Saatzeitpunkte im Folgejahr

Im zweijährigen Vergleich lieferte eine Blanksaat nach Getreide-GPS mit über 370 dt TM/ha die höchsten Gesamtflächenerträge (Abbildung 26). Zur Herbstansaat und Blanksaat brachte die Weidelgrasmischung (WW + BW) am meisten Ertrag, gefolgt vom Luzernengras. Bei der Frühjahrsansaat lagen alle Mischungen ertraglich nahezu gleichauf. Nach dem Gesamtertrag zu urteilen war die ertragreichste Variante eine Weidelgras-Blanksaat nach Getreide-GPS mit circa 440 dt TM/ha. Auch die Herbstansaat mit Weidelgräsern lieferte gute Ergebnisse.

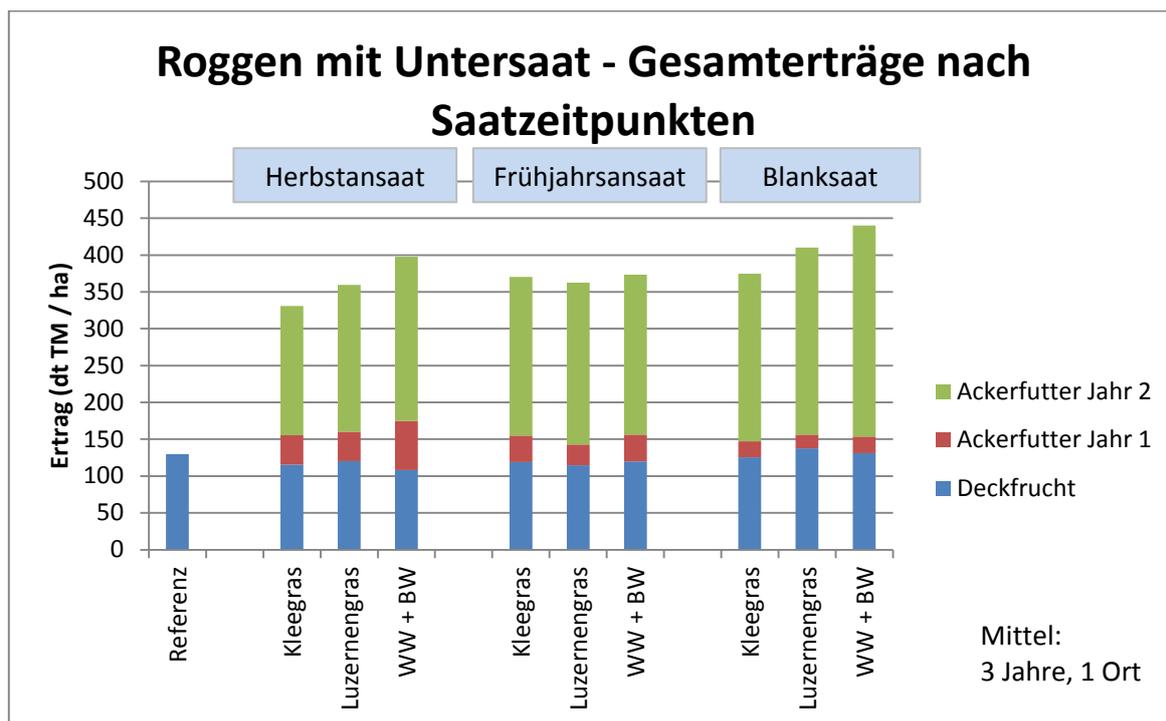


Abbildung 26: Gesamt-Erträge im Anbausystem Roggen im Vergleich der einzelnen Saatzeitpunkte

Ursachen für die höheren Erträge der Herbstansaat im ersten Jahr sind in der besseren Etablierung zu suchen. Die Betrachtung der Zusammensetzungen der Ackerfuttermischungen können die Umstände näher erklären.

Während bei dem im Herbst gesäte Bestände der Ackerfuttermischungen, mit Ausnahme des letzten Schnittes, der Grasanteil mit bis zu über 70% dominierte, war der Leguminosen-Anteil bei einer Frühljahrs- und Blanksaat bedeutend höher (Abbildung 27). Die Unkrautunterdrückung durch die sich schnell etablierenden Gräser war vor allem in den Herbstansaat sehr gut, während es bei einer Frühljahrsansaat zu einer schnelleren Verunkrautung mit zum Teil über 20% kam. Die starke Verunkrautung führte zu einer schlechteren Etablierung der Untersaat, was sich in geringeren Erträgen niederschlug. Für die Praxis bedeutet dies, dass Frühljahrsuntersaaten rechtzeitig ausgebracht werden müssen, um die Konkurrenz um Wasser und Nährstoffe mit den Unkräutern gering zu halten. Es gilt zu prüfen, ob Herbizidbehandlungen mögliche und nötig sind. Standorte mit einem hohen Unkrautpotential sind zu meiden.

Die Zusammensetzung der Ackerfuttermischungen änderte sich im Laufe der Vegetationszeit. Dabei gingen die Verunkrautung und der Gräseranteil zugunsten des Leguminosenanteil zurück. Auffallend ist, dass zum jeweils letzten Schnittermin des Folgejahres der Anteil der Gräser sehr gering war.

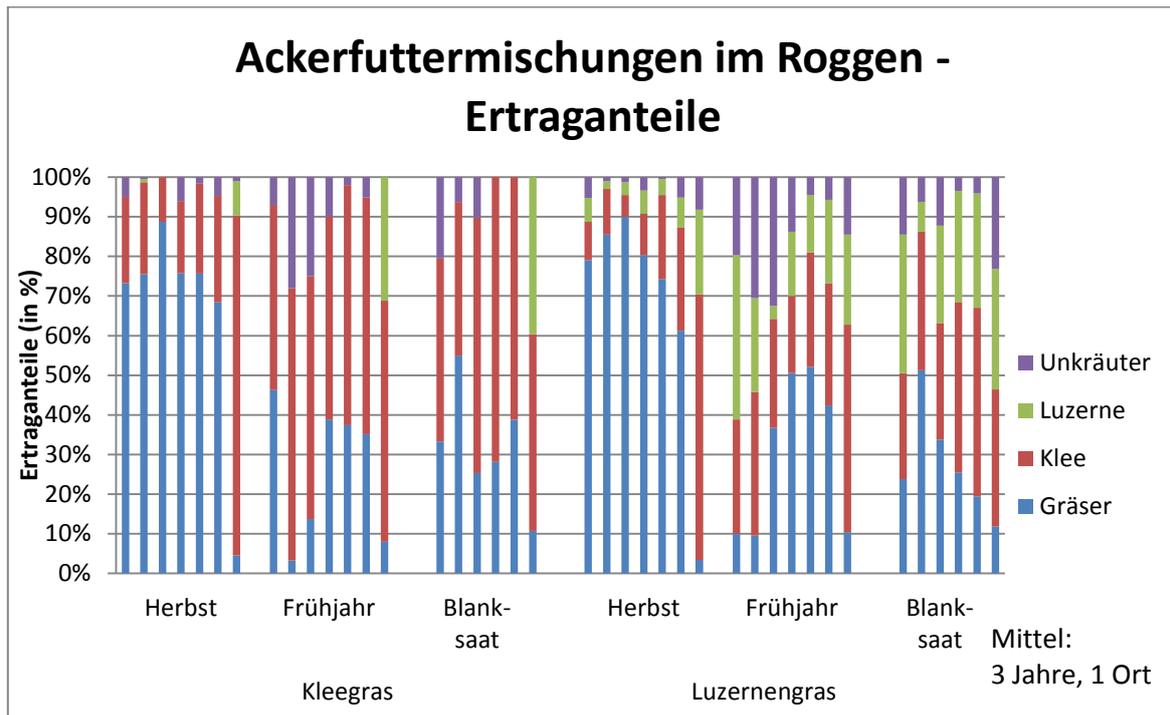


Abbildung 27: Ertragsanteile der Ackerfuttermischungen im Anbausystem Roggen nach Saatzeitpunkt

Diese Bestandsentwicklung zeigte sich ähnlich in allen Ackerfuttermischungen und unabhängig von der Deckfrucht.

Wie auch beim Roggen waren die Gras-Anteile zur Herbstansaat in Wintertriticale und Wintergerste bedeutend höher als bei der Frühjahrs bzw. Blanksaat (Abbildung 28). Zudem war zu erkennen, dass im letzten Schnitt der Herbstansaat von Luzernengras der Anteil an Leguminosen sehr dominant war. Die Unkraut-Anteile waren bei der Frühjahrsansaat nach Triticale und Gerste bedeutend höher als bei der Herbstansaat. Im zweiten und dritten Schnitt bei Wintertriticale lagen die Unkraut-Anteile bei circa 70%. Die Luzernengras-Untersaat zur Sommergerste wies sehr hohe Gras-Anteile auf, im letzten Schnitt war der Leguminosen-Anteil dominant. Die Verunkrautung war hier sehr gering.

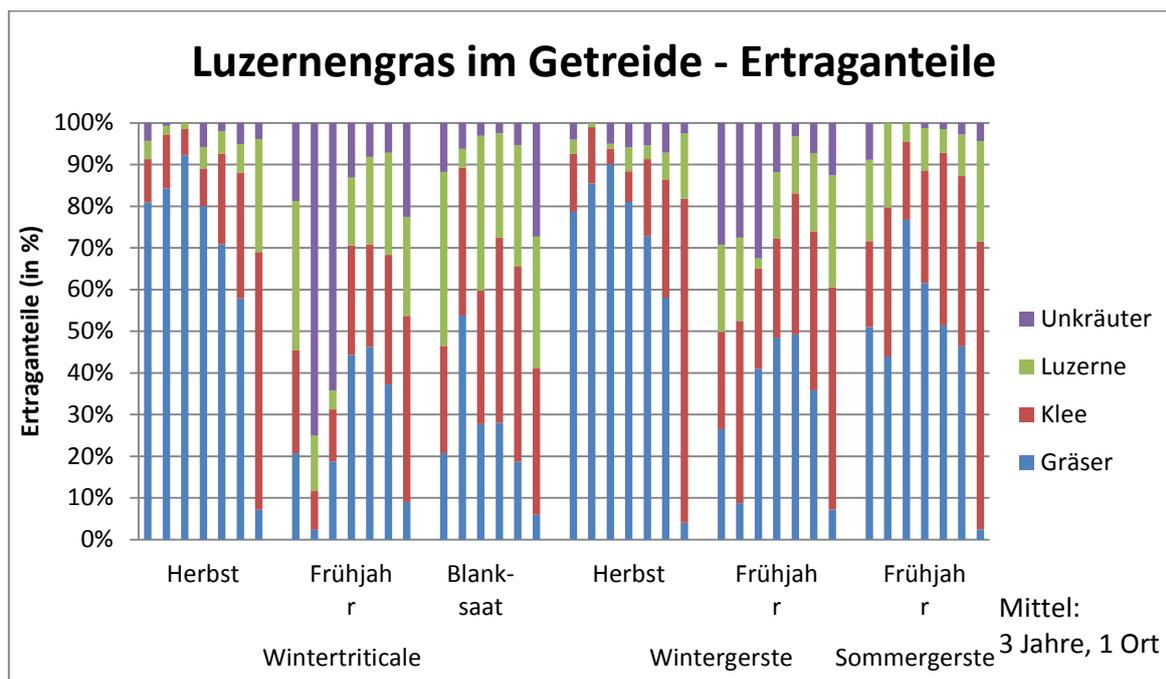


Abbildung 28: Ertragsanteile von Luzernengras in den Anbausystemen Wintertriticale, Winter- und Sommergerste nach Saatzeitpunkt

Bei der Betrachtung des Gesamtsystems bestätigte auch dieser Versuch die vorangegangenen Versuchsergebnisse. Sowohl bei Winterroggen als auch bei Wintertriticale und Wintergerste konnte durch eine etablierte Ackerfuttermischung im ersten Anbaujahr ein höherer Gesamtflächenertrag erzielt werden, als durch die jeweilige Reinkultur (Abbildung 24, Abbildung 32). Durch eine Etablierung einer Ackerfuttermischung sinkt zwar der Getreideertrag, jedoch kann dieser durch die Ackerfuttermischung gut kompensiert werden. Vor allem eine Herbstansaat sowie Frühjahrsansaat, ließen die Getreideerträge durch die gegenseitige Konkurrenzwirkung sinken. Ein interessanter Aspekt hierbei ist jedoch die Unkrautunterdrückung durch die Ackerfuttermischung, da diese eine bessere Bodenbedeckung als das Getreide aufweist (Abbildung 27, Abbildung 31). Die höchsten Gesamterträge können im ersten Jahr durch eine Herbstansaat erreicht werden, gefolgt von der Frühjahrsansaat und der Blanksaat.

Die Etablierung der Ackerfuttermischung als Blanksaat nach der Roggen-GPS Ernte wird nicht durch Konkurrenz, sondern meist durch Wasserknappheit sowie eine dadurch resultierende schlechtere Nährstoffaufnahme beeinflusst, was zu einer schlechten Etablierung und damit verbundenen Ertragsminderung führen kann. Die zurückbleibenden Getreidestoppeln sowie das Mulchen vor der Aussaat können im Boden zu Wasserverlusten durch Verdunstung führen, welche vor allem bei einer hohen Temperatur, Strahlung sowie auftretendem Wind sehr hoch sein können. Ein weiterer Faktor, welcher für die niedrigeren Erträge verantwortlich sein kann, ist die kürzere Aufwuchszeit aufgrund der späteren Aussaat.

Grund für eine starke Verunkrautung bei einer Frühjahrs-Untersaat im Wintergetreide kann die erst späte Bodenbedeckung durch die Untersaat sein, sodass sich im zeitigen Frühjahr bereits Unkräuter im Bestand etablieren konnten. Aufgrund kurzstrohiger Sorten

und dem Einsatz von Wachstumsreglern ist die Unkrautkonkurrenz von Getreide eher mäßig. Da in den Untersaat-Varianten keine Herbizide verwendet wurden, konnten bereits etablierte Unkräuter im Bestand nicht beseitigt werden. In der praktischen Umsetzung ist somit ein möglichst unkrautfreier Bestand erforderlich. Durch eine vorherige Herbizidmaßnahme, den Anbau auf Flächen mit geringem Unkrautdruck sowie die zeitige Etablierung der Untersaat im Frühjahr kann die Verunkrautung minimiert werden

Bei der Sommergerste konnte durch eine Frühjahrsuntersaat ein Mehrertrag im ersten Jahr im Vergleich zur Reinsaat erzielt werden, wie es auch bei den Wintergetreiden der Fall war (*Abbildung 32*).

Die Luzernengras-Untersaat zur Sommergerste wies eine sehr geringe Verunkrautung auf, da aufgrund des Anbaus einer Sommerung im Frühjahr eine Bodenbearbeitung und Unkrautbekämpfung durchgeführt werden konnte.

Im zweiten Nutzungsjahr wurden die höchsten Gesamterträge durch die, als Blanksaat nach Getreide etablierten, Ackerfuttermischungen erreicht (*Abbildung 25, Abbildung 32*). Die höheren Erträge durch eine Blanksaat können auf eine bessere Nährstoffverfügbarkeit im Boden zurückzuführen sein, ausgelöst durch geringere Nährstoffabfuhr mit nur 2 Schnitten im Vorjahr und weniger Konkurrenz durch Unkräuter. Das Mulchen vor der Einsaat kann eine oberflächlich erhöhte Mineralisation im Boden, sowie eine mechanische Zerstörung bereits aufgelaufener Unkräuter bewirken.

### Empfehlung für die Praxis

Die Wahl des Saatzeitpunktes zum Getreide ist somit abhängig von der angestrebten Nutzungsdauer. Soll die Ackerfuttermischung nur einjährig genutzt werden empfiehlt sich eine Herbstansaat mit dem Getreide (*Abbildung 26, Abbildung 32*). Die gemeinsame Ansaat kann für eine sichere Etablierung der Ackerfuttermischung im Bestand sorgen. Zudem bietet eine Ackerfuttermischung als Untersaat, aufgrund einer guten Bodenbedeckung die Möglichkeit zur Unkrautunterdrückung. Dies ist ein wesentlicher und wichtiger Aspekt, da auf die Anwendung von Herbiziden nach der Etablierung der Untersaaten, aufgrund der Nichtverträglichkeit, verzichtet werden muss. Vor der jeweiligen Etablierung im Herbst, Frühjahr oder nach der Getreide-GPS Ernte kann jedoch eine Anwendung durchgeführt werden. Wenn die Ackerfuttermischung zweijährig genutzt werden soll empfiehlt sich eine Blanksaat nach der Getreide-GPS Ernte. Trotz eines höheren Etablierungsrisikos der Blanksaat, werden insbesondere im Folgejahr gute Erträge generiert.

### **Saatzeitpunkt im Mais**

Im Mais wirkte sich die Nutzung einer Untersaat ertragsmindernd aus. Sowohl die Untersaat im 3-Blatt-Stadium als auch im 5-Blatt-Stadium erbrachte zusammen mit dem Mais keine höheren Erträge als die Reinkultur (*Abbildung 29*). Lediglich die Untersaat im 3-Blatt-Stadium mit der Weidelgrasmischung (WW + BW) konnte ein gleiches Ertragsniveau im Vergleich zur Reinsaat erzielen, alle anderen Varianten lagen mit circa bis zu 10 dt TM/ha deutlich darunter.

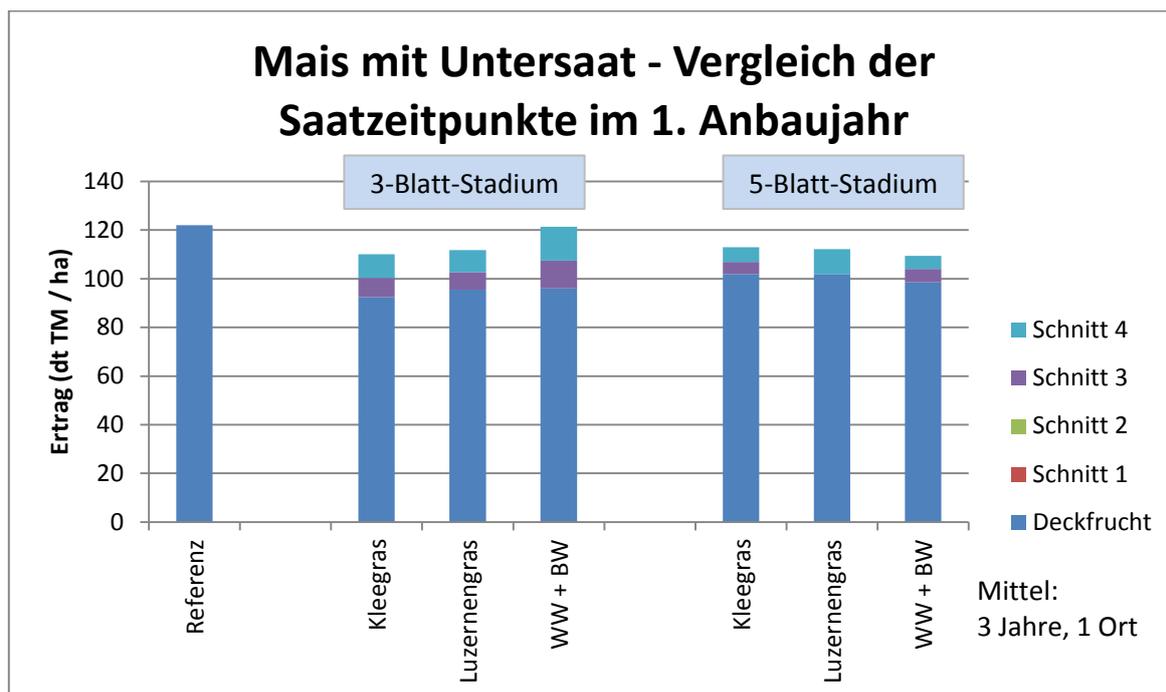


Abbildung 29: Erträge im Anbausystem Mais im Vergleich der einzelnen Saatzeitpunkte im 1. Anbaujahr

Im Folgejahr lieferten die Ackerfüttermischungen gute Erträge (Abbildung 30). Während zum Saattermin im 3-Blatt-Stadium die Weidelgräser am meisten Biomasse bildeten (circa 240 dt TM/ha), war es im 5-Blatt-Stadium das Luzernengras (über 250 dt TM/ha).

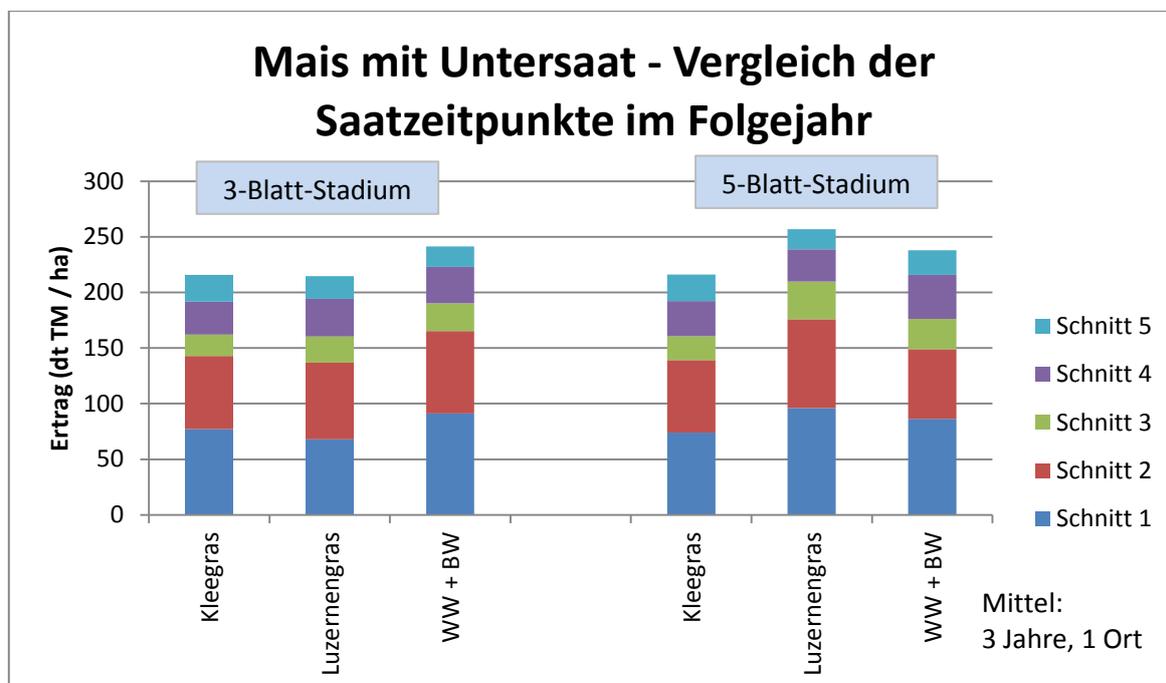


Abbildung 30: Erträge im Anbausystem Mais im Vergleich der einzelnen Saatzeitpunkte im Folgejahr

Der Gras-Anteil in der Klee-Gras-Mischung nahm in der Tendenz sowohl bei der Aussaat im 3- als auch 5-Blatt-Stadium von Schnitt zu Schnitt ab, während der Rotklee-Anteil zunahm (Abbildung 31). Die Anteile der schnellwüchsigen Gräser wurden somit zunehmende vom Rotklee eingenommen. Gerade in den ersten Aufwüchsen war die Verunkrautung bei einer Etablierung im 5-Blatt-Stadium höher, generell nahm hier die Verunkrautung aber von Schnitt zu Schnitt ab.

Auch beim Luzernengras nahmen die Gras-Anteile bei Aussaat im 3-Blatt-Stadium in der Tendenz von Schnitt zu Schnitt ab und wurden durch Leguminosen ersetzt (Abbildung 31). Bei einer Aussaat im 5-Blatt-Stadium war in den ersten Schnitten nur Gras ohne Leguminosen vorhanden. Im letzten Schnitt dominierte der Klee. Auch im Luzernengras-Bestand war eine Verunkrautung vorzufinden.

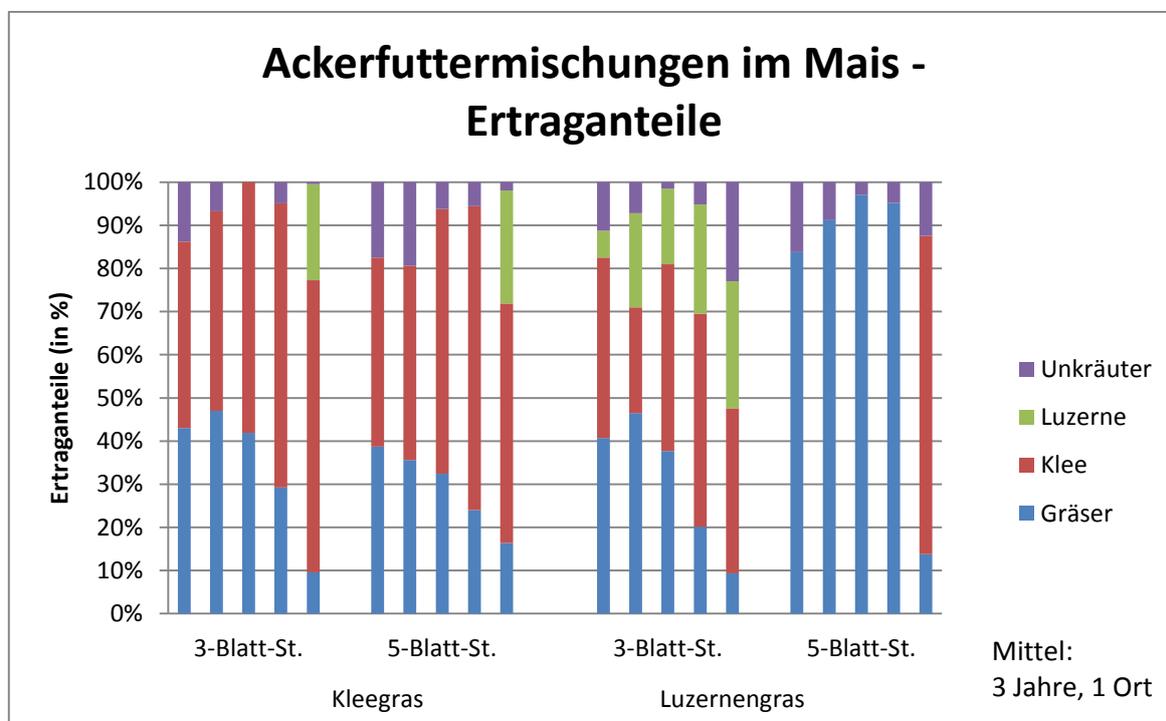


Abbildung 31: Ertraganteile der Ackerfuttermischungen im Anbausystem Mais nach Saatzeitpunkt

Im Mais wirkte sich die Etablierung der Untersaaten negativ auf den Ertrag aus, sodass im ersten Anbaujahr die Maiserträge mit Untersaaten unter dem Reinertrag vom Mais lagen (Abbildung 29). Der Standort Grub ist jedoch ein trockener Standort, sodass bei etablierten Untersaaten im Mais rasche eine Wasserknappheit und Konkurrenzwirkung entsteht. Durch die langsame Jugendentwicklung und den späten Reihenschluss ist der Mais sehr konkurrenzschwach, was somit zu einer Ertragsminderung führt.

Jedoch sind Untersaaten im Mais nicht zwangsweise als ungeeignet zu bewerten. Bei einem ausreichenden Angebot an pflanzenverfügbarem Wasser im Boden können solche Anbausysteme gute Gesamterträge liefern und dabei gleichzeitig für eine Verringerung

von Erosion und Nährstoffauswaschung sorgen. Der Mais kann dabei, gerade unter humiden und nährstoffreichen Bedingungen, ein guter Anbaupartner für Untersaaten sein, da dieser auch die Entwicklung der Untersaaten sowie gute Lichtverhältnisse im frühen Bestand, aufgrund seines weiten Reihenabstandes und der langsamen Jugendentwicklung, zulässt. Für die Praxis wird angegeben, dass für ein solches Anbausystem ungefähr 900 mm Jahresniederschlag oder mehr nötig sind (Stadler *et al.*).

### Empfehlungen für die Praxis

Die geringen Erträge im Anbausystem Mais mit Untersaat sind sicherlich auf die trockenen Standortverhältnisse am Standort Grub zurückzuführen, sodass ein solches Anbausystem im Allgemeinen nicht als ungeeignet bewertet werden darf.

Da Untersaaten im Mais „greeningfähig“ sind, werden sie von der Praxis stark nachgefragt. Unter Standortbedingungen mit ausreichender Wasserverfügbarkeit (>900mm Jahresniederschlag) kann das Anbausystem ohne Ertragsverluste umgesetzt werden.

### **Deckfrüchte**

Der Vergleich der Getreidearten als Deckfrüchte bestätigt ebenfalls die Ergebnisse vorangegangener Versuche. Mit der Länge der Standzeit nimmt auch das Ertragspotential zu. So präsentierte sich auch in diesem Versuch Wintertriticale am ertragsstärksten, Aufgrund der längeren Standzeit werden hier sehr gute Erträge generiert (*Abbildung 32*). Die Erträge von Wintergerste dagegen sind aufgrund der geringeren Standzeit niedriger. Im Anbau wird diese frühräumende Kultur vor allem dann eingesetzt, um für die Folgefrucht eine sehr lange Vegetationsperiode zur Verfügung zu stellen. Die Erträge von Sommergerste fallen am niedrigsten aus, was aber generell der Fall bei Sommerungen aufgrund der verhältnismäßig kürzeren Vegetationsperiode ist.

Es stellte sich die Frage mit welchem Potential die bereits etablierten Ackerfuttermischungen die unterschiedliche verbleibende Vegetationszeit ertraglich ausschöpfen können.

Nach den frühräumenden Arten Sommer- und Wintergerste konnte in einem Jahr unter günstigen Voraussetzungen ein sehr ertragreicher erster Schnitt von 40 bzw. 50 dt/ha realisiert werden. Dies war aber nicht in allen Jahren der Fall. Auch die 2-4 folgenden Schnitte fielen im Ertrag oft sehr gering aus. Gerade die in dieser Zeit immer wieder vorkommende Sommertrockenheit hemmte das Wachstum, so dass der Aufwuchs zum Teil so marginal war, dass nur ein Schröpfungsschnitt erfolgte. Somit konnte im Vergleich zu den Deckfrüchten Wintertriticale und Winterroggen im Durchschnitt über die Jahre keine höheren Gesamterträge erzielt werden (*Abbildung 32*).

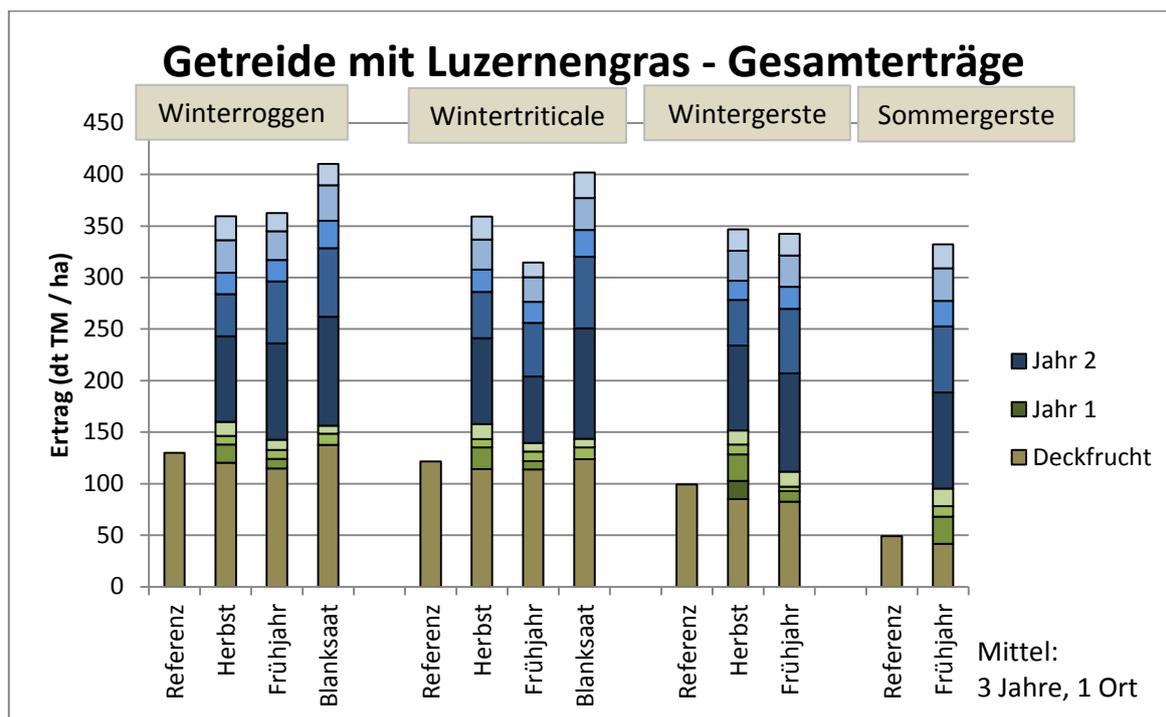


Abbildung 32: Erträge im Getreide mit Luzernengras im Vergleich der einzelnen Saatzeitpunkte

Während die Verunkrautung im Wintergetreide mit etablierter Untersaat vor allem bei der Frühjahrsuntersaat sehr hoch ist, findet sich bei der Sommergerste kaum Unkraut im Bestand (Abbildung 27, Abbildung 28). Von Vorteil ist hier die Möglichkeit der intensiven mechanischen und chemischen Unkrautbekämpfung im Frühjahr vor der Aussaat, gerade weil nach der Etablierung der Ackerfuttermischung eine chemische Unkrautbekämpfung schwierig beziehungsweise aufgrund der fehlenden Verträglichkeit der Ackerfuttermischungen nicht möglich ist. Für gute Erträge ist es wichtig die Deckfrüchte lange stehen zu lassen um einen optimalen Ertrag zu erzielen, die Untersaaten sorgen nur für einen zusätzlichen Ertrag und bieten nebenbei viele ökologische Vorteile.

### Empfehlungen für die Praxis

Bei der Wahl der Deckfrüchte sind die Wintergetreidearten Triticale und Roggen empfehlenswert. Diese Arten generieren den höchsten GPS – Ertrag, da sie die Winterfeuchte gut ausnutzen können. Wohingegen die Ertragsleistung der Ackerfuttermischung stark witterungsabhängig ist. Auch wenn der Ackerfuttermischung eine längere Vegetationszeit zu Verfügung steht, ist diese Zeit nicht ausreichend, vorangegangenen Ertragsreduktion früh geernteter Arten wie der Gerste auszugleichen. Zudem erhöht eine längere Nutzung der Vegetationszeit durch die Ackerfuttermischung die Schnitthäufigkeit, was nicht nur arbeitsintensiv ist, sondern auch einen ökonomischen Mehraufwand erfordert.

### Ackerfuttermischungen

Bei den Ackerfuttermischungen erwies sich die Weidelgrasmischung am ertragsstärksten (Abbildung 24, Abbildung 25, Abbildung 29, Abbildung 30). Vor allem bei kühler und

feuchter Witterung können grasreiche oder ausschließlich gräserhaltige Ackerfuttermischungen durch ein relativ schnelles Wachstum hohe Erträge erzielen. Die höheren Anteile an Gräsern, ganz besonders Weidelgräsern, und das schnellere Wachstum sowie die optimalere N-Ausnutzung im Vergleich zu den Leguminosen könnten der Grund hierfür sein. So wurde zum Beispiel im mehrjährigen Mittel der Roggenertrag um circa 22 dt TM/ha durch eine etablierte Weidelgras Untersaat reduziert, jedoch der gesamte Flächen-ertrag stark erhöht. Das schnelle und hohe Wachstum der Weidelgräser kann auch zur effektiven Unterdrückung von Unkräutern beitragen.

Ackerfuttermischungen mit Anteilen an Leguminosen sind konkurrenzschwächer, sodass in diesem Beispiel der Roggenertrag weniger gemindert wird. Bei Trockenheit beziehungsweise auf trockeneren Standorten könnten jedoch leguminosenreiche Ackerfuttermischungen aufgrund geringerer Ertragsinbrüche bei Trockenheit von Vorteil sein. Im Allgemeinen liefern die ersten beiden Schnitte im Folgejahr die höchsten Erträge. Das Ertragsniveau der Ackerfuttermischungen im Folgejahr ist nach allen Deckfrüchten ähnlich und bewegt sich durchschnittlich zwischen 180 und 250 dt TM/ha.

Auch wenn die Erträge der im Mais etablierten Ackerfuttermischungen im ersten Jahr sehr gering waren, haben über Winter stehende Bewüchse auf dem Feld einen positiven Effekt hinsichtlich der Reduktion von Erosion und Nährstoffauswaschung. Die Nährstoffe können auf der Fläche gehalten werden und kommen den Aufwüchsen im Frühjahr wieder zu gute. Die Verunkrautung der Ackerfutterbestände als Untersaat im Mais ist auch durch die Tatsache der späten Aussaat im Jahr gegeben. Um diese Verunkrautung zu minimieren ist vor allem eine saubere Saatbettbereitung und vorherige mechanische oder chemische Unkrautbekämpfung unerlässlich.

#### Empfehlungen für die Praxis

Die Wahl der Ackerfuttermischung als Untersaat ist stark vom Standort abhängig. Weidelgräser etablieren sich schnell, haben eine gute Unkrautunterdrückung und liefern auf Standorten mit sicherer Wasserverfügbarkeit gute Erträge. Auf trockenen Standorten sowie bei lang anhaltenden hohen Temperaturen mit wenig Niederschlag kann bei Gräsern mit Ertragsminderungen gerechnet werden, während Leguminosen hier im Vergleich besser abschneiden.

#### **4.1.3 Zusammenfassung und Schlussfolgerungen**

Auf guten Standorten mit ausreichender Wasserversorgung können Ackerfuttermischungen sowohl als Untersaaten im Getreide und Mais, als auch Blanksaaten nach der Getreide-GPS Ernte zu höheren Gesamtflächenerträgen führen. Das Ertragsniveau der Ackerfuttermischungen im zweiten Anbaujahr ist nach allen Hauptfrüchten ähnlich und bewegt sich durchschnittlich zwischen 180 und 250 dt TM/ha. Vor allem die ersten beiden Schnitte sind ertragstechnisch am bedeutendsten.

Die Mischung aus Welschem und Bastard Weidelgras (WW + BW) lieferte meist die höchsten Erträge. Während vor allem Ackerfuttermischungen zur Herbstansaat im Wintergetreide im ersten Jahr die höchsten Erträge lieferten, waren es im Folgejahr die nach dem Getreide-GPS gesäten Blanksaaten. Die Erträge der Deckfrüchte wurden vor allem durch die Herbstansaat reduziert, da diese in der ganzen Vegetationsperiode in Konkurrenz um Wasser, Licht und Nährstoffe standen. Durch die Blanksaaten nach der GPS-Ernte entstand keine Konkurrenzsituation und beide Kulturen konnten ihr volles Ertragspotential ausnutzen, so ist auch über die 2 Jahre hier der Gesamtflächenertrag im Winter-

getreide am höchsten. Auch wenn die Erträge im Anbaujahr sehr gering sind haben über Winter stehende Bewüchse auf dem Feld einen positive Effekt hinsichtlich der Reduktion von Erosion und Nährstoffauswaschung. Die Nährstoffe können auf der Fläche gehalten werden und kommen den Aufwüchsen im Frühjahr wieder zu gute.

Vor allem die Frühjahrs-Untersaat im Wintergetreide war immer stark verunkrautet. Grund hierfür könnte die in der Vegetationsperiode erst späte Bodenbedeckung der Untersaat sein, sodass sich im zeitigen Frühjahr bereits Unkräuter im Bestand etablieren konnten. Aufgrund kurzstrohiger Sorten und dem Einsatz von Wachstumsreglern ist die Unkrautkonkurrenz von Getreide eher mäßig. Da in den Untersaat-Varianten keine Herbizide verwendet wurden, konnten bereits etablierte Unkräuter im Bestand nicht beseitigt werden. Die Verunkrautung in der Sommergerste war sehr gering, da aufgrund des Anbaus einer Sommerung im Frühjahr eine Bodenbearbeitung und Unkrautbekämpfung durchgeführt werden konnte.

Praxisaussagen zur Etablierung von Ackerfuttermischungen in Getreide:

- Untersaaten reduzieren den Getreide-GPS Ertrag, jedoch kann der Gesamtflächen-ertrag gesteigert werden. Dabei ist die Steigerung des Gesamtflächenertrages abhängig von der Witterung in der Vegetationszeit.
- Untersaaten, die im Herbst mit dem Getreide ausgebracht werden, tragen zur Unkrautunterdrückung im Bestand bei. Dies führt zu einer guten Etablierung der Untersaat, was sich in guten Erträgen sichtbar wird.
- Im Herbst gesäte Untersaaten liefern im Vergleich zu Frühjahrsuntersaaten bei einer einjährigen Nutzung die höchsten Gesamtflächenerträge
- Bei Untersaaten, die im Frühjahr in den Getreide Bestand ausgebracht werden, muss auf die Verunkrautung geachtet werden. Es kommt schnell zu einer Verunkrautung, die eine schlechte Etablierung mit geringen Erträgen zu Folge hat.
- Blanksaaten nach der Getreide GPS Ernte liefern zwar im ersten Jahr nur wenig Ertrag, zeigen sich aber im Folgejahr ertragsstark, so dass bei einer zweijährigen Nutzung die höchsten Gesamtflächenerträge erzielt werden können.
- Lang stehende Deckfrüchte wie Triticale und Roggen sind als Deckfrüchte zu empfehlen. Frühhäumende Deckfrüchte wie Gerste haben einen niedrigeren Ertrag, ermöglichen aber den Untersaaten eine längere Vegetationszeit. Der Ertrag der Untersaaten ist aber stark witterungsabhängig und konnte den niedrigeren GPS Ertrag in der Summe nicht kompensieren. Zudem bedingt die Nutzung der verlängerten Vegetationszeit eine erhöhte Schnitthäufigkeit, die ein Mehraufwand an der Ressourcen Arbeit und Betriebsmittel wie Diesel und Dünger erfordert.

Im Mais konnten zu einem früheren Saatzeitpunkt (3-Blatt-Stadium) keine nennenswerten höheren Erträge der Ackerfuttermischungen erzielt werden, jedoch wurden die Maiserträge hierdurch negativ beeinflusst. Gerade durch die langsame Jugendentwicklung und den späten Reihenschluss ist Mais sehr empfindlich gegenüber Konkurrenz, sodass hier eine Untersaat mit Bedacht eingesetzt werden sollte. Die Verunkrautung der Ackerfutterbestände als Untersaat im Mais ist auch durch die Tatsache der späten Aussaat im Jahr gegeben. Um diese Verunkrautung zu minimieren ist vor allem eine saubere Saatbettbereitung und vorherige mechanische oder chemische Unkrautbekämpfung unerlässlich.

Praxisaussagen zur Etablierung von Ackerfuttermischungen in Mais:

- Anbausysteme mit Untersaaten im Mais benötigen eine gute Wasserverfügbarkeit
- Wassermangel und Trockenheit führt zu erheblichen Ertragsverlusten
- Zum Aussaatzeitpunkt kann keine Aussage getroffen werden
- Gras-Untersaaten im Mais bieten die Möglichkeit der Anrechnung beim „Greening“

Über die Wahl der Ackerfuttermischung für den jeweiligen Standort und die vorherrschende Witterung können allgemein gültige Aussagen getroffen werden, welche in der Tendenz mit den Beobachtungen aus dem Versuch übereinstimmen. So liefern gräserbetonte Mischungen auch bei kühleren Temperaturen wie im Herbst schnell höhere Erträge und sind vor allem für kühlere Standorte geeignet. Auf trockenen Standorten sowie bei lang anhaltenden hohen Temperaturen mit wenig Niederschlag kann bei Gräsern mit Ertragsminderungen gerechnet werden, während Leguminosen hier im Vergleich besser abschneiden.

Obwohl eine Fruchtfolge mit Ackerfuttermischungen nicht an das Ertragsniveau von Silomais herankommt ergeben sich hieraus einige ökologische Vorteile. Neben der Auflockerung einer maisbetonten Fruchtfolge sind vor allem phytosanitäre Aspekte ausschlaggebend wie etwa die Reduktion von Schaderregern (Maiswurzelbohrer, Maiszünsler), eine Unkrautunterdrückung im Folgejahr besonders von Problemunkräutern in Sommerungen (Hirsearten, Ehrenpreis, Gänsefuß, etc.) sowie eine Reduktion bodenbürtiger Pilze (z.B. Maisbeulenbrand) und anderer Schaderreger.

Um interspezifische Konkurrenz zu vermeiden müssen die richtigen „Partner“, sowie der optimale Saatzeitpunkt der Untersaat gefunden werden. Des Weiteren dürfen keine Mängel (Nährstoffe, Wasser, Licht) für eine der Kulturen vorhanden sein.

Die Nutzung von Ackerfuttermischungen als Untersaat oder Blanksaat kann für viele landwirtschaftliche Betriebe interessant sein. Gerade für Biogasbetriebe, welche durch das neue EEG 2017 nur noch begrenzte Mengen an Mais einsetzen dürfen, um förderfähig zu bleiben, kann die Mischung aus Getreide-GPS und Ackerfutter sehr interessant werden. Für ökologische Betriebe stehen vor allem phytosanitäre Aspekte wie die Kontrolle von Unkräutern und Schaderregern im Vordergrund. Somit bietet das Anbausystem Getreide-GPS mit Ackerfuttermischung neben guten Erträgen weitere vielfältige Vorteile, welche einer großen Bandbreite von landwirtschaftlichen Betrieben nützlich sein können.

## 4.2 Getreide als Zweitfrucht

Sommergetreide stellt in Biogasfruchtfolgen eine geeignete Zweitfrucht dar, die gegenüber vielen anderen Kulturen wie z. B. Sonnenblume und Sorghumhirse den Vorteil hat, noch zuverlässig ausreichende Trockensubstanzgehalte bis zur Ernte zu erreichen. Bislang war das Ertragspotential jedoch mit Ausnahme der Sommertriticale äußerst schwach. Zudem waren die Pflanzen krankheitsanfällig. Beobachtungen aus anderen Bundesländern (Versuche der LWK Nordrhein-Westfalen) sowie ein eigener Tastversuch lassen vermuten, dass sich durch einen späteren Saatzeitpunkt (Juni/Juli) und damit verbunden veränderte Tageslängen und Temperaturen das Ertragspotential von Sommergetreide-GPS deutlich steigern lässt. Insbesondere Sommertriticale scheint sich als gesund, standfest und ertragreich auszuzeichnen. Hier ist zu klären inwieweit eine Variation im Aussaattermin die

Ertragsleistung von Sommergetreidearten beeinflusst, um genauere Empfehlungen zur Eingliederung von GPS als Zweitfrucht für den Praxisanbau in Bayern geben zu können.

#### 4.2.1 Material und Methoden

Der Saatzeitpunkt-Versuch wurde drei Jahre lang auf drei Standorten (Pulling, Steinach, Straßmoos) durchgeführt. Die Sommertriticale wurde jeweils zu drei Terminen (Steinach, Straßmoos) beziehungsweise zu fünf Terminen (Pulling) gesät. Geerntet wurde an einem einheitlichen Termin je Standort. Die Saatzeitpunkte können in Kategorien ungefähren Terminen zugeordnet werden (*Tabelle 13*).

*Tabelle 13: Kategorisierte Saatzeitpunkte der Sommertriticale*

Kategorie	Termin
früh	10. Juni
mittel-früh	20. Juni
mittel	01. Juli
Mittel-spät	10. Juli
spät	20. Juli

Nach der Grundbodenbearbeitung (wendend, Pflug) wurde der Boden mit einer Kreiselegge mit Krümmler bearbeitet, die Stickstoffdüngung erfolgte mit Kalkammonsalpeter (27% N-Gehalt). Die Düngung sowie der Pflanzenschutz wurden standortüblich optimal durchgeführt.

Geerntet wurde der Versuch Mitte September bis Anfang Oktober, je nach Standort und Witterung. Dabei war der Ernte-Termin für alle Parzellen gleich, unabhängig von den verschiedenen Saatzeitpunkten.

#### 4.2.2 Ergebnisse und Diskussion

Im Folgenden werden die Ergebnisse im Mittel über die drei Versuchsjahre und drei Standorte dargestellt. Am Standort Pulling wurden zusätzlich neben dem frühen, mittleren und späten Erntetermin weitere Beprobungen zu einem mittel-frühen und mittel-späten Termin durchgeführt, weshalb dieser Ort zusätzlich nochmals extra aufgeführt wird.

Zum frühen Saattermin konnten die höchsten Trockenmasse (TM) - Erträge mit 68 dt/ha erzielt werden, diese sanken mit zunehmend späterer Ansaat auf 53 dt/ha (*Abbildung 33*). Ähnlich verhielt es sich mit den Trockensubstanz (TS) - Gehalten des Ernteguts. Während diese bei der frühen Ansaat mit 43,3 % sehr hoch waren, sanken diese mit zunehmend späterem Saattermin auf unter 20 % ab. Für die Silierung ist ein TS-Gehalt von 28-35% anzustreben. Bei höheren Werten kann es zu erheblichen Verlusten bei der Silierung kommen. TS-Gehalte von weniger als 28 % führen im Silo zu Sickersaftbildung und sind unbedingt zu vermeiden.

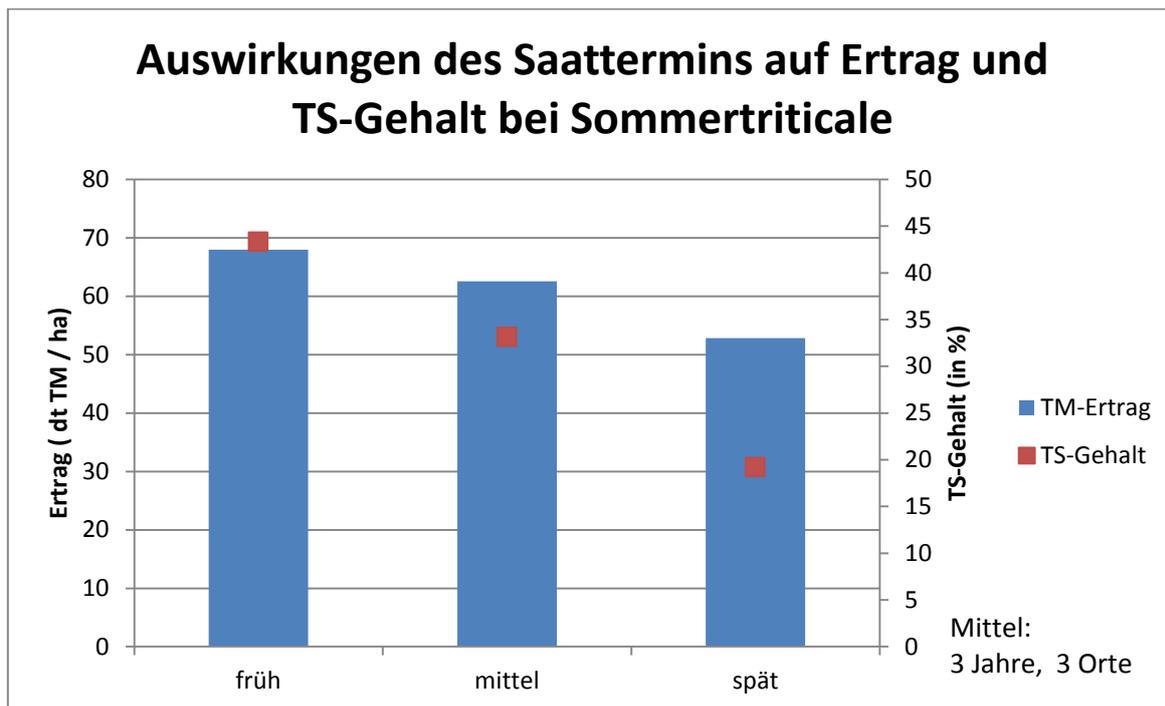


Abbildung 33: Auswirkungen des Saattermins auf Ertrag und TS-Gehalt bei Sommertriticale

Auch am Standort Pulling (alleinige Betrachtung im Durchschnitt der Jahre, Abbildung 34) sanken die TM-Erträge und TS-Gehalte mit einem zunehmend späteren Saattermin. Während die TS – Gehalte -wie im Mittel über alle Standorte- im Bereich von 20-43 % lagen, erreichte die TM Erträge ein sehr hohes Niveau von 65-87 dt/ha. Dabei zeigte sich der Ertragsanstieg vom frühen zum mittel-frühen Erntetermin, der im vorangegangenen Tastversuch beobachtet wurde, wieder. Erst dann sanken die TM-Erträge mit zunehmend späterem Saattermin.

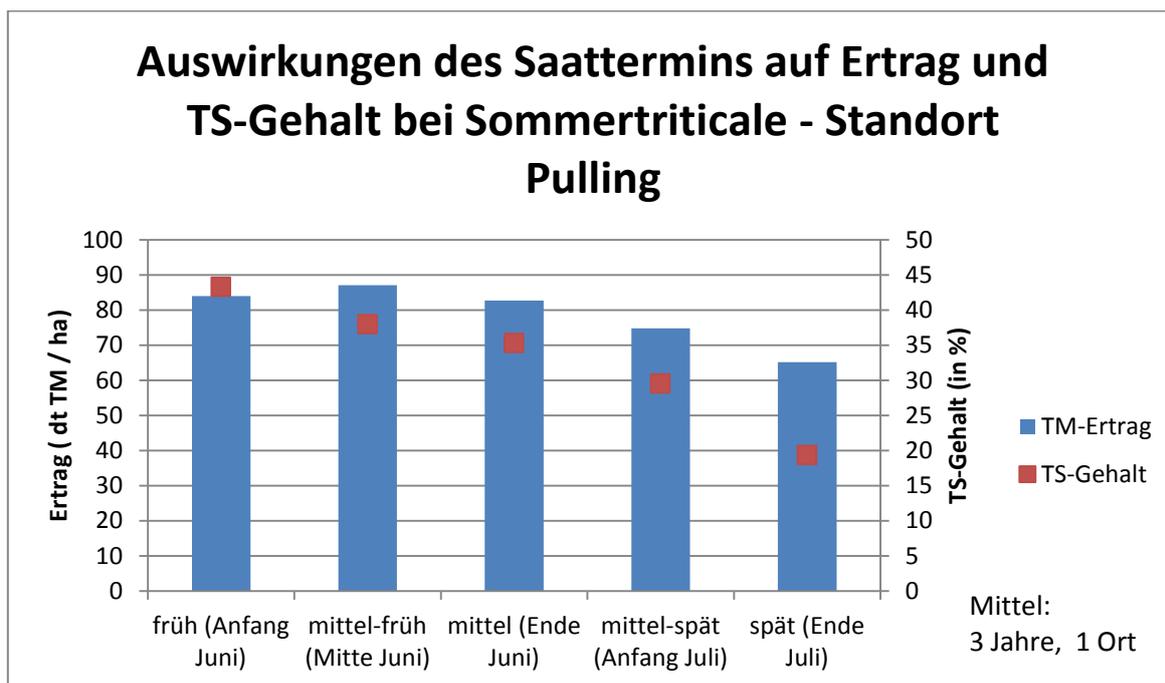


Abbildung 34: Auswirkungen des Saattermins auf Ertrag und TS-Gehalt bei Sommertriticale am Standort Pulling

#### 4.2.3 Zusammenfassung und Schlussfolgerungen

Der Versuch bestätigt, dass mit Sommertriticale ein Anbau einer erntefähigen Zweitfrucht möglich ist. Der für die Silierung nötige TS - Gehalt wird, bis auf einen sehr späten Saattermin (Ende Juli), erreicht. Ertragsoptimum liegt bei einem Saatzeitpunkt um den 20. Juni. Das entspricht in etwa dem Erntetermin von Roggen-GPS. Damit ist als Vorfrucht eine ertragsreiche Erstfrucht möglich. Das Ertragsniveau auf dem feucht - kühlen Standort Pulling mit über 80 dt/ha ist akzeptabel. Im Durchschnitt der Standorte und Jahre ist mit Erträgen unter 70 dt/ha letztendlich weniger zu erwarten. Zu erwähnen ist, dass im Versuch die Erstfrucht Getreide nicht angebaut wurde. So ein Zweikulturnutzungssystem hat aber hohe Ansprüche an die Wasserverfügbarkeit, so dass die Betrachtung des kompletten Anbausystems in weiteren Versuchen berücksichtigt finden sollte.

### 4.3 Getreide Sortenversuch

Frühere Versuche haben gezeigt, dass es bei allen Getreidearten mit GPS-Nutzung Ertragsunterschiede zwischen den Sorten gibt. Am stärksten waren diese Unterschiede bei Triticale mit 30 dt TM/ha ausgebildet. Damit ist klar, dass mit der Sorte der Ertrag gesteigert werden kann. Doch welche Sorten sind dies? Die Annahme, dass es Zusammenhänge zwischen dem TM-Ertrag und anderen agronomischen Größen wie Pflanzenlänge oder Kornertrag gibt, konnte durch die Versuche nicht gesichert bestätigt werden. Um Aussagen zum Ertragspotential einzelner Sorten machen zu können, sind somit Sortenversuche unerlässlich. Aus diesem Grund wurde einjährig das Ertragspotential von unterschiedlichen Sorten der Wintergetreidearten Triticale und Roggen getestet.

### 4.3.1 Material und Methoden

Zum Anbau kamen jeweils zehn Sorten der Wintergetreidearten Triticale und Roggen mit bereits großer Anbaubedeutung sowie Neuzüchtungen, dabei handelte es sich um Hybrid-, Population- und synthetische Sorten (Tab. 1 und 2). Standort des Versuches war Grub (Poing) mit flachgründigen leichten Böden in der Münchener Schotterebene.

Der Versuch verlief ohne Komplikationen. Die Bestände gingen in einem guten Zustand in den milden Winter, aus dem sie auch gesund wieder heraus kamen. Während der Vegetationszeit kam es weder zu nennenswerten Lager noch waren die Pflanzen krank. Lediglich die trockene Witterung im Juni hatte einen Einfluss auf das mögliche Ertragspotential der Getreidearten, welches insbesondere im Zusammenhang mit dem trockenen Frühjahr auf dem Standort nicht ausgeschöpft werden konnte. Ebenso kam es bedingt durch den mangelnden Regen zu einem raschen Vertrocknen der unteren Halme. Unter durchschnittlichen bayerischen Verhältnissen wird der für die optimale Silage benötigte Trockensubstanz (TS)-Gehalt von 28-35% im Stadium der Milchreife bis Teigreife erreicht. Die beginnende Abreife der Halme hatte aber zu Folge, dass bereits im Stadium der frühen Milchreife (BBCH 72) beim Roggen und bei Triticale sogar noch früher zum Ende der Blüte (BBCH 69) sehr hohe TS-Gehalt vorlagen (Roggen 42-45,7 % TS; Triticale 42 - 49,5 % TS)

### 4.3.2 Ergebnisse und Diskussion

Die Unterschiede im Ertrag der Sorten beider Arten umfassten 20 dt TM/ha, wobei sich bei Triticale die beiden Hybridsorten *HYT Max* (114 dt TM/ha) und *HYT Prime* (112 dt TM/ha) besser darstellten als die acht Populationssorten. Die beste Populationssorte *Tricanto* zeigt aber mit 111 dt TM/ha keine nennenswerten Unterschiede zu den beiden Hybridsorten (Abbildung 35).

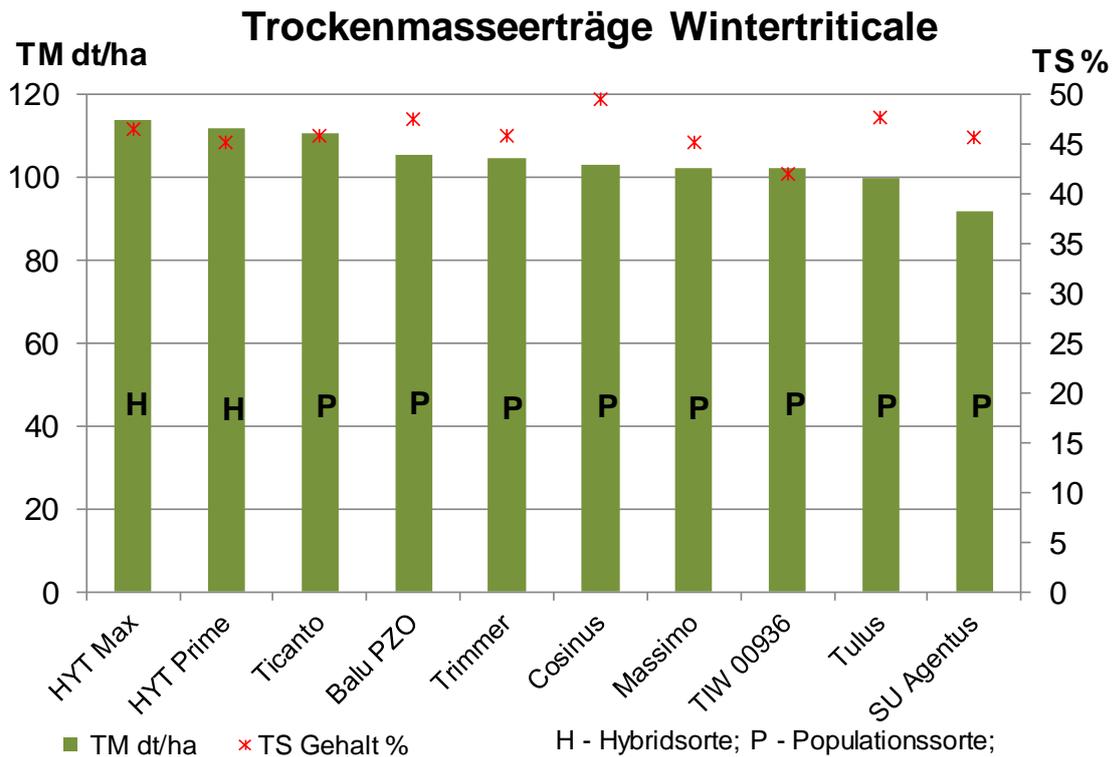


Abbildung 35: Leistungspotential Trockenmasseerträge der Wintertriticalesorten 2014 am Standort Grub

Bei Roggen erbrachte ebenfalls eine Hybridsorte *KWS Progas* (120 dt TM/ha) den höchsten Ertrag, aber die synthetische Sorte *Sandie* (114 dt TM/ha) und die Populationsorte *Generator* (113 dt TM/ha) lagen ebenfalls in diesen oberen Ertragsbereich mit nicht signifikanten Unterschieden zu *KWS Progas*. Schlusslicht machte die Hybridsorte *Hellvus*, eine Körnersorte, die sich durch eine geringe Lagerneigung auszeichnet, mit 99 dt TM/ha (Abbildung 36)

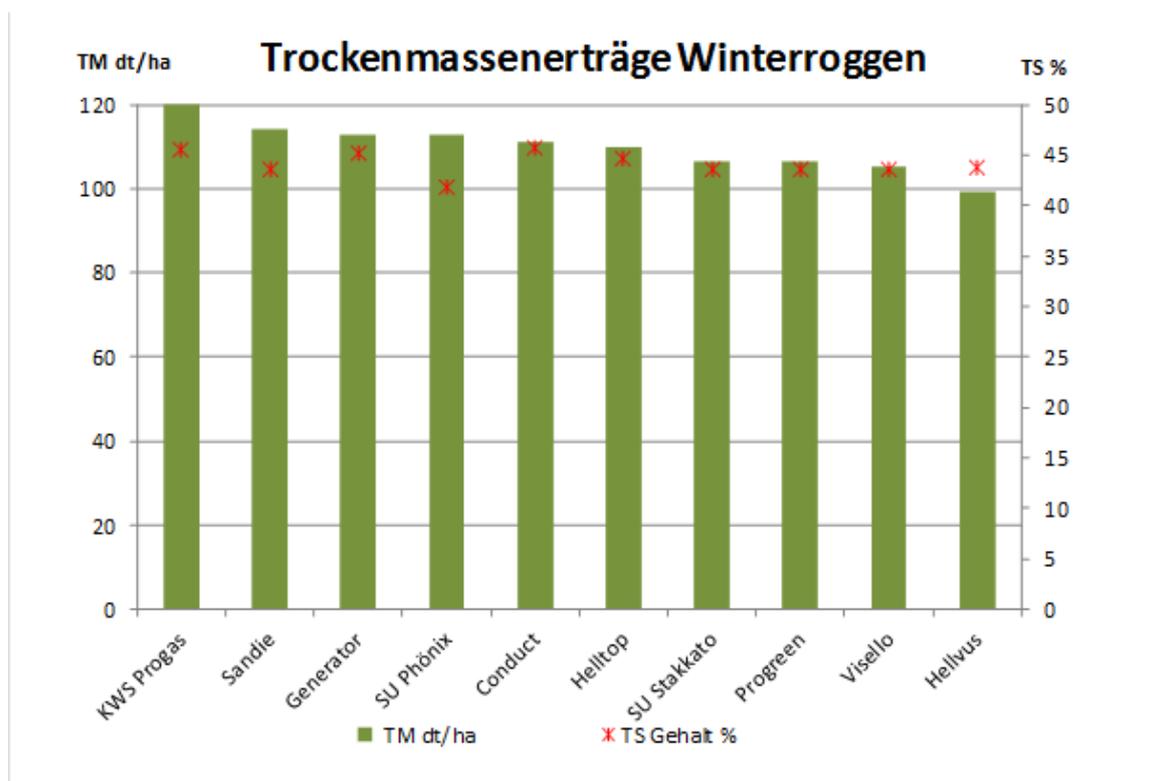


Abbildung 36: Leistungspotential Trockenmasserträge der Winterroggensorten 2014 am Standort Grub

### 4.3.3 Zusammenfassung und Schlussfolgerungen

Diese einjährigen Ergebnisse von einem Standort können natürlich nicht das komplette Potential der Sorten auf anderen Standorten darstellen. Sie dienen lediglich als erste Orientierungshilfe unter ähnlichen Bedingungen. Um Sortenempfehlungen aussprechen zu können und den Versuch als Beratungsinstrument nutzen zu können müssen die Versuche in den nächsten Jahren auf weitere Standorte auszudehnen werden.

## **5 Teilprojekt 4: Bewertung der Nachhaltigkeit von Energiefruchtfolgen in konventionellen und ökologischen Betrieben**

### **5.1 Hintergrund und Aufgabenstellung**

Für eine umfassende Einschätzung der Nachhaltigkeit von Energiefruchtfolgen in der landwirtschaftlichen Praxis sind neben der Betrachtung von konventionellen Landbausystemen in Teilprojekt 1 auch die Auswirkungen der Biogasnutzung auf ökologisch bewirtschaftete Flächen von großer Relevanz. Viehlos wirtschaftenden ökologischen Betrieben ermöglicht der Einsatz von Biogasgärresten eine kurzfristig verfügbare N-Düngung. Die Nutzung einer Biogasanlage kann in diesem Kontext als Ersatz für die Viehhaltung im Sinne eines weitgehend geschlossenen Nährstoffkreislaufs dienen. Im Rahmen von Teilprojekt 4 wurden deshalb Energiebilanz und weitere Nachhaltigkeitsparameter in einem Partnerprojekt der Technischen Universität München erfasst und den Ergebnissen aus Teilprojekt 1 gegenübergestellt. Dabei findet keine umfassende Bewertung der Biogasnutzung unter ökologischen Bedingungen statt. Die Ergebnisse aus Teilprojekt 4 dienen als Ausgangspunkt für weitere Betrachtungen und ermöglichen eine schnelle Einschätzung möglicher Gemeinsamkeiten und Unterschiede zwischen den Betriebsformen auf Basis eines knappen Methodensatzes. Darüber hinaus wurde in einer Masterarbeit im Rahmen des Projekts ein Vergleich zwischen verschiedenen Methoden zur einfachen Bestimmung der biologischen Aktivität im Boden durchgeführt. Auch diese Ergebnisse werden in diesem Kapitel vorgestellt.

### **5.2 Material und Methoden**

Für Teilprojekt 4 wurden Ergebnisse einrichtungsübergreifend in Kooperation mit dem Lehrstuhl für Ökologischen Landbau und Pflanzenbausysteme der Technischen Universität München gewonnen. Die Ergebnisse aus dem ökologischen Teil basieren auf dem Biomasseversuch Viehhausen, der im Rahmen des BONARES-Projekts durchgeführt wurde und der seit mehr als zehn Jahren besteht (Simon et al. 2016). In Konzeption und Umsetzung ähneln sich der Biomasseversuch Viehhausen und die Versuchsreihe der LfL aus Teilprojekt 1 deutlich, wobei im Biomasseversuch an den Ökolandbau angepasste Fruchtfolgen gewählt wurden. Auf der Grundlage der Ähnlichkeit der beiden Versuche wurden Energie- und THG-Bilanz, der Weizenenertrag nach den jeweiligen Fruchtfolgen, sowie die Parameter Kohlenstoffgehalt, Stickstoffgehalt, C/N-Verhältnis und die Katalaseaktivität im Boden an den Standorten Viehhausen bei Freising und Pettenbrunn bei Freising erfasst und in Teilprojekt 4 miteinander verglichen.

#### Versuchsbeschreibung

Der Biomasseversuch Viehhausen der Technischen Universität München wurde im Jahr 2004 als ortsfester Streifenversuch angelegt und liegt im Tertiärhügelland, ca. 30 km nördlich von München. Die durchschnittliche Jahrestemperatur beträgt  $7,5^{\circ}\text{C}$ , der durchschnittliche Jahresniederschlag 797 mm. Die Rahmenbedingungen entsprechen durch die räumliche Nähe in etwa dem Versuchsstandort Pettenbrunn bei Freising, einem der Standorte von V354. Im Rahmen des Biomasseversuchs der TUM wurden 5 verschiedene vierfeldrige Fruchtfolgen mit je zwei Varianten im vierten Jahr angebaut. Um dem Ziel von

Teilprojekt 4, eine einfache Gegenüberstellung zu ermöglichen, gerecht zu werden, wurden zwei Fruchtfolgen (A und B) mit großer konzeptioneller Ähnlichkeit zu ausgewählten in Teilprojekt 1 verwendeten Fruchtfolgen verwendet (Tabelle 14).

*Tabelle 14: Fruchtfolgen aus dem Biomasseversuch der TUM für den Systemvergleich in Teilprojekt 4.*

Fruchtfolge	A	B
Jahr 1	Kleegras	Kleegras
Jahr 2	Winterweizen/ Kleegras	Winterweizen/ Grünroggen
Jahr 3	Kleegras	Silomais
Jahr 4	Kleegras	Wintertriticale

Fruchtfolge A entspricht hierbei einer bodenschonenden Variante mit sehr hohem Kleegrasanteil entsprechend Variante 5 in V354 (Silomais – Winterroggen – Weidelgras-untersaat – Winterweizen). Fruchtfolge B stellt eine intensivere Nutzung im Bereich des ökologischen Landbaus dar. Als Referenz wurde hier deshalb Variante 12 in V354 gewählt (Silomais – Grünroggen – Silomais – Grünroggen – Silomais – Winterweizen). Eine eingehendere Beschreibung des Versuchsstandorts Pettenbrunn und der dort angebauten Varianten lässt sich Kapitel 2.1 entnehmen. Wie bei V354 wurde der Winterweizen als Marktfrucht geerntet, alle übrigen Feldfrüchte wurden als Ganzpflanzensilage zur Verwendung in einer Biogasanlage geerntet. Die Düngung erfolgte systemkonform mit Biogasgärrest auf der gleichen Grundlage wie bei V354 in Teilprojekt 1. Es wurde eine Menge Biogasgärrest ausgebracht, die von den jeweiligen Feldfrüchten erzeugt werden konnte. Die Fruchtfolgen wurden mit den Referenzfruchtfolgen aus Teilprojekt 1 verglichen, die dem Konzept nach mit den jeweiligen Fruchtfolgen verwandt sind. Allerdings muss dabei berücksichtigt werden, dass ein direkter Vergleich der Systeme wegen der trotz aller Ähnlichkeiten großen Unterschiede in Standort, Versuchsaufbau und Fruchtfolgeaufbau nicht möglich ist. So wurden z. B. im Biomasseversuch alle Fruchtfolgeglieder in jedem Jahr angebaut, weshalb der Einfluss von Extremjahren (wie 2013 beim Mais von V354) deutlich verringert dargestellt wird.

#### Energie- und Treibhausgasbilanzierung, sowie Beschreibung weiterer Nachhaltigkeitsindikatoren

Die zur Bestimmung der Nachhaltigkeitsparameter verwendeten Methoden sind in Teilprojekt 1 und Teilprojekt 4 identisch. Die Methodik der Energie- und Treibhausgasbilanzierung lässt sich Kapitel 2.1.2.2, die Beschreibung der weiteren Nachhaltigkeitsindikatoren Kapitel 2.1.2.3 entnehmen.

### 5.3 Ergebnisse und Diskussion

#### Gegenüberstellung der Weizenerträge

Abbildung 37 zeigt die Weizenerträge der in beiden Feldversuchen ausgewählten Varianten. Die Unterschiede der Weizenerträge waren in V354 nicht nur in den hier dargestellten Varianten 5 und 12, sondern in allen Varianten nicht signifikant unterschiedlich. Die trotz reduzierter Düngung durchweg stabilen Erträge sind auf eine hohe Nährstoffnachlieferung aus dem Boden, resultierend aus dem hohen Puffervermögen in Verbindung mit der hohen Gärrestapplikation in den vorangegangenen Jahren mit einem Anteil von etwa 40 % organisch gebundenen Stickstoffs zurückzuführen. Die Weizenerträge im ökologisch bewirtschafteten Biomasseversuch Viehhausen unterschieden sich deutlich stärker. Hierfür sind insbesondere die durch die längere Laufzeit des Versuchs und die zum Erntezeitpunkt bereits zum dritten Mal durchlaufende Fruchtfolge deutlich stärker ausgeprägten Fruchtfolgeeffekte verantwortlich. So erzielte die bodenschonende Variante A, die über die Leguminosen einen hohen Nachfruchteffekt bewirkte, einen TM-Ertrag von knapp 39 dt/ha. Im Gegensatz dazu erreichte Variante B, die einen deutlich höheren Anteil an Stickstoffzehrern hatte, nur einen Ertrag von etwa 27 dt/ha TM. Der direkte Vergleich zwischen den konventionellen und den ökologischen Varianten verbietet sich wegen der großen Unterschiede in der Düngestrategie im Weizen und der unterschiedlichen Laufzeit. Die Ergebnisse liefern allerdings ein Indiz für die Fruchtfolgewirkung von Energiefruchtfolgen auch für den konventionellen Landbau.

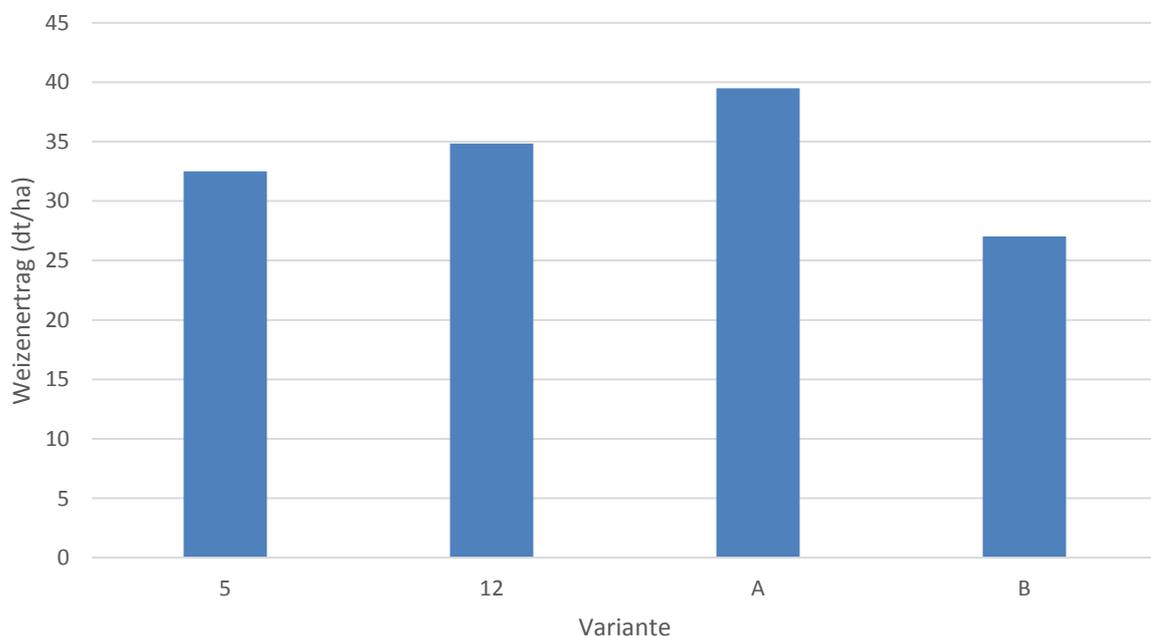


Abbildung 37: Weizenerträge nach einem (V354, 5 und 12), bzw. nach drei (Biomasseversuch, A und B) Fruchtfolgedurchgängen. Variante 5: SM/WR/WD. Variante 12: SM/GR/SM/GR/SM. Variante A: KG/WW+KG/KG/KG. Variante B: KG/WW+GR/SM/WT.

### Nettoenergieoutput

Der Nettoenergieoutput der ausgewählten Fruchtfolgen wird in Abbildung 38 dargestellt. Weil Winterweizen in beiden Systemen nicht zur Energiegewinnung, sondern als Marktf Frucht (und Indikator für Fruchtfolgewirkungen) geerntet wurde, wird er in dieser Aufstellung nicht aufgeführt. Obwohl ein direkter Vergleich der Energiebilanzen der Systeme untereinander wegen der systematischen Unterschiede nicht zulässig ist, lassen sich aus der Gegenüberstellung Aussagen zum Verhältnis der Fruchtfolgen untereinander ableiten.

Der Nettoenergieoutput in beiden bodenschonenden Varianten (5 bzw. A) liegt unter dem der intensiveren Variante (12 bzw. B). Der Nettoenergieoutput der konventionellen Varianten und der Einfluss des einzelnen Ertragsjahrs 2013 wurde bereits in Kapitel 2.1 ausführlich diskutiert. Der Nettoenergieoutput vom Klee gras in Variante A entspricht in jedem Jahr in etwa dem von Mais. Dabei ist zu berücksichtigen, dass der Wert für Mais ein Jahresmittelwert über vier Jahre ist. Das bedeutet, dass Silomais auf dem Standort Viehhausen in der intensiveren Fruchtfolge im Verhältnis deutlich niedrigere Erträge aufweist als im konventionellen Versuch, was an der in Fruchtfolge B deutlich stärker limitierten Stickstoffmenge liegen kann. Der Nettoenergieoutput von Klee gras hingegen ist relativ hoch und konkurriert auch mit im konventionellen Landbau häufig leistungsstärkeren Wintertriticale. Einzig der Grünroggen dient auch im ökologischen Landbau zur Überbrückung als Zwischenfrucht (hier als Sommerzwischenfrucht) und erhöht geringfügig den Nettoenergieoutput der Fruchtfolge.

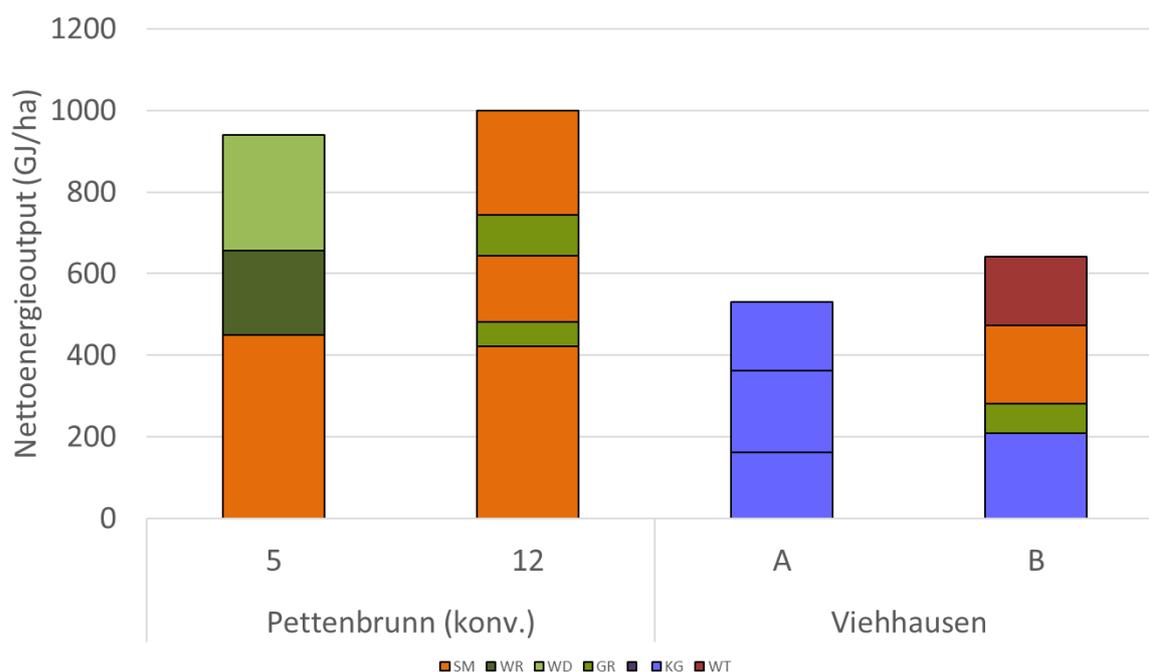


Abbildung 38: Nettoenergieoutput der ausgewählten Varianten in V354 (5 und 12) und im Biomasseversuch (A und B).

### Energieeffizienz

Die Gegenüberstellung der Energieeffizienz der ausgewählten Varianten lässt sich Tabelle 15 entnehmen. Die Energieeffizienz im Biomasseversuch Viehhausen bewegte sich in den

ausgewählten Fruchtfolgen zwischen 9 (Grünroggen) und 25 (Klee gras). Die relativ hohe Energieeffizienz vom Klee gras entstand durch einen hohen Leguminosenanteil bei gleichzeitigem systematischen Verzicht auf Mineraldünger, der sehr energieaufwändig in der Herstellung ist. Allerdings lag die Energieeffizienz im Ansaatjahr deutlich unter der in den Folgejahren. Dieser Effekt lässt sich auch bei Ackerfutter im konventionellen Landbau finden (siehe Kapitel 2.1).

*Tabelle 15: Energieeffizienz der ausgewählten Varianten aus V354 (5 und 12) und dem Biomasseversuch (A und B).*

Ort	Variante	Fruchtfolge	2012	2012-2013	2013	2013-2014	2014
Pettenbrunn	5	SM/WR/WDu	59	29	n. a.	n.a.	16
	12	SM/GR/SM/GR/SM	55	14	14	21	35
Viehhausen	A	KG/KG/KG	11	n. a.	25	n. a.	24
	B	KG/GR/SM/WT	24	9	12	12	n. a.

Passend zu den Ergebnissen des Nettoenergieoutput lag die Energieeffizienz von Silomais im Gegensatz zum konventionellen Landbau nicht im oberen Bereich der Ergebnisse. Weil der Energieoutput hier über alle Jahre relativ niedrig war, nimmt Silomais hier auch keine so ausgeprägte Vorrangstellung ein wie im konventionellen Landbau. Eine noch stärker Betrachtung auf die Standortbedingungen und auf die Möglichkeiten der N-Versorgung der Pflanzen wird dadurch noch deutlich wichtiger. Der Einsatz von Biogas-Gärresten kann dazu beitragen, bei niedrigen Erträgen kann er den fehlenden Stickstoff im System allerdings nicht ausgleichen.

#### Weitere Nachhaltigkeitsparameter

Die biologische Aktivität wurde wie am Standort Pettenbrunn im Jahr 2015 mit einer Beprobung der Versuchspartellen und anschließender Auswertung der Katalasezahl geprüft. Die Aktivität ist demzufolge höher, je höher die Katalasezahl ist. Am Standort Pettenbrunn war die Katalasezahl der Variante 5 deutlich höher als die der Referenzfruchtfolge 12, was für eine höhere biologische Aktivität in der bodenschonenden Variante spricht. Dem gegenüber wird die Katalasezahl am Standort Viehhausen in Abbildung 39 dargestellt. Beide Zahlen sind mit einem Wert über 12 sehr hoch und zeigen keine signifikanten Unterschiede. Der Effekt der Fruchtfolge scheint hier demzufolge schwächer ausgeprägt zu sein als der Einfluss anderer Effekte wie Boden, System oder Düngung, und schwächer als im konventionellen Landbau, wo der Effekt bereits nach einer kompletten Fruchtfolge signifikant war.

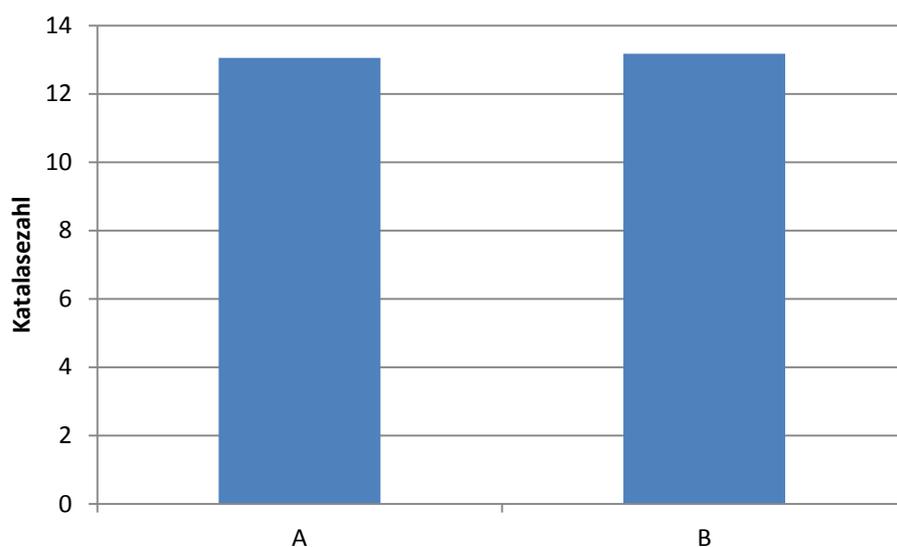


Abbildung 39: Katalasezahl am Standort Viehhausen im Jahr 2015.

Der Gesamtkohlenstoffgehalt des Bodens der Versuchsfläche in Viehhausen ist in Abbildung 40 dargestellt. Wie im konventionellen Versuch V354 ließen sich auch in Viehhausen keine Unterschiede zwischen der extensivsten und der intensivsten Variante feststellen, obwohl der ökologische Versuch deutlich länger läuft. Dies deutet nochmals auf die langsame Reaktionszeit des Kohlenstoffpools im Boden hin, der mit der Bewirtschaftung nur über sehr lange Zeiträume wirksam verändert werden kann. Die Nutzung von Feldfrüchten als Energiefrucht hat auf den Gesamtpool an Kohlenstoff kurzfristig kaum messbare Auswirkungen.

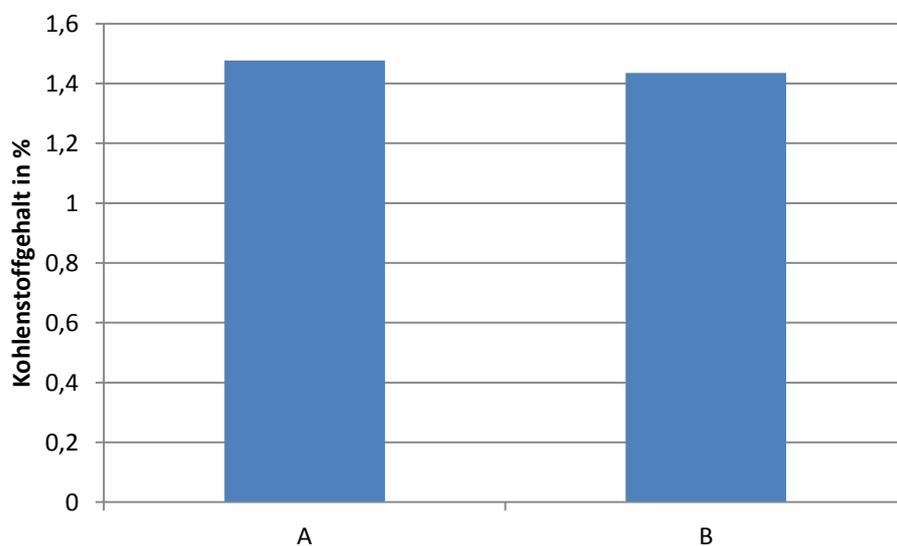


Abbildung 40: Kohlenstoffgehalt am Standort Viehhausen im Jahr 2015.

## **5.4 Zusammenfassung und Schlussfolgerungen**

Die Nachhaltigkeit von Energiefruchtfolgen im ökologischen Landbau wurde in Teilprojekt 4 mit dem konventionellen Landbau zusammengeführt. Bedeutende Unterschiede sind insbesondere einerseits die größere Bedeutung von Biogasgärrest als kurzfristig wirkender Mineraldüngerersatz im Ökolandbau. Andererseits ist die Entstehung ausreichender Mengen an Gärresten stark von ausreichend hohen Erträgen abhängig, wie beim Silomais von Fruchtfolge B zu beobachten war. Zusätzlich war der Einfluss der Fruchtfolge auf die Marktfrucht Winterweizen deutlich festzustellen. Daraus folgt, dass das Paradigma des Silomais als bedeutendster Frucht für die Biogasproduktion für den Ökolandbau unter bayerischen Bedingungen nicht im gleichen Maß gilt wie im bayerischen konventionellen Landbau. Hier ist es von großer Bedeutung, die Fruchtfolge noch genauer als ohnehin im Ökolandbau notwendig an die Standortbedingungen und an die besonderen Anforderungen bei der Produktion von Energiepflanzen anzupassen. Bei der biologischen Aktivität über die Katalase waren Unterschiede im Verhältnis der Fruchtfolgen zueinander zwischen dem konventionellen und dem ökologischen System feststellbar. Der Einfluss vieler standortabhängiger Parameter auf die biologische Aktivität ist allerdings zu hoch, um eine grundsätzliche Empfehlung dazu ableiten zu können. Zur abschließenden Verknüpfung der Energiepflanzenproduktion unter konventionellen und ökologischen Bedingungen und um grundlegende Unterschiede zwischen den Systemen feststellen zu können, besteht weiterer Forschungsbedarf, der nur in einem eigens angelegten Feldversuch sicher geprüft werden kann.

## 6 Erfolgte Veröffentlichungen zum Vorhaben

- Cyffka, L. (2016): Bioindikative Methoden zur Untersuchung von Anbausystemen, Ein Methodenvergleich; Masterarbeit des Studiengangs Umweltplanung und Ingenieurökologie, TU München
- Heuwinkel, H. (2013): Vergleichende Bewertung des Methanertragspotentials verschiedener Kulturarten; Mitteilungen der Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften Band 25
- Hofele, J. (2014): Einfluss des Erntezeitpunktes auf die stoffliche Zusammensetzung und die Methanausbeute verschiedener Grünlandarten und –sorten des ersten Aufwuchses; Master Theses Studiengang Nachwachsende Rohstoffe TU München
- Hofmann, D., Hartmann, A. Hartmann (2016): Mehr Vielfalt beim Substrat; Bayerisches Landwirtschaftliches Wochenblatt (BLW), Ausg.: 35, S. 30 bis 31, 2 Seiten, Deutscher Landwirtschaftsverlag GmbH, München, Deutschland
- Hofmann, D., Simon, R. (2015): Empfehlungen für die Gestaltung einer Biogasfruchtfolge; Integrierter Pflanzenbau - Versuchsergebnisse und Beratungshinweise AELF Augsburg, Hrsg.: LfL, Deutschland
- Hofmann, D., (2015): Sortenversuche für Wintergetreidearten mit Ganzpflanzennutzung; LfL Jahresbericht IPZ, S. 79 bis 81, 3 Seiten, Hrsg.: Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL), Deutschland
- Hofmann, D., (2014): Getreide - GPS: Manche Sorte passt besser ; Bayerisches Landwirtschaftliches Wochenblatt (BLW), Ausg.: Heft 38, S. 34 bis 36, 3 Seiten, Deutscher Landwirtschaft Verlag, Deutschland
- Hofmann, D., Riedel, C., Sticksel E., Eder, J. (2013): Optimierung von Biogasfruchtfolgen unter bayerischen Bedingungen; Mitteilungen der Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften Band 25, S.108-109
- Hofmann, D., Simon, R.(2014): Gestaltung einer nachhaltigen Biogasfruchtfolge; Praxisnah, Ausg.: 1, S. 14 bis 15, CW Niemeyer Druck GmbH, Hameln, Deutschland
- Li, L. (2012): Welche Substrate eignen sich als Alternative zu Mais? Masterarbeit Studiengang Umweltplanung und Ingenieurökologie TU München
- Riedel, C., Hofmann, D. (2015): 90% vom Mais sind drin; Bayerisches Landwirtschaftliches Wochenblatt (BLW), Ausg.: 26/2015, S. 34 bis 36, 3 Seiten, Hrsg.: Deutscher Landwirtschaftsverlag, Deutschland
- Riedel, C., Zander, D.(2015): Extrafutter oder Verluste im Mais?; Bayerisches Landwirtschaftliches Wochenblatt (BLW), Ausg.: 19, S. 30 bis 31, 2 Seiten, Hrsg.: Deutscher Landwirtschaftsverlag GmbH, München, Deutschland, ISSN: 0005-7169
- Simon, R., Sticksel, E., Hofmann, D., Eder, J., Schmid, H., Hülsbergen, K.-J. (2013): Energiebindung und -effizienz des Energiepflanzenanbaus zur Biogasnutzung; Mitteilungen der Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften Band 25, S.66-67

- Simon, R., Sticksel, E., Hofmann, D., Eder, J., Schmid, H., Hülsbergen, K.-J. (2013): Treibhausgasemissionen des Energiepflanzenbaus zur Biogasnutzung; Mitteilungen der Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften Band 25, S.150-151
- Simon, R., Sticksel, E., Hofmann, D., Eder, J., Schmid, H., Hülsbergen, K.-J. (2013): THG-Bilanzierung von Energiefruchtfolgen am Beispiel eines Feldexperiments - Methodik und Ergebnisvariabilität; Tagungsband Workshop „Möglichkeiten und Grenzen der Minderung von Treibhausgas (THG)-Emissionen aus der Landwirtschaft, Münster
- Simon, R., Sticksel, E., Hofmann, D., Eder, J., Schmid, H., Hülsbergen, K.-J. (2013): Energiebindung des Energiepflanzenanbaus zur Biogasnutzung, Poster: 4. Symposium Energiepflanzen, Berlin
- Simon, R., Sticksel, E., Hofmann, D., J., Schmid, H., Hülsbergen, K.-J. (2014): Net Energy Output and Energy Efficiency of Biogas Energy Crops, Tagungsband ESA Congres, Debrecen
- Techow, A., Riedel, C., Hofmann D. (2015): Getreide-Ganzpflanzensilage mit Untersaat für die Biogasproduktion; KTBL-Schrift, Biogas in der Landwirtschaft - Stand und Perspektiven, S. 338 bis 340, 2 Seiten, Hrsg.: Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V. (KTBL), Deutschland, ISBN: ISBN 978-3-945088-07
- Uhl, J. (2015): Weidelgras-Untersaat in Wintergetreide als Ganzpflanzensilage; b LfL-Faltblätter, Hrsg.: Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL), Deutschland
- Uhl, J., Hofmann, D. (2015): Getreide-GPS - Ein Verfahren mit vielen Vorteilen und Möglichkeiten; Biogas Journal, Ausg.: 2, S. 52 bis 55, 4 Seiten, Hrsg.: Fachverband Biogas e. V., Freising, Deutschland, ISSN: 1619-8913
- Uhl, J., (2014): 90 Prozent vom Mais sind möglich ; Bayerisches Landwirtschaftliches Wochenblatt (BLW), Ausg.: 30, S. 36 1 Seiten, Hrsg.: Deutscher Landwirtschaftsverlag, Deutscher Landwirtschaftsverlag, Deutschland
- Zander, D., Riedel, C.(2015): Zweimal ernten am Getreidefeld; Bayerisches Landwirtschaftliches Wochenblatt (BLW), Ausg.: 24, S. 34 bis 35, 2 Seiten, Deutschland
- Zander, D., Riedel, C. (2015): Extrafutter oder Verluste im Mais?; Bayerisches Landwirtschaftliches Wochenblatt (BLW), Ausg.: 19/2015, S. 30 bis 31, 2 Seiten, Hrsg.: Deutscher Landwirtschaftsverlag , Deutschland

#### Fernsehbeitrag

- Untersaat – Was bringt Gras im Getreidefeld?, in: Unser Land, BR, 17.07.2015

## Literaturverzeichnis

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

Bayerische Qualitätssaatgutmischungen für Grünland und Feldfutterbau (2017): [http://www.lfl.bayern.de/mam/cms07/ipz/dateien/faltblatt\\_bqsm\\_2017.pdf](http://www.lfl.bayern.de/mam/cms07/ipz/dateien/faltblatt_bqsm_2017.pdf)

Beck, T. (1971): Die Messung der Katalaseaktivität von Böden. In: *Journal of Plant Nutrition and Soil Science* 130 (1), S. 68–81. DOI: 10.1002/jpln.19711300108.

Brock, C.; Hoyer, U.; Leithold, G.; Hülsbergen, K.-J. (2012): The humus balance model (HU-MOD): A simple tool for the assessment of management change impact on soil organic matter levels in arable soils. *Nutr Cycl Agroecosyst* 92, 239-254.

Cyffka, L. (2016): Bioindikative Methoden zur Untersuchung von Anbausystemen, Ein methodenvergleich Masterarbeit des Studiengangs Umweltplanung und Ingenieurökologie, TU München

Dandikas, V., Heuwinkel, H., Lichti, F., Drewes, J.E., Koch, K. (2015): Correlation between Biogas Yield and Chemical Composition of Grassland Plant Species. *Energy Fuels* 29, 7221–7229.

Fachverband Biogas e. V. (Hg.) (2014): Branchenzahlenprognose für die Jahre 2014 und 2015. Online verfügbar unter: [http://www.biogas.org/edcom/webfvb.nsf/id/DE\\_Branchenzahlen/\\$file/14-11-25\\_Biogas%20Branchenzahlen\\_Prognose\\_2014-2015.pdf](http://www.biogas.org/edcom/webfvb.nsf/id/DE_Branchenzahlen/$file/14-11-25_Biogas%20Branchenzahlen_Prognose_2014-2015.pdf), zuletzt geprüft am 29.09.2015.

Flessa, H.; Ruser, R.; Dörsch, P.; Kamp, T.; Jimenez, M. A.; Munch, J. C. und Beese, F. (2002): Integrated evaluation of greenhouse gas emissions (CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O) from two farming systems in southern Germany. *AGR ECOSYST ENVIRON* 91 (1-3), 175-189.

Hülsbergen, K.-J. (2003) Entwicklung und Anwendung eines Bilanzierungsmodells zur Bewertung der Nachhaltigkeit landwirtschaftlicher Systeme. Shaker-Verlag, Aachen.

IPCC (2006): IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Chapter 11: N<sub>2</sub>O emissions from managed soils, and CO<sub>2</sub> emissions from lime and urea application. Cambridge University Press, Cambridge und New York.

Keplin, B.; Hüttl, R. F. (2000): Bestimmung der biologischen Aktivität von rekultivierten Kippböden mit dem Köderstreifentest. In: *Forstwissenschaftliches Centralblatt* 119 (1-6), S. 150–159. DOI: 10.1007/BF02769133.

Küstermann, B.; Christen, O. und Hülsbergen, K.-J. (2008): Modelling carbon cycles and estimation of greenhouse gas emissions from organic and conventional farming systems. *RENEW AGR FOOD SYST* 23. 38-52.

Küstermann, B.; Munch, J. C. und Hülsbergen, K.-J. (2010): Modelling nitrogen cycles of farming systems as basis of site- and farm-specific nitrogen management. *AGR ECOSYST ENVIRON* 135, 70-80.

Leopoldina (Hg.) (2013): Bioenergie - Möglichkeiten und Grenzen. Halle (Saale). Online verfügbar unter: [http://www.leopoldina.org/uploads/tx\\_leopublication/2013\\_06\\_Stellungnahme\\_Bioenergie\\_DE.pdf](http://www.leopoldina.org/uploads/tx_leopublication/2013_06_Stellungnahme_Bioenergie_DE.pdf).

- LfL (2015): Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft: Gärrestrechner. Online-Programm verfügbar unter: <http://www.lfl.bayern.de/iab/duengung/031516/index.php>. Zugriff am 21.12.2015.
- McEniry, J.; O’Kiely, P. (2013): Anaerobic methane production from five common grassland species at sequential stages of maturity. In: Bioresource Technology 127, S. 143–150. DOI: 10.1016/j.biortech.2012.09.084.
- Messner, J.; Elsäßer, M. (2012): Gas aus Gras - welche Grünlandaufwüchse eignen sich für die Biogaserzeugung. In: Landinfo (4). Online verfügbar unter [http://www.lazbw.de/pb/site/lel/get/documents/MLR.LEL/PB5Documents/lazbw\\_gl/Bioas/Gas\\_aus\\_Gras\\_Artikel\\_Landinfo.pdf](http://www.lazbw.de/pb/site/lel/get/documents/MLR.LEL/PB5Documents/lazbw_gl/Bioas/Gas_aus_Gras_Artikel_Landinfo.pdf), zuletzt geprüft am 03.08.2014.
- Simon, A.; Levin, K.; Simon, R.; Reents, H. J.; Hülsbergen, K.-J. (2016): Effects of biogas digestate on soil biological activity in organic farming. Proceedings of the 14th congress of the European Society for Agronomy, Edinburgh.
- Stadler, M., Rauh, S. und Gehring, K. (2016): Greening Mulchsaat mit Zwischenfruchtanbau und Grasuntersaat in Mais als ökologische Vorrangfläche im Biogasbetrieb. In: Biogas Forum Bayern Nr. I - 28/2016, Hrsg. ALB Bayern e.V., <http://www.biogas-forum-bayern.de/De/Fachinformationen/Substratproduktion/26.html>. Stand [12.01.2017].
- Sticksel, E.; Aigner, A.; Eder, J.; Salzeder, G.; Weber, G. (2010): Biogasfruchtfolgen. Optimierung von Biogasfruchtfolgen für bayerische Anbaubedingungen. Zwischenbericht der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft, Freising.
- VDI (2006): VDI-Richtlinie 4630: Vergärung organischer Stoffe. Substratcharakterisierung, Probenahme, Stoffdatenerhebung, Gärversuche. Berlin: Beuth Verlag GmbH.
- VDLUFA (2014): Humusbilanzierung. Eine Methode zur Analyse und Bewertung der Humusversorgung von Ackerland. Online verfügbar unter: <http://www.vdlufa.de/joomla/Dokumente/Standpunkte/11-Humusbilanzierung.pdf>.
- Weißbach, F. (2008): Zur Bewertung des Gasbildungspotentials von nachwachsenden Rohstoffen. In: Landtechnik 63 (6), S. 356–358.