

Universität für Bodenkultur Wien
University of Natural Resources and Applied Life Sciences, Vienna



H93 Department für nachhaltige Agrarsysteme
H933 Institut für Ökologischen Landbau

Biologischer Energiepflanzenanbau zur Biogaserzeugung in Oberösterreich

Diplomarbeit

Christian STURM

Matrikelnummer: 0340201

Studienrichtung Landwirtschaft (H890)

Betreuer:

Ao.Univ.Prof. Dipl.-Ing. Dr.agr. Jürgen Kurt Friedel

Wien, Juni 2009

Kurzfassung

Die Biogaserzeugung aus landwirtschaftlichen Rohstoffen hat in Österreich an Bedeutung gewonnen. Durch den hohen Bioflächenanteil in Österreich und die gestiegenen Energiepreise ist es auch für Biobetriebe interessant Aufwüchse von Zwischenfrüchten in einer Biogasanlage zu verwerten.

Das wesentliche Ziel dieser Diplomarbeit ist es, zu erheben, welche Trockenmasseerträge verschiedene Kulturarten bei biologischer Wirtschaftsweise mit Biogasgülledüngung in einem Jahr erzielen können. Neben dem Trockenmasseertrag spielt auch der Trockensubstanzgehalt des Erntegutes eine entscheidende Rolle für die Biogasproduktion.

Die Untersuchung zeigt auf, welche Trockenmasseerträge auf dem Standort Lambach (Oberösterreich) erzielt werden können. Verglichen werden die Erträge von Rotklee, Rotklee gras, Mais nach abfrostender Winterbegrünung, Sonnenblume nach abfrostender Winterbegrünung, Mais nach der Erstfrucht Grünroggen und Mais nach der Erstfrucht Wickroggen. Es werden zwei Düngungsstufen (0 kg N und Biogasgülle nach ÖPUL Richtlinie), einander gegenübergestellt.

Die Ergebnisse zeigen, dass insbesondere das Zweifruchtnutzungssystem von Mais und Wickroggen mit Biogasgülledüngung die höchsten Trockenmasseerträge im ökologischen Landbau erzielt. Es sind Jahreserträge von bis zu 22,1 t je Hektar zu erreichen. Rotklee erreicht mit drei Aufwüchsen bis zu 11,5 t TM je Hektar. Sonnenblumen können bei entsprechender Witterung und Gülledüngung bis zu 14,1 t TM je Hektar erreichen.

Besonders gut eignen sich die Aufwüchse von Rotklee und Rotklee gras sowie die Erträge von Grün- und Wickroggen. Die anfallende Biogasgülle kann optimal zur Ertragssteigerung der Marktfrüchte wie Mais und Getreide eingesetzt werden. Der Grundgedanke der Nachhaltigkeit und der ausgewogenen Fruchtfolge muss unbedingt eingehalten werden.

Abstract

During the last few years, renewable energy systems have been becoming increasingly important. In particular, biogas production from agricultural raw material has gained importance in Austria. Due to the rising number of organic farms and energy prices, the use of plants for biogas production becomes more and more interesting for organic crop growing.

The main objective of this thesis is to elevate the dry matter yields of various crops by organic fertilization with biogas manure within one year. In addition to the dry matter yield, the dry matter content of the harvested crops plays an increasingly important role in biogas production.

Field trials of different crops show the potential of dry matter yields. In this respect, a comparison of the yields of red clover, red clover gras, maize after winter greenery, sunflowers after winter greenery, maize after green rye and maize after Wickroggen was conducted in Lambach (Upper Austria) with a focus on two different levels of fertilization (0 kg N, limitation of liquid manure according to ÖPUL directive).

The results show that especially the second crop use of maize after Wickroggen with manure fertilization reaches the highest dry matter yields in organic farming. Annually, 22.1 tonnes of dry matter per hectare can be achieved. Secondly, red clover gains with three harvests up to 11.5 tons of dry matter per hectare. Thirdly, sunflowers produce up to 14.1 tonnes of dry matter per hectare under appropriate weather conditions and manure fertilization.

Resumingly, the growing crop of red clover, red glover gras and the yields of Grün- und Wickroggen are suitable for biogas production in organic farming. Furthermore, biogas slurry can be used to increase market crop yields of maize and grain. Nevertheless, the biogas production in organic farming must not compete with food production. The basic idea of sustainability and balanced crop rotation is indispensable for organic farming.

Inhaltsverzeichnis

1. Vorwort	9
2. Einleitung	10
2.1. Frage- und Problemstellung	12
2.2. Ziele	13
3. Stand des Wissens.....	14
3.1. Ziele des Zwischenfrucht- und Zweitfruchtanbaues im ökologischen Landbau	14
3.2. Empfehlung für die Erstellung von biologischen Fruchtfolgen	14
3.3. Zweikulturnutzungssystem - WAS ist das?	15
3.4. Maisanbau im Ökolandbau	16
3.5. Anbausysteme bei Mais im Vergleich.....	17
3.5.1. Zwischenfruchtanbau vor Mais	17
3.5.2. Engsaat.....	17
3.5.3. Roggen oder Wickroggen als Vorfrucht für Mais	18
3.6. Standortansprüche von Mais (Zea mays)	18
3.6.1. Biomasseerträge bei Mais	19
3.6.2. Unkrautbekämpfung im ökologischen Maisanbau	19
3.7. Standortansprüche der Sonnenblumen (Helianthus annuus)	20
3.8. Standortansprüche für Grünroggen (Secale cereale)	22
3.9. Standortansprüche für Rotklee (Trifolium pratense)	22
3.10. Rechtliche Grundlagen zum Einsatz von Biogasgülle in der Ökologischen Landwirtschaft.....	22
3.10.1. Nährstoffgehalte der Biogasgülle	24
3.11. Biomasseerträge einzelner Kulturarten	25
3.12. Biogasbildungsvermögen von Energiepflanzen	27
3.13. Silagequalität	28
3.13.1. Grassilagen	29
3.13.2. Maissilage	29
3.13.3. Ganzpflanzensilage (GPS) aus Getreide	29
3.13.4. Sonnenblumensilage	30
3.14. Silierhilfsmittel	31
4. Feldversuchsstandort und Methoden	32
4.1. Versuchsanlage.....	33
4.2. Versuchsdurchführung.....	35

4.3. Sorten und Saatstärken	37
4.4. Düngung.....	37
4.5. Untersuchungsmethoden	39
4.5.1. Ertragsermittlung	39
4.5.2. Bonituren	40
4.5.3. Bodenproben.....	40
4.5.3.1. Analysemethoden für Nährstoffe.....	41
4.5.4. Messung des Blattflächenindex (LAI – Leaf Area Index)	41
4.5.5. Statistische Methoden	41
5. Ergebnisse	42
5.1. Witterung im Versuchszeitraum.....	42
5.2. N_{min} – Untersuchung und Bodenanalyse	44
5.3. Ergebnis der Messung des Blattflächenindex	47
5.4. Beschreibung und Vergleich der Bonituren im Herbst und Frühjahr	48
5.5. Unkrautunterdrückung	49
5.5.1. Rotklee und Rotklee gras.....	49
5.5.2. Mais und Sonnenblumen	49
5.6. Entwicklungsstadien der Kulturarten zu den Ernteterminen	50
5.7. Zusammensetzung der Rotklee- und Rotklee grasbestände bei den Ernteterminen	51
5.8. Gesamttrockenmasseertrag.....	52
5.9. Verlauf des TM-Ertrages zu den Zeiternten	55
5.10. Ergebnis der TS-Messung zu den Zeiternteterminen	58
6. Diskussion	60
6.1. Wachstumsbedingungen (Bodeneigenschaften, Witterung, N_{min} und Nährstoffversorgung, Blattflächenindex, Beikrautbesatz).....	60
6.2. Kulturarteneinfluss	63
6.3. Düngungseinfluss	66
6.4. Optimaler Erntetermin und Trockensubstanzgehalt.....	67
7. Schlussfolgerungen und Ausblick	70
8. Zusammenfassung.....	73
9. Literaturverzeichnis.....	75
10. Abbildungsverzeichnis	83

11. Tabellenverzeichnis	83
--------------------------------------	-----------

12. Anhang	83
-------------------------	-----------

Danksagung

Mein besonderer Dank gilt Prof. DI Dr. Jürgen Friedel für die Betreuung meiner Arbeit und die Geduld, die er für mich aufbrachte.

DI Regina Hrbek, Mag. Thomas Rinnofner, Mag. Christian Leonhartsberter und DI Debora F. Lyson danke ich für die Projektplanung und die ständige Bereitschaft meine Fragen zu beantworten sowie für die gute Zusammenarbeit bei der Erstellung meiner Arbeit.

Frau DI Waltraud Hain und ihren Mitarbeitern der Versuchsstation Lambach danke ich für die großartige Unterstützung und Mithilfe bei der Anlage sowie der Durchführung der Gülledüngung und Erntemaßnahmen bei dem Feldversuch. Ohne die Unterstützung und tatkräftige Mithilfe der Mitarbeiter der Versuchsstation wäre eine ordnungsgemäße und zeitgerechte Durchführung des Feldversuches nicht möglich gewesen.

Ganz besonders möchte ich mich bei meiner Familie (Mutti, Goli und Gödi, sowie Tante Rosi und Onkel Ernst) bedanken, die mir beim Auszählen und Sortieren des Erntematerials geholfen hat. Ohne ihre Mithilfe wäre ich wahrscheinlich bei der Auszählung verzweifelt und nie fertig geworden. Herzlicher Dank gilt hier vor allem meiner Goli die uns bei jedem Erntetermin mit Kaffee und Kuchen versorgt hat.

Wien, im Juni 2009

Christian Sturm

Abkürzungsverzeichnis

GR	Grünroggen
WiRo	Wickroggen
SB	Sonnblume
WB	Winterbegrünung
ZF	Zwischenfrucht
LG	Landsberger Gemenge
GPS	Ganzpflanzensilage
WW	Winterweizen
TM	Trockenmasse
FM	Frischmasse
TS	Trockensubstanz
N	Stickstoff
ha	Hektar
t	Tonne
EC	Entwicklungsstadium
%	Prozent
N _{min}	mineralisierter Stickstoff
NH ₃	Ammoniak
N ₂ O	Lachgas
LAI	Leaf Area Index = Blattflächenindex
STABW	Standardabweichung
m ³ _N CH ₄	Normkubikmeter Methan
oTS	organische Trockensubstanz

1. Vorwort



Diese Diplomarbeit wurde im Rahmen des Projektes „Agrarische Rohstoffbasis zur Biogaserzeugung“ durchgeführt.

Dieses Projekt wird im Rahmen der Programmlinie „Energiesysteme der Zukunft“ – einer Initiative des Bundesministeriums für Verkehr, Innovation und Technologie (BMVIT) – durchgeführt. Die Programmlinie „Energiesysteme der Zukunft“ wird auf Empfehlung des Rates für Forschung und Technologie aus Sondermitteln der Technologieoffensive der Bundesregierung finanziert.



2. Einleitung

Die Vorräte an fossiler Energie sind begrenzt, und aufgrund des ständig steigenden Energiebedarfs steigt auch die Nachfrage an Energie aus nachwachsenden Rohstoffen. Eine Möglichkeit für den landwirtschaftlichen Betrieb Energie zu erzeugen ist die Produktion von Biogas. Biogas wird durch Vergärung von pflanzlichem Material wie zum Beispiel Aufwüchse von Klee gras, Zwischenfrüchten oder aus Wirtschaftsdüngern landwirtschaftlicher Nutztiere gewonnen. Biogas ist ein Gemisch aus überwiegend Methan und Kohlendioxid, es entsteht in der Natur beim Abbau von organischer Masse unter Luftabschluss.

Erzeugung von Biogas leistet einen wichtigen Beitrag zum Klimaschutz, indem sowohl CO_2 als auch CH_4 -Emissionen reduziert werden.

Ökologisch wirtschaftenden Betrieben ohne Viehwirtschaft stehen keine Wirtschaftsdünger außer Kompost, zur gezielten Nährstoffversorgung von zehrenden Kulturen zur Verfügung. Bei viehaltenden Betrieben stehen für die Düngung Mist und Gülle zur Verfügung. Zur Erhaltung der Bodenfruchtbarkeit und zur Unkrautregulierung wird auf ökologisch wirtschaftenden Betrieben Klee gras angebaut. Die Aufwüchse von Klee gras können ohne Vieh nicht direkt genutzt werden, und verbleiben auf dem Feld.

So können im Vergleich zur bisher üblichen Bewirtschaftung, bei der das Pflanzenmaterial der Klee grasbestände gemulcht und auf der Ackerfläche verbleibt oder zum Teil eingearbeitet wird, Stickstoffüberhänge durch die Ernte abgeschöpft und auf Flächen mit einem N-Defizit verbracht werden. Besonders sinnvoll ist dies bei Klee grasbeständen, wo bei der Zersetzung der Ernterückstände auf dem Feld gasförmige N-Verluste in Form von NH_3 , N_2O und N_2 (LOGES und HEUWINKEL 2004) auftreten können. Die Biogasgülle kann in Folgekulturen wie etwa Weizen zum Zeitpunkt des optimalen Bedarfes eingesetzt werden. Durch diese Vorgehensweise ist es möglich, die Erträge auf Ökobetrieben zu steigern (MÖLLER et al. 2006). Mit der Erzeugung von Energiepflanzen kann die Fruchtfolge auf Biobetrieben erweitert, die vorhandene Biomasse vollständig genutzt, und ein zusätzliches wirtschaftliches Standbein durch die Stromerzeugung geschaffen werden.

Der Betreiber muss möglichst genau über die Ertragserwartung und den Flächenbedarf für die jeweilige Kulturart Bescheid wissen, um eine Biogasanlage zu planen und zu dimensionieren. Eine solche Anlage muss das ganze Jahr hindurch mit einer ausreichenden Menge an geeignetem Gärsubstrat beschickt werden, um eine kontinuierliche Gasproduktion zu gewährleisten.

Bei biologischer Bewirtschaftung kann nicht nur Mais, der die höchsten Methanhektarerträge erzeugt, angebaut werden wie dies in der konventionellen Landwirtschaft möglich ist.

Fruchtfolgen und Fruchtfolgesysteme müssen wesentlich erweitert werden, um die Ertragsfähigkeit des Bodens zu erhalten, und Bodenermüdung und Erosion vorzubeugen. Aus diesem Grund müssen andere Kulturarten auf ihre Eignung für die Fermentation in einer Biogasanlage untersucht werden. Dazu gehört neben dem Trockenmasseertrag auch das Methanbildungsvermögen je kg TM.

Den Erträgen von Rotklee gras und Rotklee bei viehloser Bewirtschaftung wurde bisher wenig Beachtung geschenkt, weil die Aufwüchse wie bereits oben angeführt, gemulcht wurden und auf dem Feld verblieben. Das Mulchen von Klee grasbeständen kann zu reduzierter Biomassebildung und Stickstoff-Bindungsleistung führen (HEUWINKEL et al. 2005). Aufwüchse in Biogasanlagen energetisch zu verwerten, erhöht die Bedeutung von hohen Biomasseerträgen bei diesen Zwischenfrüchten.

Eine Möglichkeit den Biomasseertrag auf einer Fläche zu steigern, stellt die Zweifruchtnutzung dar. Bei dieser Form der Nutzung werden auf ein und derselben Fläche innerhalb eines Jahres zwei Ernten durchgeführt. Die Bodenbedeckung ist beinahe das ganze Jahr hindurch gewährleistet, was insbesondere in Hinsicht auf Erosionsschutz in der biologischen Landwirtschaft von großer Wichtigkeit ist.

Viehlos geführten Biobetrieben stehen Aufwüchse von Zwischenfrüchten zur Verfügung, die in einer Biogasanlage sinnvoll eingesetzt werden können, ohne in Konkurrenz mit der Nahrungs- und Futtermittelproduktion zu stehen. Besonders Klee gras stellt in der ökologischen Landwirtschaft ein wichtiges, wenn nicht sogar das wichtigste Fruchtfolgeglied hinsichtlich der Erhaltung der Bodenfruchtbarkeit dar. Bei Mais soll nicht das Ziel sein die Ganzpflanze in der Biogasanlage zu verwerten, sondern nur die Restpflanze. Das Korn kann besser für die menschliche oder tierische Ernährung verwendet werden. Im Moment steht dafür jedoch noch keine geeignete Erntetechnik zur Verfügung.

2.1. Frage- und Problemstellung

Welche TM-Erträge bestimmte Fruchtfolgeglieder bei biologischer Wirtschaftsweise auf den unterschiedlichen Standorten bei verschiedenen klimatischen Bedingungen erbringen können, ist noch wenig beschrieben. . Teilweise, z.B. bei Mais, werden eigene Sorten für die Energiepflanzennutzung angebaut, über deren Biomasseproduktion noch wenig bekannt ist. Für die Planung und Dimensionierung einer Biogasanlage ist es aber entscheidend zu wissen, welche Erträge mit einer bestimmten Fruchtfolge auf einem landwirtschaftlichen Betrieb erbracht werden können.

In dieser Arbeit sollen die Trockenmassenerträge der verschiedenen Kulturarten, mit und ohne Düngung, und verschieden Erntezeitpunkten verglichen werden. Es wird der Frage nachgegangen ob die Düngung mit Biogasgülle signifikante Mehrerträge bei den jeweiligen Kulturarten bringt, und wie hoch der zu erwartende TM-Ertrag der jeweiligen Kultur ist.

Die Biogasproduktion würde eine sinnvolle Alternative zum bisher praxisüblichen Mulchen der Zwischenfruchtaufwüchse für Biobetriebe ohne Viehhaltung darstellen.

Über die Ertragsleistung von Zweifruchtnutzung für Biogasgewinnung in der biologischen Landwirtschaft stehen bislang kaum Ertragsdaten zur Verfügung. Eine wichtige Frage ist, ob und wie die Vorfrucht, im untersuchten Fall Wickroggen, Grünschnittroggen und Winterbegrünung, die Hauptfrucht Mais im Ertrag beeinflusst, und wie hoch die Biomasseproduktion der jeweiligen Kombination ist.

Die wichtigsten Fragen kurz zusammengefasst sind:

- Welchen TM-Ertrag bringt die jeweilige Kulturart?
- Ist Zweifruchtnutzung sinnvoll?
- Hat Biogasgülldüngung einen signifikanten Einfluss auf die TM-Erträge?
- Wann ist der optimale Erntezeitpunkt der jeweiligen Kulturart?

2.2. Ziele

Landwirte müssen abschätzen, welche Erträge ihre jeweiligen Fruchtfolgeglieder erbringen und wie leistungsfähig ihre am Betrieb angebauten Fruchtfolgen sind. Planer von Biogasanlagen sollen durch die TM-Ertragsdaten einer bestimmten Region in der Lage sein, Biogasanlagen an die Flächenausstattung eines Betriebes optimal anzupassen, damit eine Versorgung mit betriebseigenem Substrat das ganze Jahr hindurch gewährleistet ist.

Ziel dieser Arbeit soll der Vergleich und die Darstellung von Trockenmassenerträgen unterschiedlicher Kulturarten zu verschiedenen Erntezeitpunkten, sowie der Einfluss der Düngung mit Biogasgülle auf den Ertrag in der Biologischen Landwirtschaft sein. Zusätzlich soll die Ertragsleistung bei Zweitfruchtnutzung von Mais nach Wickroggen/Grünroggen in Oberösterreich mit und ohne Biogasgülldüngung ermittelt werden. Es steht die Prüfung von für den ökologischen Landbau besonders geeignet erscheinenden Fruchtfolgeelementen im Mittelpunkt. Die Erarbeitung von leistungsfähigen, ökologisch ausgewogenen Fruchtfolgen ist von großer wirtschaftlicher Bedeutung für die Biogasproduktion. Energiepflanzen können dauerhaft nur in standortangepassten und ökologisch ausgewogenen Fruchtfolgesystemen erzeugt werden. Daher soll die Fruchtfolge die mit Hilfe des Anbauversuches optimiert werden.

Die bei der Fermentation anfallende Biogasgülle und die Gärrückstände stellen für den landwirtschaftlichen Betrieb einen wertvollen Dünger dar. Dieser ist entsprechend dem Nährstoffbedarf auf die Kulturen der Fruchtfolge so zu verteilen, dass die Nährstoffnutzung möglichst effizient ist. Gleichzeitig ist eine Minimierung der Nährstoffverluste anzustreben. Zur bedarfsgerechten und zeitlich optimalen Düngung der Kulturen in Fruchtfolgesystemen für Energiepflanzenproduktion müssen Düngungskonzepte entwickelt werden.

Trockenmassenerträge dieser Untersuchung vom Versuchsstandort Lambach (Oberösterreich) werden mit den Ertragsergebnissen des Projektes „Energiesysteme der Zukunft“ aus Raasdorf (Niederösterreich), einem Trockenstandort, verglichen.

Der optimale Erntezeitpunkt für die jeweilige Kultur in Bezug auf den Trockenmasseertrag soll durch die drei zeitlich versetzten Erntezeitpunkte beim ersten Schnitt bei Rotklee und Rotklee gras, sowie den drei unterschiedlichen Erntezeitpunkten bei Mais und Sonnenblume erhoben und bestimmt werden. Methanhektarerträge wurden für den Standort Lambach nicht experimentell ermittelt.

3. Stand des Wissens

3.1. Ziele des Zwischenfrucht- und Zweitfruchtanbaues im ökologischen Landbau

Mit dem Anbau von Zwischenfrüchten werden viele positive Wirkungen erwartet. Die Nährstoffe sollen im Herbst und Winter konserviert und vor Auswaschung und Verlagerung geschützt werden. Durch Leguminosen als Zwischenfrucht können zum Teil erhebliche Mengen an N_2 aus der Luft fixiert werden und so im darauffolgenden Frühjahr der Nachfrucht zur Verfügung gestellt werden. Zwischenfrüchte können eine unkraut- und schaderregerunterdrückende Wirkung haben, und so Einfluss auf den Ertrag und die Qualität der Nachfrucht haben. Eine ständige Bodenbedeckung erhöht den Erosionsschutz und die Durchwurzelung kann die Bodenstruktur verbessern, sowie die biologische Aktivität des Bodens steigern.

Aufwüchse der Zwischenfrüchte können zum Einen als Futter genutzt, oder zum Anderen in Biogasanlagen einer Zweitnutzung zugeführt werden.

3.2. Empfehlung für die Erstellung von biologischen Fruchtfolgen

Auf biologisch wirtschaftenden Betrieben in vergleichbaren Klimaregionen gilt Klee gras als die wichtigste Kulturart, danach folgen die verschiedensten Getreidearten wie z.B. Winterweizen, Wintergerste, Dinkel und Mais. Körnerleguminosen und Silomais haben ebenfalls große Bedeutung (AMON et al. 2006a). In Tabelle 1 sind Empfehlungen für die Erstellung nachhaltiger, biologischer Fruchtfolgen angeführt.

Tabelle 1: Vorgaben für Kulturanteile biologischer Fruchtfolgen

<i>Kultur</i>	<i>% in der Fruchtfolge</i>
Getreide	max. 70
Winterweizen	max. 35
Körnermais	max. 25
Winterweizen u. Körnermais	max. 50
Feldfutter	min. 20
Körnerleguminosen	max. 25
Kartoffeln	max. 20
Hackfrucht	max. 30
Kartoffel	-
Ölkürbis	-
Silomais	-
Zwischenfruchtanbau	min. 33
Klee gras	max. 33

(LINDENTHAL et al. 2004 verändert)

3.3. Zweikulturnutzungssystem - WAS ist das?

Das Zweikulturnutzungssystem wurde von Rüdiger GRAß und Konrad SCHEFFER an der Universität Kassel- Witzenhausen für den Energiepflanzenanbau entwickelt. Dieses System zeichnet sich durch einen ertragreichen Energiepflanzenanbau bei gleichzeitiger Reduzierung der Umweltgefährdung aus. Beim Zweikulturnutzungssystem sind vielfältige Fruchtfolgen, eine höhere Artenvielfalt und eine Steigerung der Flächenproduktivität beabsichtigt (GRAß u. SCHEFFER 2005). Niederschläge spielen eine wichtige Rolle beim Zweikulturnutzungssystem, insbesondere die Niederschlagsverteilung im Zeitraum von Juni bis September ist für eine Bestandesetablierung von entscheidender Bedeutung und bei der Standortwahl zu beachten. Für eine frühe Aussaat von Zweitfruchtpflanzen sind Vorfrüchte wie Winterraps, Grünroggen, Welsches Weidelgras, Landsberger Gemenge oder Wickroggen geeignet (LÜTKE ENTRUP, OEHMICHEN, 2000 Seite 615). Als Zweitfrüchte kommen je nach Aussaatzeitpunkt Silomais oder Sorghum in Frage. Durch zwei Ernten soll das Jahr über eine möglichst lange geschlossene Pflanzendecke gewährleistet werden. Die

Winterzwischenfrucht muss häufig bereits vor dem maximalen Ertrag geerntet werden, um der Folgefrucht eine genügend lange Vegetationsperiode zu ermöglichen.

Tabelle 2: Fruchtfolgeplanung bei Zweikulturnutzung (nach GRAß u. SCHEFFER 2006)

Jahr	1		2		3		4	
Saat/Ernte	Sept./ Ende Mai	Mai/Okt.	Okt./Juni	Juni/ Sept.	Mai (Ernte)	Mai/ Okt.	Okt./ Juni	Juni/ Sept.
Kultur	WE / R	Mais-SB	Triticale /R	LG	LG	Mais	WW/ Triticale	Senf

Erstkulturen sind grau hinterlegt

WE...Wintererbse, R...Roggen, SB...Sonnenblume, LG...Luzernegras, WW...Winterweizen

Bei Betrieben die viehlos wirtschaften, kann eine Klee grasuntersaat als eine, die Bodenfruchtbarkeit aufbauende Grünbrache, genutzt werden. Wenn die Klee grasbestände nicht genutzt werden, hinterlassen sie größere Mengen an Ernte- und Wurzelrückstände, die Stickstofffixierung ist jedoch wesentlich geringer als bei Schnittnutzung (HEUWINKEL et al. 2004). Größere Auswaschungsverluste über den Winter können vermieden werden, wenn der letzte Aufwuchs im Herbst nicht gemulcht sondern stehen gelassen wird. Dadurch bleibt ein leicht verholzter Aufwuchs stehen, der den Stickstoff über den Winter bindet. Die Einarbeitung sollte demnach erst im Frühjahr erfolgen. Blanksaaten von Klee gras bringen im Zweiten Nutzungsjahr tendenziell höhere Erträge als Untersaaten (LOGES et al., 2002).

3.4. Maisanbau im Ökolandbau

Im Ökologischen Landbau hat der Maisanbau bisher nur eine geringe Bedeutung. Gleichzeitig besteht ein großer Bedarf an einer energiereichen Pflanze; zum Einen als Grundfutter in der Tierhaltung, zum Anderen als Energieträger für Biogasanlagen. Mais ist im Vergleich zu anderen Kulturarten eine relativ gesunde Pflanze, die bisher nur von wenigen Schadorganismen gefährdet wird (GIENAPP, 2001). Dass der Maisanbau im Ökologischen Landbau bisher nur eine untergeordnete Rolle spielt, hängt vor allem mit Umweltgefährdung, Anbauproblemen und Schwierigkeiten in der Kulturführung zusammen. Zu den größten Schwierigkeiten zählen vor allem die aufwändige Unkrautregulierung, die Bodenerosion und

die N-Auswaschung nach der Maissaat sowie die unzureichende Stickstoffversorgung die zu Mindererträgen führt.

Durch das Anbausystem Spätsaat von Silomais nach Winterwicken-Roggengemenge soll die Gefahr der Erosion und N-Auswaschung minimiert, und gleichzeitig der Flächenertrag in einer Vegetationsperiode durch eine zweite Ernte, optimiert werden.

3.5. Anbausysteme bei Mais im Vergleich

3.5.1. Zwischenfruchtanbau vor Mais

Durch den Anbau von in der Regel abfrierenden Zwischenfrüchten (Senf, Phacelia, Ölrettich, Buchweizen) können Nährstoffe die im Winter ausgewaschen werden könnten, im Pflanzenaufwuchs gespeichert werden. Für LÜTKE ENTRUP (1992) stellt das Pflanzenmaterial der abfrostenden Zwischenfrucht im Frühjahr beim Maisanbau keine Konkurrenz mehr dar, und ist als Erosionsschutz sinnvoll.

Winterharte Zwischenfrüchte senken zusätzlich das N-Auswaschungsrisiko, weil durch den wachsenden Pflanzenbestand ein permanenter Nährstoffentzug erfolgt. Im Ökologischen Landbau muss vor der Maissaat unbedingt eine Pflugfurche erfolgen um den Pflanzenbestand abzutöten, da im Unterschied zur konventionellen Bewirtschaftung kein Herbizideinsatz erfolgen darf (LÜTKE ENTRUP und ZERHUSEN, 1992). Wenn, wie bei Grünroggen oder Klee gras eine Schnittnutzung im Frühjahr erfolgt, muss der Boden ebenfalls intensiv bearbeitet werden, um einen gleichmäßigen Maisaufgang zu ermöglichen. Durch die Frühjahrspflugfurche und die langsame Jugendentwicklung des Mais, ist der Boden allerdings mehreren Wochen der Erosionsgefahr ausgesetzt.

3.5.2. Engsaat

Reihenunabhängige Silomaiserntesysteme ermöglichen es, die Reihenabstände der Maisbestände zu reduzieren. Dadurch ist eine für die Maisentwicklung optimalere Standraumverteilung möglich (UPPENKAMP, 2002). Der engere Reihenabstand führt zu zeitigerem Reihenschluss, der die Erosionsgefahr bei Starkregenereignissen im Frühsommer verringert und Bodenabtragung vorbeugt. Bei Anbauversuchen mit einem Reihenabstand von 37,5 cm betrug der Trockenmasse Mehrertrag gegenüber der normalen Reihenweite von 75 cm im Mittel fünf Prozent (DEMMELE, 2007). Im Ökologischen Anbau ist es jedoch schwierig die Reihenweite zu verringern, weil geeignete Unkrautregulierungsmaßnahmen und Anbausysteme nicht zur Verfügung stehen.

3.5.3. Roggen oder Wickroggen als Vorfrucht für Mais

Der Anbau von Mais nach Winterzwischenfrüchten wie Roggen oder Wickroggen bietet viele Chancen für ökologische Betriebe, birgt jedoch auch Risiken, vor allem bei mangelnder Wasserversorgung. Wickroggen ist ein Gemenge aus Roggen und Winterwicke. Der Zweitfruchtanbau zehrt erheblich am Wasservorrat des Bodens, deshalb sind grundwassernahe Standorte und Flächen mit hohem Wasserspeichungsvermögen am besten für den Zweitfruchtanbau geeignet (BERENDONK, 2004). Auf Standorten mit langer Vegetationsperiode kann Mais die verfügbare Vegetationszeit nicht vollständig ausnutzen, weshalb aus diesem Grund Winterzwischenfrüchte angebaut werden können, die die Wachstumsperioden im Herbst und im Frühjahr zu Vegetationsbeginn bis etwa Anfang Mai ausnutzen. Grünroggen oder Wickroggen können bei einer Ernte Ende April zwischen 5,0 – 8,0 t ha⁻¹ TM bringen (LÜTKE ENTRUP, OEHMICHEN Seite 623). Danach angebaute Mais kann dann, ausreichende Nährstoffversorgung und Niederschläge vorausgesetzt, immer noch gute Erträge erzielen. Durch diese Zweifruchtnutzung kann der Methanhektarertrag maximiert werden.

3.6. Standortansprüche von Mais (*Zea mays*)

Mais benötigt zur Keimung Bodentemperaturen zwischen 8 und 10°C. Für gute Pflanzenentwicklung sind Tagesmitteltemperaturen von mindestens 10°C notwendig. Der Wachstumsbeginn setzt erst mit 14 bis 15°C ein, und die volle Photosyntheseleistung wird bei Temperaturen von über 25°C erreicht (DIEPENBROCK et al. 2005). Auf Spätfröste reagieren die Maispflanzen sehr empfindlich. Frostereignisse von wenigen Stunden unter -2°C können die Abreife abrupt beenden (DIEPENBROCK et al. 2005). Als C4 Pflanze hat Mais in Vergleich zu anderen Kulturen einen geringen Wasserbedarf zur Produktion pflanzlicher Substanz. Der Transpirationskoeffizient von Mais liegt etwas bei 350 - 400 l Wasser je kg Trockenmasse (MAIER, 1998; KAHNT 1986). Weizen benötigt im Vergleich dazu 400 – 600 l Wasser für ein kg Trockenmasse (DIEPENBROCK, 2005). Mais stellt an den Boden keine besonderen Ansprüche. Bevorzugt werden neutrale, bis schwach saure, leicht erwärmbare Böden (GÖTZ, KONRAD 1987).

3.6.1. Biomasseerträge bei Mais

Im Vegetationsverlauf entwickelt sich der Trockenmassezuwachs bei Mais negativ, das heißt, dass die Zuwächse im Laufe der Vegetationsperiode abnehmen. Als Energiemais sind solche Sorten geeignet, die bei einem Trockenmassegehalt von 35% ihr Ertragsmaximum erreichen (AMON et al., 2006). Die Trockenmasseerträge nehmen häufig mit Vollreife der Maispflanzen durch Bruch- und Atmungsverluste wieder ab (AMID, 2004, S. 64; AMON et al., 2003). Daher ist die Nutzung der Maispflanzen im optimalen Reifestadium von großer Wichtigkeit, da nur so das genetische Potential der Maissorten ausgeschöpft werden kann. Im Ökolandbau müssen allerdings bei der Wahl des Erntezeitpunktes eventuelle Saatzeitanprüche der Folgekultur berücksichtigt werden, um eine möglichst geschlossene Bodenbedeckung zu gewährleisten.

Bei der Energiemaissnutzung lassen sich für AMON (et al. 2006) drei verschiedene Nutzungsformen unterscheiden. Einerseits Energiemais als einzige Hauptkultur im Vegetationsjahr, Energiemais als Hauptkultur nach einer Vorfrucht (z.B. Winterroggen oder Wicke) und Energiemais im Gemengeanbau mit anderen Kulturarten (z.B. Sonnenblumen). Die Anforderungen, die an Energiemaissorten gestellt werden sind in erster Linie ein hohes Biomassepotential und ein hohes spezifisches Methanbildungsvermögen. Am besten eignen sich dafür lt. Kuratorium für Technik und Bauwesen (KTBL, 2006) höherwüchsige, spätere Sorten, mit ausreichender Standfestigkeit und hoher Masseleistung. Die Ertragssicherheit stellt vor allem in Gebieten, die nicht die optimalen Anbaubedingungen aufweisen, ein weiteres Qualitätskriterium dar.

Auf guten Maisstandorten in Oberösterreich eignen sich mittelspäte und spätreife Maissorten mit Reifezahlen zwischen FAO 320 und FAO 370 am besten für die Biogasverwertung. Der optimale Erntezeitpunkt liegt in Oberösterreich bei Anfang September/Anfang Oktober, nach rund 160 Wuchstagen zum Ende der Teigreife (MINIHUBER, 2007).

3.6.2. Unkrautbekämpfung im ökologischen Maisanbau

Bei der Unkrautregulierung im ökologischen Maisanbau spielt der Striegel eine wichtige Rolle. Die Hauptwirkung des Striegels liegt im Verschütten der Unkräuter, deshalb sollte das Striegeln möglichst im Keimblattstadium des Unkrautes erfolgen. Der Striegel kann vor dem Auflaufen des Mais und nach dem Dreiblattstadium eingesetzt werden. Zwischen dem Spitzkeimblattstadium und dem Dreiblattstadium ist der Mais besonders empfindlich gegenüber mechanischer Beanspruchung, und sollte daher zu diesem Zeitpunkt nicht gestriegelt werden (MÜCKE, MEYERCORDT, 2007). Besonders wichtig für den effektiven und

schonenden Geräteeinsatz ist ein gut rückverfestigtes, ebenes Saatbett (LEISEN, MILTNER, 2008).

Bei Sichtbarwerden der Maisreihen ist der Einsatz von Schar-, Stern- oder Rollhacken möglich. Im Gegensatz zum Striegel können auch spätere Entwicklungsstadien der Unkräuter zwischen den Reihen erfasst und bekämpft werden. Beim Hacken ist darauf zu achten, dass nicht zu nahe an den Maispflanzen gehackt wird und dabei die Wurzeln verletzt werden.

Um Unkräuter zwischen den Reihen zu entfernen, bietet sich die Fingerhacke an. Die flexiblen Gummifinger einer drehbaren Metallscheibe greifen rechts und links in die Reihen ein. Durch die horizontale Scherwirkung der Gummifinger werden die Unkräuter entfernt. Der Einsatz der Fingerhacke ist bis zum Drei- bis Vierblattstadium der Unkräuter sinnvoll (MÜCKE, MEYERCORDT, 2007).

Anhäufeln des Maises ist ebenfalls eine sehr effektive Unkrautregulierungsmaßnahme. Durch die gute verschüttende Wirkung der Häufelkörper werden auch ältere Unkräuter wirkungsvoll bekämpft (MÜCKE, MEYERCORDT, 2007). Häufeln ist jedoch nur bei Reihenweiten zwischen 70 cm - 75 cm möglich. Bei Engsaatverfahren im Silomaisanbau ist die Unkrautregulierung innerhalb der Pflanzenreihen bisher nur schwer möglich.

Für GRASS (2003) haben bei der Biogasgewinnung auch Wildpflanzen bzw. Unkräuter eine vergleichbare Energieausbeute wie die Kulturpflanzen. Aus diesem Grund kann ein höherer Unkrautbesatz geduldet werden. Wichtig ist dabei jedoch, dass die Unkräuter nicht die Samenreife erreichen, um das Samenpotenzial im Boden nicht zu erhöhen.

Bei Rotklee und Rotklee gras können manche Unkräuter, die in anderen Kulturen nur schwer bekämpfbar sind, wie etwa die Distel, reduziert werden. Wird Klee gras neu angesät, kann nach einigen Wochen ein Schröpfungsschnitt zur Unkrautregulierung durchgeführt werden. Die hohe Bodenbeschattung und die häufige Schnittnutzung der Klee gras aufwüchse können Unkräuter regelrecht aushungern.

3.7. Standortansprüche der Sonnenblumen (*Helianthus annuus*)

Sonnenblumen haben einen hohen Anspruch an die Temperatur. Die Wärmesumme sollte nach MAKOWSKI (in LÜTKE ENTRUP, OEHMICHEN 2000) in der Zeit von Mitte April bis Ende September mindestens 1450 °C betragen. Grundsätzlich wachsen Sonnenblumen dort, wo Körnermais der mittelfrühen Reifegruppe angebaut werden kann. Die Aussaat erfolgt üblicherweise Anfang April. Die Aussaat sollte bis spätestens Juli erfolgen, da hohe Erträge nur nach etwa 10 – 12 Wochen Vegetationsdauer zu erreichen sind (LÜTKE ENTRUP,

OEMICHEN, 2000 S 641). Auf späte Saat reagiert die Sonnenblume mit deutlichen Ertragsminderungen. Die Ablagetiefe soll 3 – 5 cm betragen. Die optimale Reihenentfernung liegt bei 45 – 60 cm, auch 75 cm Reihenabstände können auf leichten Böden ausreichende Erträge erzielen. Für LÜKTE ENTRUP und OEHMICHEN (2000) sind Bestandesdichten bei Sonnenblumen für Ölnutzung von 6 – 7 Pflanzen je m² anzustreben. Bestandesdichten mit mehr als 70.000 Pflanzen pro ha bringen keine Ertragsvorteile mit sich. Hohe Bestandesdichten verringern den Pflanzenabstand innerhalb der Reihe, erhöhen die Gefahr der Lagerung und erleichtern die Ausbreitung von Krankheiten.

Die Sonnenblume ist gegenüber Unkräutern äußerst konkurrenzkräftig, daher ist es möglich die Bestände mechanisch, durch Striegeln oder Hacken, unkrautfrei zu halten.

Sonnenblumen sind im Vergleich zu anderen Kulturen vergleichsweise trockentolerant. Das Wurzelsystem ist kräftig entwickelt und besitzt ein hohes Aufschlussvermögen für Nährstoffe. Folgefrüchten stehen durch das hohe Nährstoffaneignungsvermögen der Sonnenblume weniger Nährstoffe zur Verfügung, dies gilt es bei der Wahl der Folgefrucht zu bedenken. Der Wasserbedarf der Sonnenblume beträgt während der Vegetationszeit etwa 400 mm aus Niederschlägen oder aus dem Wasservorrat (LÜTKE ENTRUP, OEMICHEN 2000).

Innerhalb einer Fruchtfolge sollte aufgrund der Anfälligkeit gegenüber *Sclerotinia sclerotiorum* ein Anteil von über 25 % Sonnenblume nicht überschritten werden. Wirtspflanzen von *Sclerotinia* wie zum Beispiel Raps oder Körnerleguminosen sollten in getrennte Fruchtfolgen gestellt werden um eine Infektion der Sonnenblumen zu verhindern. Gute Vorfrüchte für Sonnenblumen sind alle Getreidearten (LÜTKE ENTRUP et al 2000). Leguminosen und Hackfrüchte sollen wegen des hohen Stickstoffangebotes im Boden, der die Reife der Sonnenblume verzögert, nicht als Vorfrüchte angebaut werden. Sonnenblumen besitzen zwar einen hohen Vorfruchtwert, sind jedoch nicht selbstverträglich. Aufgrund des möglichen Durchwuchses der Ausfallsonnenblumen im Folgejahr, ist die Auswahl der Folgefrucht gerade im Ökolandbau etwas eingeschränkt. Sonnenblumen hinterlassen eine gute Bodengare und sind aus diesem Grund eine optimale Vorfrucht für Winterweizen oder Mais. Für die Grünnutzung und als nachwachsender Rohstoff sind Sorten mit rascher Masseproduktion sowie hohen Sproßtrockenmasse- und Rohproteinträgen zu bevorzugen (AUFHAMMER, 1998).

3.8. Standortansprüche für Grünroggen (*Secale cereale*)

Grün- oder Futterroggen stellt nur sehr geringe Ansprüche an den Standort. Für eine hohe Ertragsleistung ist die Bestockung der Einzelpflanzen vor dem Winter erforderlich (LÜTKE ENTRUP, OEMICHEN S623). Die Aussaat sollte je nach Standort zwischen Mitte September und Anfang Oktober erfolgen. Roggen kann bereits bei 1-3°C Lufttemperatur wachsen, und hat somit den geringsten Grenzwert für den Wachstumsbeginn von allen Getreidearten (LÜTKE ENTRUP, OEHMICHEN S365). Vor dem Winter können von Grünroggen 30 – 50 kg*ha⁻¹ Stickstoff aufgenommen und auch Wirtschaftsdünger zur Deckung des Düngedarfs verwertet werden.

3.9. Standortansprüche für Rotklee (*Trifolium pratense*)

Rotklee sollte nicht auf leichten Sandböden oder sauren Böden angebaut werden, bei stark humosen Böden steigt die Auswinterungsgefahr an. Bei guter Versorgung mit Phosphor und Kali stellt Rotklee keine besonderen Ansprüche an den Boden, gedeiht jedoch auf tiefgründigen, mittelschweren bis schweren Böden am besten (HANUS et al. 1999). Durch die hohe Trockenmasseproduktion weist Rotklee einen hohen Wasserbedarf auf, die untere Grenze für den Rotkleeanbau liegt bei 600 – 650 mm Niederschlag. Aus diesem Grund ist Rotklee eine geeignete Pflanze für kühl-feuchte Lagen (LÜTKE ENTRUP, OEHMICHEN 2000, S 598; DIEPENBROCK et al. 2005). Rotklee ist mit sich selbst unverträglich, daher müssen Anbaupausen von 5 - 8 Jahren eingehalten werden, um eine Anreicherung von Schaderregern wie Nematoden oder Kleekebs auf den Schlägen zu vermeiden. Rotklee sollte kurz in den Winter gehen, um Krankheiten vorzubeugen, zu hohe Rotkleebestände müssen daher im Herbst gemäht oder gemulcht werden. Die Konkurrenzkraft des Rotklees gegenüber Unkräutern wird als hoch eingestuft.

3.10. Rechtliche Grundlagen zum Einsatz von Biogasgülle in der Ökologischen Landwirtschaft

Als Grundlage für die Anwendung von Biogasgülle und Gärrückständen in der Biologischen Landwirtschaft dient die EU- Verordnung EG Nr. 834/2007 über den ökologischen Landbau und die entsprechende Kennzeichnung der landwirtschaftlichen Erzeugnisse und Lebensmittel.

Laut Austria Bio Garantie, einer Kontrollstelle für Biobetriebe, müssen alle Ausgangsmaterialien, welche in der Biogasanlage vergoren werden, für den Biobetrieb erlaubt sein. Die verschiedenen Verbände haben teils unterschiedliche Vorgaben. Sämtliche zusätzlichen Anforderungen an die Düngemittel müssen eingehalten werden. Im Anhang der EU- Verordnung EG Nr. 834/2007 findet sich eine Liste mit Stoffen, die zusätzlich zu den betriebseigenen Düngemitteln als Ausgangsmaterial für Biogasanlagen eingesetzt werden dürfen.

Bei der Vergärung von Mais-, Soja- oder Rapspflanzen, die nicht aus dem eigenen Betrieb stammen, muss mit einer Verpflichtungserklärung gewährleistet sein, dass diese nicht aus gentechnisch verändertem Saatgut stammen. Für Grassilagen gibt es keine Beschränkungen. Haushaltsabfälle dürfen nur dann als Ausgangsmaterial für die Vergärung verwendet werden, wenn diese aus geschlossenen und kontrollierten und von den Mitgliedstaaten zugelassenen Sammelsystemen stammen. Gärrückstände aus Haushaltsabfällen müssen die Schwermetallgrenzwerte der EU Verordnung EG Nr. 834/2007 einhalten.

Das Wasserrechtsgesetz 1959 und das Aktionsprogramm 2003 (Verordnung zum Schutz der Gewässer vor Verunreinigung durch Nitrat aus landwirtschaftlichen Quellen gem. §55b WRG 1959) beinhalten Ausbringungsbeschränkungen für stickstoffhaltige Düngemittel. Diese Gesetze gelten somit auch für das Ausbringen von Biogasgülle und Gärrückständen. Im Aktionsprogramm 2003, gültig seit 1. Jänner 2004 ist die zulässige Ausbringungsmenge an Stickstoff aus Wirtschaftsdüngern mit 170 kg je Hektar landwirtschaftlicher Nutzfläche und Jahr beschränkt. Ein absolutes Stickstoffdüngungsverbot gilt auf durchgefrorenen und wassergesättigten Böden, sowie bei geschlossener Schneedecke. Ein Anwendungsverbot von Gülle gilt auch von 15. Oktober bis 15. Februar ohne Gründeckung und von 15. November bis 15. Februar mit Gründeckung (BMLFUW 2006).

BIO Austria Betriebe dürfen nur Biogasgülle nach vorhergehender Genehmigung durch die Kontrollstelle zukaufen. Die Genehmigungsvoraussetzungen sind zum Einen ein Mindestanteil von 20 % Leguminosen in der Hauptfruchtfolge des betroffenen Jahres, und zum Anderen die Inputmaterialien in der Anlage entsprechend den Vorgaben von BIO Austria. Die genehmigbare Zukaufsmenge an Stickstoff konventioneller Herkunft errechnet sich aus der Rückführung der vom Biobetrieb in Form von Substraten angelieferten Stickstoffmenge und einem zusätzlichen Zukauf von maximal 25 kg jahreswirksamen Stickstoff pro ha und Jahr (die Berechnung erfolgt gemäß ÖPUL 2007). Zur Qualitätssicherung ist jährlich eine Nährstoffuntersuchung durchzuführen, und aus

hygienischen Gründen hat generell eine dreimonatige Nachlagerung der Biogasgülle bei zusätzlichem Einsatz von Ausgangsmaterialien biologischer Herkunft gemäß „EU-VO Tierische Nebenprodukte 1774/2002“ z. B. pflanzliche und tierische Haushaltsabfälle biologischer Herkunft (BIO AUSTRIA Produktionsrichtlinien) zu erfolgen.

Tabelle 3: Schwermetallgrenzwerte der österreichischen Düngemittelverordnung und der EU Verordnung 2092/91 im ökologischen Landbau

Schwermetall	Einheit	Grenzwert DMVO	Grenzwert EU- VO 2092/91
Blei	mg kg ⁻¹ TM	100	45
Cadmium	mg kg ⁻¹ TM	3	0,7
Chrom	mg kg ⁻¹ TM	100	70
Nickel	mg kg ⁻¹ TM	100	25
Kupfer	mg kg ⁻¹ TM	-	70
Quecksilber	mg kg ⁻¹ TM	1	0,4
Zink	mg kg ⁻¹ TM	-	200

3.10.1. Nährstoffgehalte der Biogasgülle

Der Nährstoffgehalt und auch der Trockenmassegehalt der Biogasgülle wird vom Nährstoffgehalt der Ausgangssubstrate, der Intensität der Fermentation und den Lagerungsverlusten beeinflusst (KERSCHBERGER, et al. 2002).

Die Hauptnährstoffe Stickstoff, Phosphor und Kalium gehen im Gärprozess nicht verloren, ein Teil der Nährstoffe wird jedoch in eine leichter pflanzenverfügbare Form umgewandelt (DÖHLER 2004, BREITSCHUH, et al. 2006).

Tabelle 4: Nährstoffgehalte der Ausgangssubstrate (KERSCHBERGER et al. 2002, verkürzt)

Substrat	TS (%)	Nährstoffgehalte (kg t ⁻¹)		
		N	P	K
Maissilage	32	4,1	0,72	4,2
Roggen GPS	40	8,3	1,5	14
Grassilage	40	10	1,5	12
Kleegrassilage	40	11	1,4	12

GPS ... Ganzpflanzensilage, TS... Trockensubstanz

Der Ammoniumanteil am Gesamtstickstoffgehalt steigt deutlich an, daher ist der Stickstoff schneller pflanzenverfügbar, allerdings unterliegt er auch höherer Auswaschungsgefahr. MESSNER (1988) geht davon aus, dass gleiches auch für den Phosphor gilt. Durch die Biogaserzeugung kommt es, bedingt durch den Abbau der organischen Substanz zu Masseverlusten bei Silage mit 25 bis 40 % TS von 20 bis 30 %. Das C/N Verhältnis in der Biogasgülle verengt sich (MESSNER, 1988) durch den Abbau von 20 bis 80 % des Kohlenstoffs, abhängig vom Ausgangssubstrat, in Methan (BREITSCHUH, et al. 2006). Bei gut vergorener Biogasgülle verbessern sich auch Ausbringungseigenschaften wie Ablauf- und Infiltrationsverhalten, zudem werden durch die Fermentation geruchsaktive Substanzen wie Fettsäuren Phenole und organische Säuren weitgehend beseitigt (DÖHLER 2004, HANSEN et al. 2006). Durch eine Vergärung der Biogasgülle können die Gerüche um bis zu 60 % reduziert werden (HANSEN et al. 2006). Eine Reduktion der geruchsaktiven Stoffe vermindert die Geruchsbelästigung für die Anrainer, und bei geringerem Gehalt an organischen Säuren wird die Verätzungsgefahr für die mit Gülle gedüngten Pflanzenbestände minimiert. Durch die anaerobe Vergärung können die klimarelevanten Gasemissionen von Methan und Lachgas deutlich reduziert werden, besonders wenn die anschließende Gärrestelagerung in geschlossenen Behältern erfolgt (AMON et al. 2006c).

3.11. Biomasseerträge einzelner Kulturarten

Die Literaturangaben zu Biomasseerträgen der einzelnen Kulturen sind stark unterschiedlich. Tabelle 5 soll einen Überblick über die verschiedenen Trockenmasseerträge, die bei den jeweiligen Kulturen in verschiedenen Versuchen erzielt wurden, geben. Die Trockenmasseerträge sind abhängig vom Standort, der Niederschlagsverteilung und der Kulturführung. Die Umweltbedingungen werden in der Literatur meist nicht angeführt. Aus diesem Grund sind die angegebenen Erträge nicht direkt miteinander vergleichbar und auf jeden Standort übertragbar. Sie sollen Richtwerte liefern, welche Erträge erzielbar sind.

Die unterschiedlichen Silomaiserträge sind durch verschiedene Sorten und Erntezeitpunkte begründet, bei Klee und Klee gras ist die Schnitthäufigkeit entscheidend für den Trockenmasseertrag. Bei Grünroggen und Wickroggen sind der Erntezeitpunkt und der Vegetationszustand der Pflanze im Frühjahr von großer Bedeutung.

Tabelle 5: Trockenmasseerträge einzelner Kulturarten aus verschiedenen Literaturquellen

Energiepflanze	Biomasseertrag t*ha⁻¹ TM	Quelle
Silomais	13,9 – 16,4	Entrup Lehrbuch des PFB (614)
Silomais	10,5 – 12,0	Lehmann, 2006
Silomais	15,9 – 30,8 je nach Erntezeitpunkt und Sorte	Amon et al. 2006
Mais nach Wintererbse	11,1 – 13,8	Grass, Rüdiger 2003
Mais nach Gemenge	10,2 – 11,9	Grass, Rüdiger 2003
Grünroggen + Silomais	2,4 + 8,5-9,5	Lehmann, 2006
Grünroggen + Silomais	4,5 + 12,0	Gröbblinghoff, 2004
Grünroggen + Silomais	20,0	Entrup Lehrbuch des PFB 2 (616)
Sonnenblumen	4,5 – 5,5	Entrup Lehrbuch des PFB 2 (619)
Gras	10,2 – 11,4 (4-schnitte)	Amon et al. 2006
Weidelgras	4,2	Berendonk, Mais 4/2004
Roggen	3,2	Amon et al.
Grünroggen	6,0	Entrup Lehrbuch des PFB 2 (616)
Grünroggen	1,5 - 2,0	Berendonk, Mais 4/2004
Wickroggen	6,9	Dietze 2006
Wintererbse/Roggengemenge	6,0 – 6,9	Grass, R. 2003
Kleegras	5,7 – 6,5	Fistarol Lyson, 2002
Rotkleegras	11,1 – 12,7	Entrup Lehrbuch des PFB 2 (614)
Luzerne	8,9	Entrup Lehrbuch des PFB 2 (574)
Rotklee	10,5 – 12,2	Entrup Lehrbuch des PFB 2 (614)
Klee	8,7	Freyer et al. 2005

3.12. Biogasbildungsvermögen von Energiepflanzen

Zur Biogasproduktion werden verschiedene Energiepflanzen als Rohstoff in Biogasanlagen eingesetzt. Das Gasbildungsvermögen der jeweiligen Rohstoffe wird in Labor- und Praxisversuchen ermittelt. In Tabelle 6 werden die Biogas und Methanerträge der gängigsten und in der Praxis am häufigsten angebauten Energiepflanzen aufgelistet. Den Untersuchungen liegen zum Teil unterschiedliche Rahmenbedingungen zugrunde, daher sind die Werte aus der Tabelle nicht ohne weiteres in die Praxis übertragbar (vgl. AMON et al., 2007). Für die Energiegewinnung ist der Methangehalt im Biogas von größter Bedeutung. Der Methangehalt kann jedoch, je nach Gärbedingungen, stark schwanken (vgl. AMON, 2003).

Die Inhaltsstoffe (Eiweiß, Fett, Rohfaser und N- freie Extraktstoffe) bestimmen hauptsächlich die Methanausbeute aus der Biomasse. Die Konzentration der Inhaltsstoffe ist stark abhängig vom Vegetationsstadium der Pflanzen bei der Ernte. Aus diesem Grund ist die Ernte zum richtigen Zeitpunkt von wesentlicher Bedeutung für den Methanertrag pro Hektar.

Tabelle 6: Biogas und Methanbildungsvermögen einzelner Kulturen

Energiepflanze	Biogasertrag (l*kg ⁻¹ oTS)	Methanertrag (l*kg ⁻¹ oTS)	Methode	Quelle
Futtergras	600-700		Biogasanlage	Krampl 2000
Raygras		390-409	Batch Versuch	Pouech et al 1998
Grasmischung Silage		199- 244	Laborflussdigestor	Zauner und Küntzel 1986
Grasmischung Silage		298-315	Batch Versuch	Zauner und Küntzel 1986
Grassilage	500-600		k. A.	Baserga 2000
Gras Welksilage		433	Berechnung	Linke et al 1999
Grünschnitt	780		k. A.	KTBL 1996
Futterroggen – Grüngut		432	Berechnung	Linke et al 2000
Winterroggen		419	Berechnung	Linke et al 1999
Roggen Ganzpflanzensilage	664	-	k. A.	AMON et al. 2006
Maissilage		397	Batch Versuch	Pouech et al 1998
Maissilage		181-184	Laborflussdigestor	Zauner und Küntzel 1986

Maissilage	800		k. A.	KTBL 1996
Maissilage		270-289	Batch Versuch	Zauner und Küntzel 1986
Maissilage		422	Berechnung	Linke et al 1999
Sonnenblumensilage	-	154 - 454	Batch- Versuch	AMON et al. 2002
Klee	500-650		k. A.	Baserga 2000
Klee		350	Batch Versuch	Pouech et al 1998
Klee	264	152	Laborflussdigestor	Pouech et al 1998
Luzerne Grüngut		432	Berechnung	Linke et al 1999
Wicken- Silage		323	Batch Versuch	Zauner und Küntzel 1986

(Quelle: verschiedene Autoren zitiert in AMON et al. 2007 / FISTAROL LYSON 2002 verkürzt)

3.13. Silagequalität

Die Silagequalität ist von entscheidender Bedeutung für die Gasausbeute. Das silierte Substrat für die Biogasanlage muss möglichst verlustarm gelagert werden um die Methanausbeute zu optimieren.

Die Ernte muss zum Zeitpunkt der optimalen Siliereignung der jeweiligen Kulturart erfolgen, sodass beste Silagequalitäten erzielt werden können. Siloanlagen müssen hinsichtlich Beschickung und Entnahme an die betrieblichen Gegebenheiten angepasst werden um Atmungsverluste bei der Entnahme des Siliergutes zu minimieren. So ist im Sommer ein wöchentlicher Vorschub im Fahrsilo von mindestens 140 cm anzustreben um Nacherwärmungen und Nährstoffverluste zu minimieren, im Winter ist ein Vorschub von 70 cm in der Woche ausreichend (BUCHGRABER et al. 2003). Futterpartien müssen im Silo ausreichend verdichtet werden, damit möglichst wenig Luft für Schimmel- und Hefepilze zur Verfügung steht. BUCHGRABER empfiehlt zumindest eine Verdichtung von 180 kg TM je m³ Siloraum. Nach der Befüllung und dem Verdichten muss der Silo rasch luftdicht abgedeckt werden, damit es zu keinen Fehlgärungen durch Lufteintritt kommt. Für THAYSEN (in

LÜTKE ENTRUP, OEHMICHEN 2000) gibt es für Gras und Mais unterschiedliche Merkmale guter Silagequalitäten, sowie Maßnahmen wie diese erreicht werden können.

3.13.1. Grassilagen

Grassilagen sollen einen TM-Gehalt von 30 – 40 % aufweisen, dies ist durch Anwelken auf dem Feld zu erreichen (BUCHGRABER et al. 2003). Unter 28 % TM-Gehalt kommt es zu erheblichen Gärstoffverlusten. Das Erntegut muss auf 30 - 40 mm zerkleinert werden um eine optimale Verdichtung im Silo zu ermöglichen. Der Schnitzeitpunkt soll im Ähren-Rispenschieben erfolgen, um einen Rohfasergehalt von 23 - 24 % der Trockensubstanz zu erreichen (THAYSEN, 1996). Die optimale Schnitthöhe liegt bei 5 - 7 cm, damit wird eine Verschmutzung des Erntegutes durch Sand und Erde verhindert wird (BUCHGRABER et al. 2003). Rascher und dauerhafter Luftabschluss der Silage ist erforderlich für eine schnelle Milchsäuregärung. Klee- und Kleegrassilagen sind hinsichtlich der Silierung gleich zu behandeln wie Grassilagen.

3.13.2. Maissilage

Der optimale Erntezeitpunkt bei Mais für Silagebereitung liegt bei einem TS-Gehalt von 28 – 33 %, die Körner sollen teigreif sein. Gute Maissilage kann erzeugt werden, wenn die Häcksellänge etwa 4 – 7 cm beträgt und die Körner zerschlagen werden. Das Zerschlagen der Körner bewirkt eine raschere Verfügbarkeit der im Korn enthaltenen Stärke. Hohe Häckselqualität wird durch scharfe und gut eingestellte Häckselmesser erreicht. Verschmutzungen werden durch eine Schnitthöhe von 20 – 25 cm vermieden. Ebenso wie bei der Grassilage wird durch raschen und dauerhaften Luftabschluss die Milchsäuregärung gefördert und die Essigsäuregärung auf niedrigem Niveau gehalten. Buttersäuregärung ist bei der Maissilage ebenso unerwünscht wie bei Grassilage (THAYSEN, 1996).

3.13.3. Ganzpflanzensilage (GPS) aus Getreide

GPS wird üblicherweise aus Getreide wie Winterweizen, Wintergerste, Roggen oder Sommergerste hergestellt. Mischungen von Getreide GPS mit Leguminosen wie Erbsen oder Wicken sind für THAYSEN (in LÜTKE ENTRUP, OEHMICHEN, 2000) ebenfalls möglich. Die Silierfähigkeit ist allerdings geringer als bei Gras- oder Maissilage. Der optimale Schnitzeitpunkt liegt für GPS im Übergang von der Milchreife zur Teigreife bei einem Trockenmassegehalt von 30 – 40 %. Erfolgt die Ernte zu früh, überwiegen die

rohfaserreichen schwerer verdaulichen Halmanteile und der Ährenanteil ist zu gering. Später Schnitt reduziert die Verdaulichkeit und die Nährstofferträge werden vermindert.

3.13.4. Sonnenblumensilage

Bei TS-Gehalten unter 28 % bei Sonnenblumen kommt es zu Problemen bei der Konservierung. Der Silohaufen lässt sich nicht mehr befahren und daher nicht mehr verdichten, ausserdem treten große Mengen an Sickersaft aus (LÖBER, 2007). Der austretende Sickersaft muss gesammelt werden, und kann entweder dem Fermenter zugeführt, oder als Flüssigdünger eingesetzt werden (LÖBER, 2007). Trockene und abgestorbene Blätter täuschen meist einen höheren TS-Gehalt vor, denn besonders in den Stängeln und Körben ist viel Wasser gespeichert. Die optimale Silierfähigkeit der Sonnenblume ist nach 120 - 160 Wachstumstagen, in Abhängigkeit von der Sorte, des Standortes und der Aussaatzeit erreicht. Je später die Aussaat erfolgt, desto früher wird Silierfähigkeit erreicht. Dies ist mit dem höheren Angebot an Licht und Wärme begründet, was den Ablauf der Entwicklungsphasen beschleunigt. Der richtige Erntezeitpunkt (TS-Gehalt > 28%) tritt in der Regel ca. vier Wochen nach der Blüte auf (LÖBER, 2007). Die Silierung ölhaltiger Pflanzen wie der Sonnenblume, ist häufig nur in Kombination mit andern Pflanzen möglich (WEILAND, 2006). Mischsilage von Sonnenblumen mit Mais ist die sicherste Möglichkeit eine stabile Silage zu erzeugen (HAHN, 2008). Um verschiedenen Kulturarten gleichzeitig ernten und einsilieren zu können bedarf es ausgewählter Sorten mit gleichzeitiger Abreife.

Die Sonnenblumen dürfen nicht zu frühreif sein, da zu stark verholzte Pflanzenteile zu niedrigen Gaserträgen führen. Zusätzlich ist bei fortgeschrittener Abreife der Samen mit erheblichen Verlusten durch Vogelfraß zu rechnen (HAHN, 2008).



Abbildung 1: Sonnenblumen zu den Ernteterminen am 16.08, 10.09 und 01.10 (v. li. n. re.)

3.14. Silierhilfsmittel

Silierhilfsmittel können bei schwer silierbaren Kulturarten wie Rotklee, Luzerne, Grünroggen oder Futterwicke, Fehlgärungen verhindern (BUCHGRABER et al. 2003). Je nach Art des Zusatzes können die Nährstoffverluste reduziert, und der Gärverlauf verbessert werden. Weiters ist eine Reduktion der unerwünschten Faktoren wie Buttersäure, Clostridien und Schimmelpilze möglich, und die Verdaulichkeit der Silage kann erhöht werden. Die Silagebereitung muss jedoch trotz des Einsatzes von Siliermitteln sorgfältig erfolgen, denn schlechte Anfangsfutterqualitäten können auch durch die Verwendung von Siliermitteln nicht mehr verbessert werden.

Biologisch wirtschaftenden Betrieben stehen Silierhilfsmittel aus Bakterienprodukten und bestimmte Säuren zur Verfügung. Der Einsatz von Salzen als Silierzusatz ist auf Biobetrieben verboten. Nicht alle Silierhilfsmittel sind für schwer silierbare Kulturen geeignet, so sollte etwa der Einsatz von Bakterienpräparaten nur bei leicht silierfähigem Futter mit ausreichendem Kohlenhydratgehalt für die Milchsäurebildner eingesetzt werden (BUCHGRABER et al. 2003).

4. Feldversuchsstandort und Methoden

Der Feldversuch, der dieser Arbeit zugrunde liegt, wurde im Jahr 2006 auf dem Standort Lambach bei Wels in Oberösterreich angelegt. Die Flächen gehören zur HBLFA Raumberg-Gumpenstein und werden ökologisch bewirtschaftet.

Die Versuchsflächen liegen auf einer Seehöhe von 380 m, auf tagwasservergleyter Braunerde. Der pH Wert des Bodens liegt bei pH 6,5, ist also sehr schwach sauer. Die durchschnittliche Jahresniederschlagsmenge beträgt 839 mm, bei einer mittleren Jahrestemperatur von 8,4°C (ZAMG, 2009).

Der Stickstoffgehalt im Boden beträgt laut einer Bodenuntersuchung 0,2 % und der Kohlenstoffgehalt beträgt 1,85 %. Weitere Bodenuntersuchungsergebnisse finden sich in Kap. 5.2.



Abbildung 2: Übersicht über die Versuchsparzellen am 11.03, 23.04, und 31.05 (v.li.n.re.)

4.1. Versuchsanlage

Variante	Kultur	Düngung	Kulturen
1	1	1	Rotklee
2	2	1	Rotklee gras, Grasanteil 50% (Ital. Raygras 15%, Bastard Raygras 20%, Knaulgras 15%)
3	3	1	Mais, 10 Pflanzen/m ² (Vor-ZF: Winterbegrünung)
4	4	1	Sonnenblume, 10 Pflanzen/m ² (Vor-ZF: Winterbegrünung)
5	5	1	Grünroggen + Zweitfrucht Mais (üblicher) Mais-Sätermin
6	6	1	Wickroggen + Zweitfrucht Mais, später Mais-Sätermin
7	1	2	Rotklee
8	2	2	Rotklee gras, Grasanteil 50% (Ital. Raygras 15%, Bastard Raygras 20%, Knaulgras 15%)
9	3	2	Mais, 10 Pflanzen/m ² (Vor-ZF: Winterbegrünung)
10	4	2	Sonnenblume, 10 Pflanzen/m ² (Vor-ZF: Winterbegrünung)
11	5	2	Grünroggen + Zweitfrucht Mais (üblicher) Mais-Sätermin
12	6	2	Wickroggen + Zweitfrucht Mais, später Mais-Sätermin

Düngung 1: keine Düngung

Düngung 2: Düngung Obergrenze ÖPUL-Richtlinie (Biogasgülle)

Begrünung Sommerwicke, Platterbse, Alexandrinerklee, Phacelia, Senf, Malve, Buchweizen

Mantel: Mischung

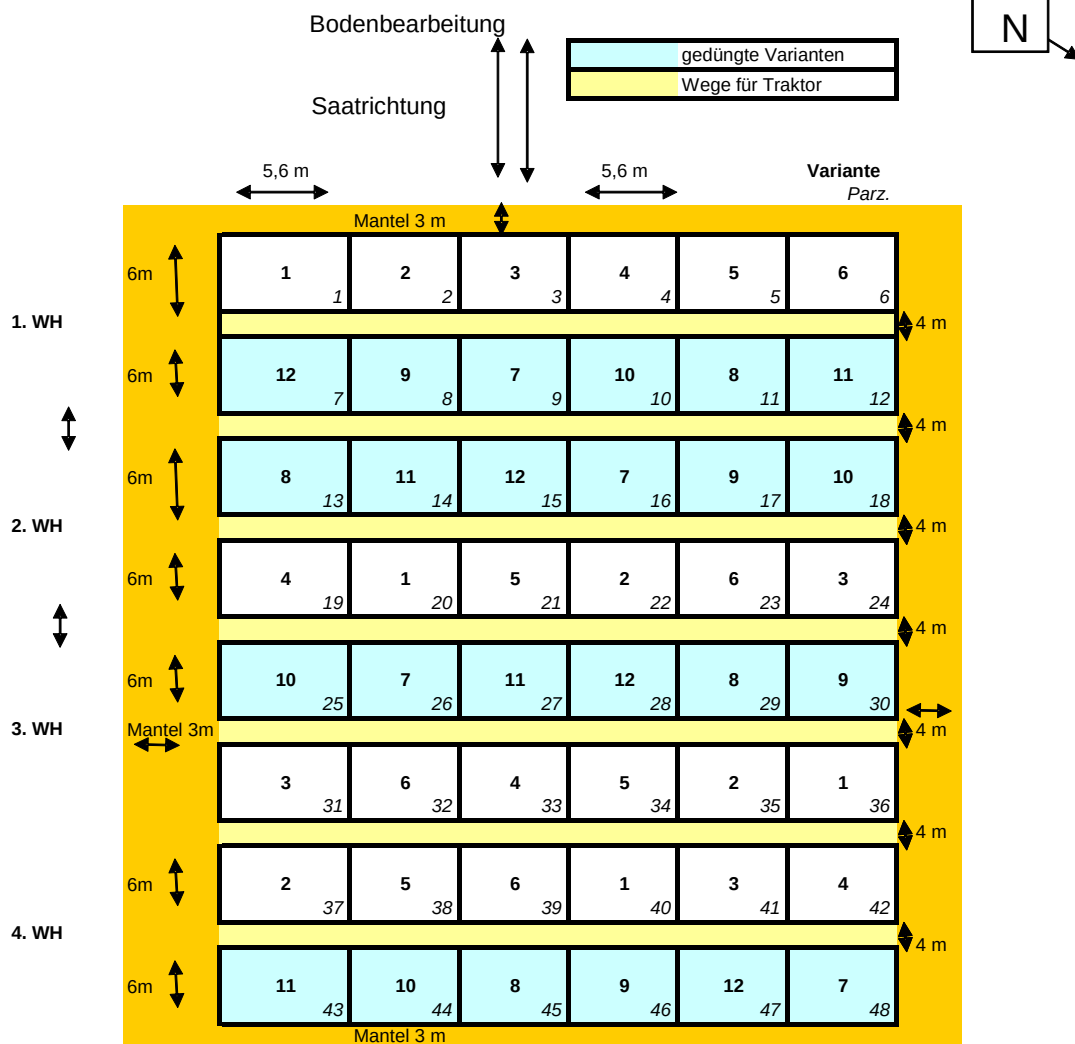


Abbildung 3: Plan der Versuchsfläche in Lambach 2007

Der erste Versuchsfaktor bestand aus den unterschiedlichen Kulturarten:

Kultur 1 : Rotklee

Kultur 2: Rotklee gras

Kultur 3: Mais mit Vorfrucht abfrostender Winterbegrünung

Kultur 4: Sonnenblume

Kultur 5: Mais mit Erstfrucht Grünroggen

Kultur 6: Mais mit Erstfrucht Wickroggen

Der zweite Faktor war die die Stickstoffdüngung mit Biogasgülle: zum einen eine 0-Düngungsvariante und zum anderen eine Düngung bis zur ÖPUL-Obergrenze (s. Kap. 4.4). Die gedüngten Varianten von Rotklee, Rotklee gras, Sonnenblumen und Mais wurden mit der jeweiligen ungedüngten Variante verglichen.

Dadurch ergaben sich 12 Varianten, die in jeweils vier Wiederholungen untersucht wurden. Das Versuchsdesign war ein Split-Plot-Versuch mit dem Grossparzellenfaktor Düngung und dem Kleinparzellenfaktor Kulturart in vier Blöcken (Abb. 3). Eine Parzelle war 5,6 m breit und 6 m lang, dies ergab eine Parzellengröße von 33,6 m². Bei Mais und Sonnenblume wurden pro Parzelle 8 Reihen mit einem Reihenabstand von 70 cm ausgesät. Für die Datenerhebung wurden jeweils die mittleren Reihen beprobt, um Randeffekte auszuschließen. Bei Rotklee und Rotklee gras wurde ebenfalls die Probennahme einen Meter vom Parzellenrand durchgeführt. Bei RK, RKG, Wickroggen, und Grünroggen wurde bei der Beprobung mit einem Rahmen je 1 m² mit einer Gartenschere geerntet. Die Vorfrucht auf der gesamten Versuchsfläche war Triticale, die Vorvorfrucht Raps.

4.2. Versuchsdurchführung

Nach der Vorfrucht Triticale wurde eine Stoppelbearbeitung mit dem Grubber durchgeführt. Zur Aussaat von Rotklee, Rotklee gras, Grünroggen, Wickroggen und Winterbegrünung wurde die Versuchsfläche am 16.08.2006 gepflügt (Tab. 7). Die Saatbettbereitung erfolgte auf der Versuchsfläche mit der Kreiselegge. Die Aussaat der Erstkulturen erfolgte am 23.08.2006.

Zur Bestandespflege wurde bei Grünroggen eine händische Hacke durchgeführt, um den aufgelaufenen Durchwuchsrapen der Vorvorfrucht zu bekämpfen. Am 31.10.2006 wurden die bereits üppig entwickelten Parzellen mit Rotklee und Rotklee gras gemulcht, um eventuelle Auswinterungsschäden zu vermeiden. Die Ertragsmenge dieses ersten Aufwuchses wurde jedoch nicht erhoben, das Pflanzenmaterial verblieb auf den Parzellen.

Die Gülledüngung bei Rotklee (RK), Rotklee gras (RKG), Grünroggen (GR) und Wickroggen (WiRo) erfolgte am 29.03.2007.

Die Ernte bei RK und RKG wurde beim 1. Schnitt in drei Zeitstufen durchgeführt. Nach der Ernte des Grünroggens am 25.04.2007 erfolgte die Saatbettbereitung für die Hauptfrüchte Mais und Sonnenblume. Die Aussaat von Mais und SB erfolgte am 27.04.2007.

Nach der Ernte von Wickroggen am 10.05.2007 erfolgte die Saat von Mais nach Wickroggen am 11.05.2007. Die Düngung von Mais und Sonnenblume wurde in zwei Teilgaben am 29.05.2007 und am 29.06.2007 appliziert. Auf eine maschinelle Hacke wurde bei den Kulturen auf Grund der geringen Parzellengröße verzichtet, es wurde lediglich eine Handhacke zum Zeitpunkt der ersten Gülledüngung durchgeführt. Bei Rotklee und Rotklee gras wurden noch jeweils zwei Schnitte am 09.07.2007 und 10.09.2007 zur Ertragshebung durchgeführt. Bei den unterschiedlichen Maisvarianten und Sonnenblume wurden drei Zeiternten am 16.08.2007, 10.09.2007 und 01.10.2007 durchgeführt. Die Maisvarianten wurden trotz späterem Anbau termin von Mais nach Wickroggen zum gleichen Zeitpunkt geerntet, weil die Bestände annähernd gleich entwickelt waren.

Tabelle 7: Arbeitsgänge und Datum der Durchführung

Arbeitsgang	Datum
Pflugfurche	16.08.2006
Aussaat Erstkulturen (RK, RKG, Winterbegrünung, GR, WiRo)	23.08.2006
Mulchen von RK und RKG	31.10.2006
Gülledüngung RK, RKG, GR, WiRo; N _{min} - Proben	29.03.2007
Ernte RK, RKG (1.Schnitt, 1.Zeiternte), GR	25.04.2007
Saatbettbereitung Mais, SB	25.04.2007
Aussaat Mais nach GR und Winterbegrünung; SB	27.04.2007
Ernte RK, RKG (1.Schnitt, 2.Zeiternte); WiRo	10.05.2007
Aussaat Mais nach WiRo	11.05.2007
1. Gülledüngung Mais, SB; Handhacke	29.05.2007
Ernte RK, RKG (1.Schnitt, 3.Zeiternte)	31.05.2007
2. Gülledüngung Mais, SB	29.06.2007
Ernte RK, RKG (2. Schnitt)	09.07.2007
1. Ernte Mais, SB	16.08.2007
Ernte RK, RKG, (3. Schnitt)	10.09.2007
2. Ernte Mais, SB	10.09.2007
3. Ernte Mais, SB	01.10.2007

WiRo... Wickroggen, GR... Grünroggen, RK... Rotklee, RKG... Rotklee gras, SB... Sonnenblume



Abbildung 4: Wickroggen am 30.04, Sonnenblume am 31.05, Gülledüngung am 31.05

4.3. Sorten und Saatstärken

Bei der Rotkleereinsaat wurde die Sorte „GUMPENSTEINER“ angebaut und bei der Rotkleeegrasmischung „RE“, eine intensive Mischung für ein Hauptnutzungsjahr für milde Lagen. Die Aussaatstärke betrug bei Rotklee und bei Rotkleeegras $23 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$. Die Mischung „RE“ besteht aus 50 % Rotklee; 15 % Italienisches Raygras; 20 % Bastardraygras; 15 % Knautgras. Bei Grünroggen wurden von der Sorte „BESKYD“ in Reinsaat $170 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ und bei Wickroggen eine Mischung von $90 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ „BESKYD“ und $30 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ Winterwicke ausgesät. Die Sorte Beskyd ist ein Grünschnittroggen für die Futternutzung im zeitigen Frühjahr mit breitem Anbauspektrum von trockenen bis feuchte Lagen (Sortenbeschreibung die SAAT 2004).

Bei der Sonnenblume kam die KWS - Sorte KW6503, bei Mais die Sorte KWS 5133 ECO, eine mittelfrühe Sorte mit einer Reifezahl von ca. FAO 250 (KWS Sortenbeschreibung 2008), zur Anwendung. Sonnenblumen und Mais wurden mit einer Saatstärke von jeweils 10 Körnern je m^2 ausgesät.

Als abfrostende Winterbegrünung vor Mais und Sonnenblume wurde eine Mischung von Sommerwicke, Platterbse, Alexandrinerklee, Phacelia, Senf, Malve, Buchweizen in einer Saatstärke von $50 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ angebaut.

4.4. Düngung

Die Düngung erfolgte mit biologischer Biogasgülle in zwei Düngungsstufen. Eine Nullvariante zur Kontrolle und eine Variante nach der Obergrenze der ÖPUL – Richtlinie von 2006 (BMLFUW, 2006). Die Gülle stammt aus einer Biogasanlage, die nur nachwachsende

Rohstoffe fermentiert. Vor der Ausbringung wurde die Gülle aufgerührt und homogenisiert. Im Herbst des Anlagejahres wurde aufgrund der üppigen Bestandesentwicklung auf eine Düngung der Kulturen verzichtet. Die Düngung erfolgte erst zu Vegetationsbeginn im Frühjahr. Rotklee und Rotklee gras sowie Grünroggen und Wickroggen wurden einmalig am 29.03.2007 gedüngt. Die Ausbringung auf den Versuchspartzen erfolgte händisch mit einer Gießkanne, wobei der gleichmäßigen Verteilung große Beachtung geschenkt wurde. Auf die Flächen mit Rotklee wurden 17 kg N*ha⁻¹, bei Rotklee gras 23 kg N*ha⁻¹, bei Grünroggen 80 kg N*ha⁻¹ und bei Wickroggen 40 kg N*ha⁻¹ ausgebracht. Der analysierte N-Gehalt der Biogasgülle betrug 3,98 kg N*t⁻¹ FM.

Die Flächen mit Mais und Sonnenblumen wurden zweimal gedüngt.

Der analysierte N – Gehalt der Gülle bei der ersten Ausbringung auf Mais und Sonnenblume betrug 2,93 kg N*t⁻¹ FM. Zum ersten Termin am 29.05.2007 befand sich der Mais im 4 – 6 Blattstadium und die Sonnenblume etwa im 4-Blattstadium (~EC 14). Auf sämtlichen Maisvarianten wurde die gleiche Menge von 51,5 kg N*ha⁻¹ ausgebracht. Die Sonnenblumen wurden ebenfalls mit 51,5 kg N*ha⁻¹ gedüngt. Die letzte Düngung erfolgte bei allen Varianten am 29.06.2007 zum Reihenschluss der Kulturen, wobei der N- Gehalt der Gülle ebenfalls 2,93 kg N*t⁻¹ FM betrug. So wurden bei Mais 88,5 kg N*ha⁻¹ und bei Sonnenblume 8,5 kg N*ha⁻¹ ausgebracht. Das bedeutet, dass bei den gedüngten Maisvarianten insgesamt 140 kg N*ha⁻¹ und bei Sonnenblume 60 kg N*ha⁻¹ gedüngt wurden.

Die Düngung der Sonnenblumen hätte auf einmal erfolgen sollen, aber zum Zeitpunkt der Ausbringung lagen noch keine Analyseergebnisse vor. Aus diesem Grund wurde mit den Werten der Gülleuntersuchung vom 29.03.07 kalkuliert und die Fehlmenge auf die ÖPUL Höchstgrenze bei der letzten Düngung am 29.06.07 ausgebracht.

Tabelle 8: Stickstoff Ausbringungsmenge je Hektar im Versuch Lambach

N- Ausbringungsmengen (kg N ha⁻¹)	
Mais nach Winterbegrünung	140 kg N
Mais nach Wickroggen (Wickroggen + Mais)	40 kg N + 140 kg N
Mais nach Grünroggen (Roggen + Mais)	80 kg N + 140 kg N
Sonnenblume	60 kg N
Rotklee	17 kg N
Klee gras	23 kg N

4.5. Untersuchungsmethoden

4.5.1. Ertragsermittlung

Für die Ertragsermittlung bei Wickroggen und Grünroggen wurden je 1 m², der durchschnittlich entwickelt war mit einer Schere geerntet, die Schnitthöhe betrug wie in der Praxis üblich 5 - 7 cm. Die Proben wurden im Trockenschrank getrocknet, um den Trockenmasseertrag zu bestimmen. Bei Wickroggen wurde das Verhältnis Wicke/Roggen geschätzt.

Bei Rotklee und Rotklee gras wurden beim Ersten Schnitt je drei Proben von 1 m² zu unterschiedlichen Entwicklungsstadien (Beginn Blüte / Vollblüte / Ende Blüte) mit einer Schere und einem Boniturrahmen geerntet. Die Schnitthöhe betrug wie bei Grün- und Wickroggen 5-7 cm. Für den zweiten und dritten Schnitt wurden die Proben auf Flächen entnommen, die beim ersten Schnitt in der Vollblüte geerntet wurden, um die Bestandesentwicklung vergleichbar zu machen. Die Proben wurden ebenfalls zur Bestimmung der Trockenmasse im Trockenschrank bis zur Gewichtskonstanz getrocknet. Zuvor wurden die Proben nach Klee und Grasanteil getrennt um die jeweiligen Gewichtsanteile der Komponenten (Rotklee, Gras, Unkraut) in der Frischmasse zu ermitteln (siehe Kap. 5.3). Vor der Trocknung wurden die Komponenten wieder homogenisiert. Der Unkrautanteil wurde bei dieser Probentrennung entfernt, somit wurde nur der reine Rotklee- bzw. Rotklee gras TM- Ertrag ermittelt.

Bei Mais und Sonnenblume wurden aus den Parzellen zu drei Ernteterminen (EC 75/ EC 85/ EC 87) je zwei Reihen auf der Länge von je einem Meter von Hand geerntet, dies ergibt bei einer Reihenweite von 70 cm eine beerntete Fläche von 1,4 m². Der Schnitt erfolgte in einer Höhe von 5-8 cm. Bei den Proben wurde die Anzahl der Stängel gezählt, die Pflanzen vermessen und gewogen. Zur Ermittlung der Trockenmasse wurden aus jeder Probe zwei durchschnittlich entwickelte Pflanzen ausgewählt, mit einem Häcksler zerkleinert und anschließend bis zur Gewichtskonstanz getrocknet. Die erste Zeiternte erfolgte bei Mais und Sonnenblume nach 112 Wuchstagen, Mais nach Wickroggen wurde bereits nach 98 Tage das erste Mal geerntet. Die zweite und dritte Ernte erfolgten nach 137 und 158 Wuchstagen, bzw. nach 123 und 144 Tagen bei Mais nach Wickroggen.

Für die Ertragsbestimmung bei Zweifruchtnutzung innerhalb einer Vegetationsperiode wurden die TM-Erträge der Erstfrucht mit den TM-Erträgen von Mais bei der zweiten Zeiternte summiert, um die Ertragsleistung dieser Fruchtartenkombination darzustellen. Bei Sonnenblumen und Mais nach abfroster Winterbegrünung wurde für den Gesamttrockenmasseertrag die zweite Zeiternte gewählt. Für den Gesamtertrag bei Rotklee

und Rotklee gras wurden die TM-Erträge von der zweiten Zeiternte des Ersten Schnittes sowie der Zweite und Dritte Schnitt addiert.

4.5.2. Bonituren

Bei Rotklee, Rotklee gras sowie bei Wickroggen und Grünschnittroggen wurde im Herbst am 13. Oktober der Feldaufgang bonitiert. Dazu wurden in den Parzellen in einer Saatreihe die Einzelpflanzen auf einer Länge von einem Meter mit vier Wiederholungen ausgezählt. Zu diesem Zeitpunkt wurde der Unkrautbesatz in Flächenprozent Deckungsgrad geschätzt. Im Frühjahr wurde Mitte März die Bonitur wiederholt, um eventuelle Auswinterungsschäden zu ermitteln. Die Bestandesentwicklung im Laufe einer Vegetationsperiode wird durch die Beurteilung der Entwicklungsstadien der Pflanzen zu den Ernteterminen angegeben.

Die Parzellen mit Mais und Sonnenblume wurden Ende Mai bonitiert. Dazu wurde wie bei den Vorkulturen in jeder der Parzellen jeweils ein Laufmeter in vierfacher Wiederholung ausgezählt, um die Pflanzenzahl pro m² zu ermitteln. Die Bonitur erfolgte trotz unterschiedlicher Säterminen bei Mais zum gleichen Zeitpunkt, da die Reihen bei allen Parzellen gut sichtbar, und die Entwicklungsunterschiede gering waren. Der Unkrautbesatz wurde zu diesem Zeitpunkt nicht erhoben, da auf den Parzellen aufgrund der intensiven Bodenbearbeitung bei der Saat und der trockenen Witterung im April noch keine Unkräuter aufgelaufen waren.

4.5.3. Bodenproben

Auf den Versuchspartzellen wurden im Frühjahr 2007, vor der Gülledüngung, Bodenproben zur Untersuchung des mineralischen Stickstoffgehaltes im Boden (N_{min}) gezogen. Mit „Göttinger Bohrstöcken“ wurden aus den Tiefen 0-30 cm, 30-60 cm und 60-90 cm Proben entnommen. Bei der Probennahme wurden auf jeder Parzelle zehn Einstiche vorgenommen, und das Erdmaterial der jeweiligen Bodentiefe zu einer Mischprobe ordentlich vermengt.

Das Probenmaterial wurde nach der Entnahme sofort in Plastikbeuteln tiefgefroren und zur N_{min}-Analyse im Labor wieder aufgetaut. Untersucht wurde nur der Feinerdeanteil, deshalb wurde das Probenmaterial bereits am Feld so gut es ging mit der Hand zerkleinert. Die Ergebnisse der Bodenuntersuchung sind in Kapitel 5.4 dargestellt.

4.5.3.1. Analysemethoden für Nährstoffe

Phosphor und Kalium wurde nach der CAL (Calcium-Lactat-Essigsäure)- Methode nach SCHÜLLER ermittelt (LÜTKE ENTRUP 2006, Seite 573). Das Extraktionsmittel ist eine 0,1 Molare Ca-Lactatlösung + 0,1 Molare Ca-Acetatlösung + Essigsäure bei einem pH von 4,1. Die Untersuchung auf Magnesium erfolgte nach der Methode SCHACHTSCHABEL durch Extraktion des Bodens mit 0,025 Molarer CaCl_2 - Lösung (LÜTKE ENTRUP 2006, Seite 574). Bei allen Bodenuntersuchungsverfahren wird nur der Anteil, der in der Bodenlösung vorhandenen Nährstoffe ermittelt, das ist nur ein Teil der insgesamt im Boden vorhandenen Nährstoffe.

4.5.4. Messung des Blattflächenindex (LAI – Leaf Area Index)

Der Blattflächenindex (LAI = Leaf Area Index) beschreibt das Verhältnis der gesamten Blattoberfläche eines Bestandes zur gesamten Bestandsgrundfläche. Die Entwicklung und Größe der Blattfläche sind wesentliche Voraussetzungen, um eine größere Lichtmenge aufnehmen zu können (Szu-Hsien Wang, 2001). Die manuelle Messung des Blattflächenindex ist extrem arbeits- und zeitaufwändig, denn es müssen von mehreren Pflanzen einer Parzelle alle Blätter vermessen werden. Eine Messung des Blattflächenindex mit dem Messgerät LAI 2000 ist wesentlich weniger aufwändig. Das Modell geht nach NORMAN und CAMPELL (in Szu-Hsien Wang, 2001) auf die Bestimmung der Lichttransmission zurück, die von der Lichtmenge unterhalb und oberhalb der Blattfläche eines Pflanzenbestandes abhängig ist. Mit dem LAI 2000 Messgerät kann der Blattflächenindex ermittelt werden, ohne dass dafür Pflanzen aus dem Bestand entnommen werden müssen. Die Berechnung des Blattflächenindex mit dem LAI-2000 Messgerät beruht auf der Annahme, dass die Blätter im gesamten Pflanzenbestand normal verteilt sind, und der Sensor nur die Strahlung misst, die nicht von den Blättern behindert wird (Szu-Hsien Wang, 2001).

In Lambach wurde zu den jeweiligen Ernten der Blattflächenindex mit dem LAI-2000 an jeweils vier, durchschnittlich bewachsenen Stellen einer Parzelle ermittelt. Um den Einfluss der Sonneneinstrahlung zu minimieren und die Messung einheitlich durchzuführen, wurde die Messsonde mit einem Schirm beschattet.

4.5.5. Statistische Methoden

Es erfolgte eine deskriptive Statistik. In den Ergebnistabellen sind die Mittelwerte und Standardabweichungen angegeben. Die statistische Auswertung erfolgte mit Hilfe des Statistikprogramms SPSS Version 15.0. Die Mittelwerte wurden mittels einer dreifaktoriellen Varianzanalyse mit den festen Faktoren „Düngung“ und Kultur“ und dem Zufallsfaktor „Block“ und einem Post-Hock- Test (Tukey Test, $P > 0,05$) verglichen. Wenn die Voraussetzung der Varianzhomogenität der Residuen nicht gegeben war, wurden die Werte logarithmiert.

5. Ergebnisse

5.1. Witterung im Versuchszeitraum

Die Wetterstation der ZAMG in Lambach wurde Ende 2006 aufgelassen, aus diesem Grund stammen die Daten von der nächstgelegenen Wetterstation in Wels. Die Daten für das langjährige Mittel stammen von der Messstation Lambach und beziehen sich auf den Zeitraum von 1971 bis 2000 bzw. bei den Sonnenstunden auf den Zeitraum 1978 bis 1990 (ZAMG, 2009).

In den folgenden Abbildungen sind die Klimafaktoren des Standortes Lambach im Versuchsjahr 2007 dargestellt. In der Vegetationsperiode zwischen März und September fielen insgesamt 574 mm Niederschlag. Die durchschnittliche Jahresniederschlagsmenge in Lambach beträgt im dreißigjährigen Mittel 839 mm (vgl. ZAMAG, 2008, s.p.). Während der Versuchsdauer von September 2006 bis Oktober 2007 fielen in der Region 843 mm Niederschlag, dies entspricht dem langjährigen Mittel, allerdings war der April 2007 mit nur 2 mm Regen extrem trocken. Für den Aufwuchs von Rotklee/Rotklee gras sowie Grün- und Wickroggen im Herbst standen im September und Oktober 2006 insgesamt 83 mm Niederschlag zu Verfügung.

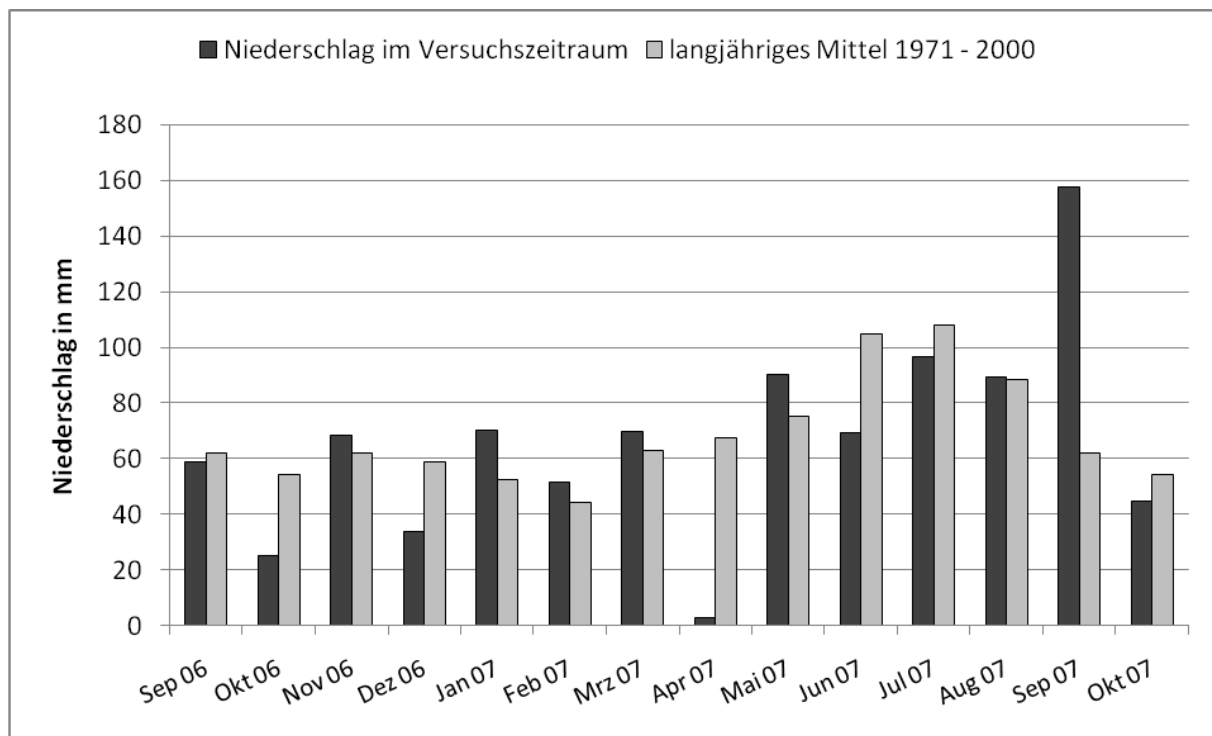


Abbildung 5: Niederschlagsverteilung im Versuchszeitraum in Lambach

Abbildung 6 stellt die durchschnittlichen Sonnenstunden je Monat am Standort Lambach, verglichen mit dem langjährigen Mittel von 1978 – 1990 (ZAMG, 2009), dar. In der Vegetationsperiode von April bis September betrug die Sonnenscheindauer 1573 Stunden (vgl. ZAMAG, 2008, s. p.). Im langjährigen Mittel sind am Standort Lambach nur 1176 Sonnenstunden in der Vegetationsperiode gemessen worden. Den Kulturarten standen somit 397 Sonnenstunden mehr, als in durchschnittlichen Jahren, zur Verfügung. Die Anzahl der gemessenen Sonnenstunden war 2007 in jedem Monat deutlich über dem Durchschnitt.

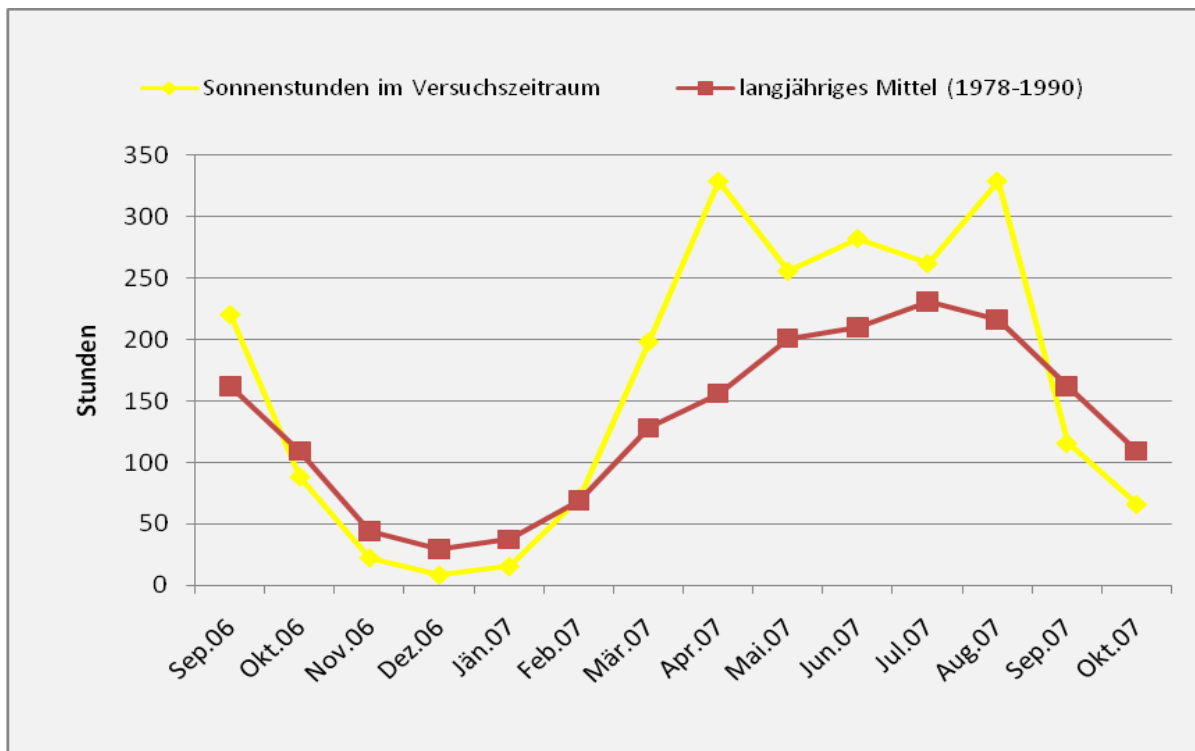


Abbildung 6: Sonnenstunden im Versuchszeitraum am Standort Lambach

Abbildung 7 zeigt den Verlauf der Tagesmitteltemperatur im Jahr 2007 verglichen mit dem langjährigen Mittel von 1971 – 2000 (ZAMG, 2009). Die Durchschnittstemperatur lag in Lambach im langjährigen Mittel bei 8,4°C, in der Vegetationsperiode von März bis September 2007 lag die Durchschnittstemperatur bei 15,0°C (vgl. ZAMAG, 2008, s. p.). Die Temperaturmittel lagen im Versuchszeitraum um bis zu 4 °C höher als im dreißigjährigen Mittel, nur der September 2007 fiel um 1°C kühler aus als der langjährige Durchschnitt (vgl. ZAMAG, 2008, s. p.).

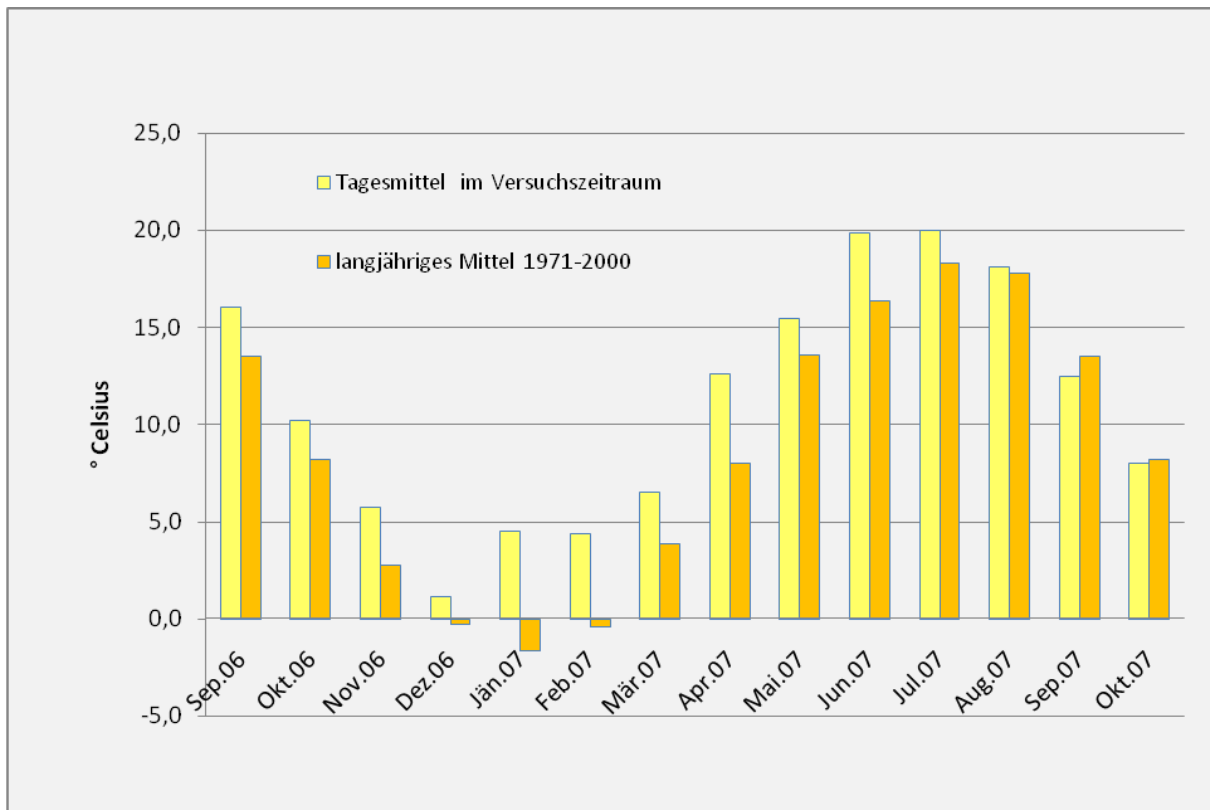


Abbildung 7: Tagesmitteltemperatur am Standort Lambach im Versuchszeitraum

5.2. $N_{\min}$ – Untersuchung und Bodenanalyse

Die $N_{\min}$ Gehalte in den unterschiedlichen Bodentiefen sind in Abbildung 8 graphisch veranschaulicht. Die Gehalte schwanken zwischen $30 \text{ kg ha}^{-1} \text{ N}$ bei Rotklee gras und Wickroggen, und $50 \text{ kg ha}^{-1} \text{ N}$ bei Mais nach Winterbegrünung. Anteilsmäßig findet sich der höchste $N_{\min}$ Gehalt in den obersten 30 cm des Bodens, und ist daher besonders rasch pflanzenverfügbar. In der Bodentiefe zwischen 60 – 90 cm waren in den Proben nur 6 - 10 $\text{kg ha}^{-1} \text{ N}$ nachweisbar. Die Auswaschung und Verlagerung in tiefere Bodeschichten ist auf der Versuchsfläche nur gering.

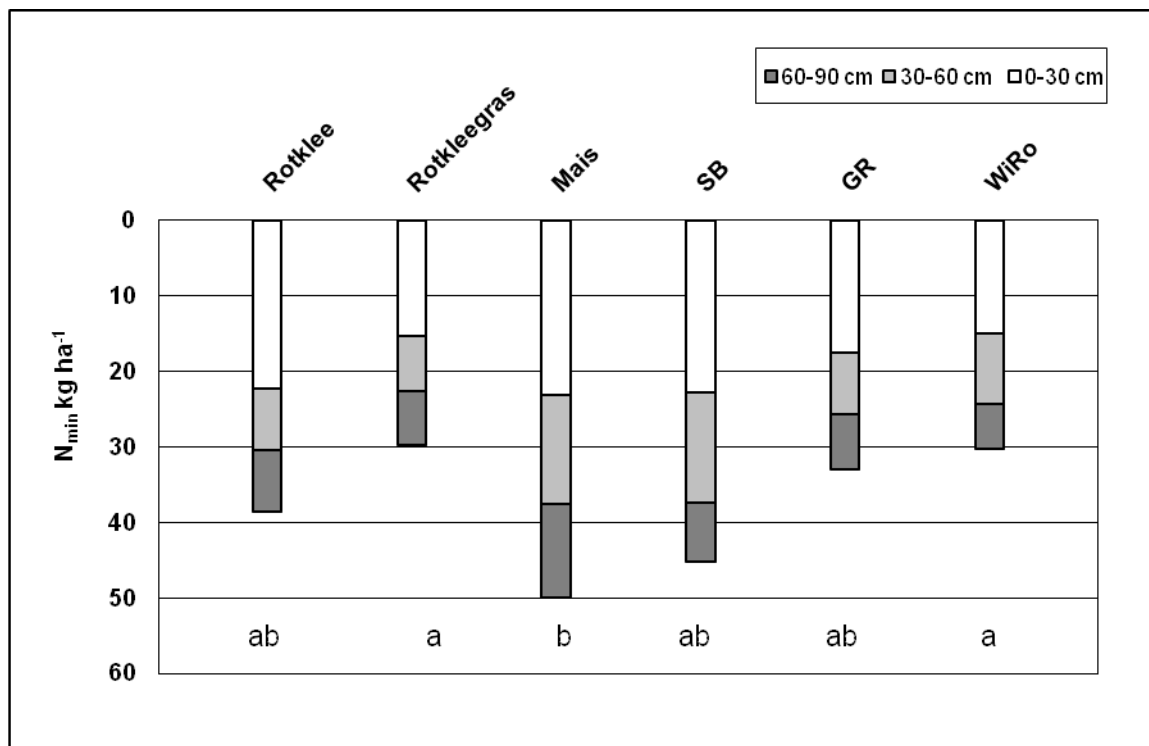


Abbildung 8: Ergebnis der N_{min} Untersuchung aus Lambach am 29. März 2007

Abkürzungen siehe Tabelle 7.

Tabelle 9: Statistische Auswertung des Gesamt N_{min} von 0 – 90 cm Bodentiefe

Faktor	Signifikanz	Kultur	Gesamt N _{min}		n	Gruppierung
			N _{min} kg*ha ⁻¹	STABW		
Block	0,063	2	29,805	10,102	8	a
Kultur	0,013	6	30,334	6,572	8	a
		5	33,070	10,642	8	ab
		1	38,599	16,138	8	ab
		4	45,265	13,173	8	ab
		3	50,030	20,663	8	b

Kultur 1 Rotklee, 2 Rotklee gras, 3 Mais nach Winterbegrünung, 4 Sonnenblume, 5 Grünroggen und Zweitfrucht Mais, 6 Wickroggen und Zweitfrucht Mais

Die statistische Auswertung des Gesamt N_{min} im Boden in einer Bodentiefe von 0 – 90 cm ergab einen signifikanten Unterschied zwischen den Kulturarten. Der Einfluss der Wiederholung lag nur knapp über der Signifikanzgrenze von 0,05. Dies deutet auf einen inhomogenen Boden auf der Versuchsfläche hin. Werte mit gleichen Buchstaben unterscheiden sich nicht signifikant voneinander.

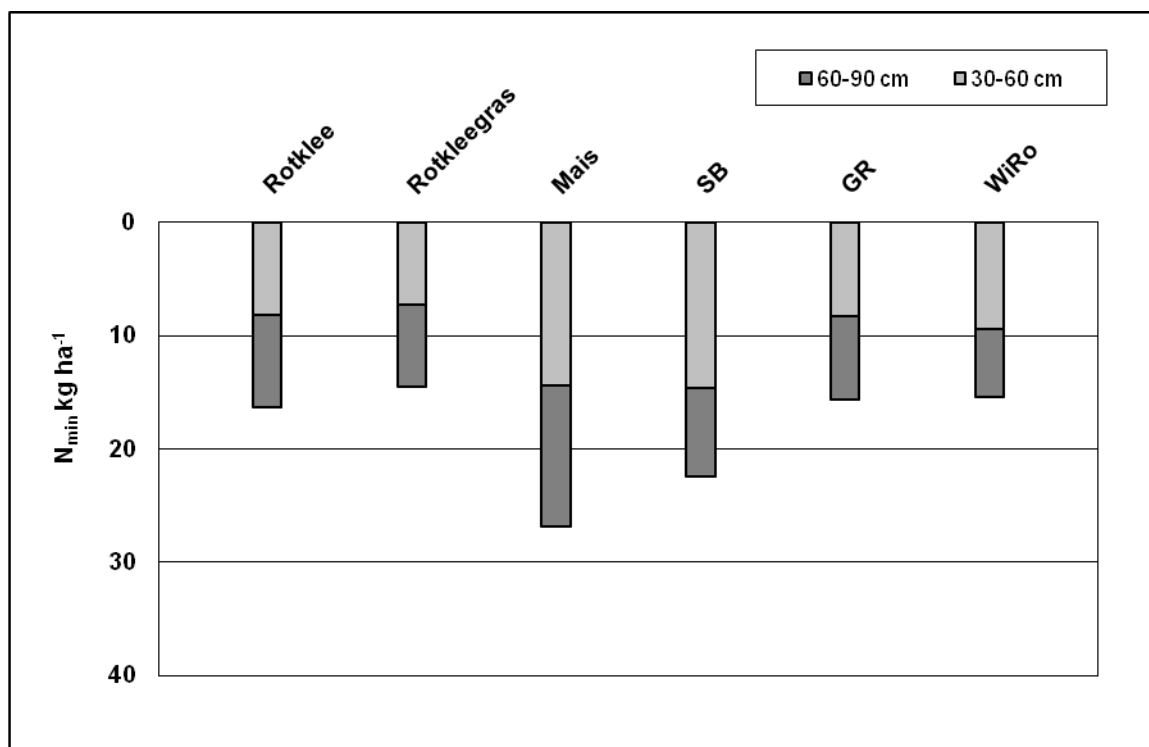


Abbildung 9: Ergebnis der N_{min} Untersuchung im Unterboden (30 - 90 cm)

Im Unterboden von 30 – 90 cm Bodentiefe wurden am Standort Lambach bei Rotklee 16 kg N_{min} ha⁻¹ gemessen. Rotklee gras wies bei der Untersuchung 14,5 kg N_{min}*ha⁻¹ auf. Die Parzellen die bei der Probennahme mit Grünroggen oder Wickroggen bepflanzt waren hatten beide 15 kg N_{min} ha⁻¹ im Unterboden. Auf den Parzellen mit abfroster Winterbegrünung als Vorfrucht wurden die höchsten N_{min} Werte in kg*ha⁻¹ gemessen. Bei Sonnenblume 22 und bei Mais beinahe 27 kg N_{min} ha⁻¹.

Tabelle 10: Statistische Auswertung des N_{min} im Unterboden von 30 – 90 cm Bodentiefe

Faktor	Signifikanz	Kultur	Gesamt N _{min} log		n	Gruppierung
			N _{min} kg*ha ⁻¹	STABW		
Block	0,016	5	1,148	0,194	8	a
Kultur	0,007	2	1,149	0,109	8	a
		1	1,158	0,232	8	a
		6	1,165	0,149	8	ab
		4	1,319	0,177	8	ab
		3	1,403	0,159	8	b

Abkürzungen siehe Tabelle 9

Die statistische Auswertung des $N_{\min}$ -Gehaltes im Unterboden ergab eine Signifikanz bei der Kultur und bei der Wiederholung. Die Signifikanz der Wiederholung deutet auf eine nicht homogene Versuchsfläche hin.

Bei dieser Bodenuntersuchung wurde im Labor auch der Gehalt an den Nährstoffen Phosphor, Kalium und Magnesium ermittelt.

Tabelle 11: Bodenuntersuchungsergebnis (nach ÖNORM L1087 und L1093)

Nährstoff	mg*1000 g ⁻¹	Versorgungsstufe
Phosphor (P) im CAL	145	D (hoch)
Kalium (K) im CAL	223	D (hoch)
Magnesium (Mg) im CaCl ₂	118	D (hoch)

Die Nährstoffe Phosphor und Kalium wurden nach der ÖNORM L1087, Magnesium wurde nach der ÖNORM L1093 untersucht.

5.3. Ergebnis der Messung des Blattflächenindex

Grünschnittroggen wies bei seiner Ernte am 25.04. ohne Düngung im Durchschnitt aller Wiederholungen einen Blattflächenindex von 0,95 auf. Mit Düngung lag der Blattflächenindex bei Grünroggen durchschnittlich bei 1,57. Rotklee und Rotklee gras wiesen im Vergleich dazu am gleichen Tag einen Blattflächenindex von 4,56 bis 5,33 auf.

Ungedüngter Wickroggen hatte am Tag der Ernte am 10.05 einen Blattflächenindex von durchschnittlich 5,65. Mit Düngung hatte Wickroggen einen LAI von 6,07. Die am selben Tag gemessenen Werte für Rotklee lagen ohne Düngung bei einem LAI von 5,98, mit Düngung bei LAI 5,79. Ungedüngtes Rotklee gras hatte einen LAI von 5,55; gedüngt einen LAI von 5,15.

Die Messung des Blattflächenindex bei Sonnenblume, Mais nach Winterbegrünung, Mais nach Grünroggen und Mais nach Wickroggen erfolgte jeweils am gleichen Tag. Als Messtage wurden die Erntetermine am 16.08, 10.09 und 01.10. ausgewählt. Die Messung bei Sonnenblume ergab am 16.08. ohne Düngung einen LAI von 1,74, mit Düngung lag der LAI bei durchschnittlich 2,72. Bei der zweiten Messung am 10.09. und der dritten Messung am 01.10. gab es keinen Unterschied zwischen gedüngten und ungedüngten Sonnenblumen hinsichtlich des Blattflächenindex. Am 10.09. betrug der LAI 1,4 und am 01.10 lag der LAI bei 0,65.

Mais nach Winterbegrünung hatte ohne Düngung zum Messtermin am 16.08 einen LAI von 1,31, bis zum zweiten Termin stieg der LAI auf 1,83, bis zum dritten Termin am 01.10 sank der LAI wieder auf 1,39 ab. Mit Gülledüngung betrug der LAI bei den ersten beiden Messterminen 2,30, zur dritten Messung nur mehr 1,51.

Bei ungedüngtem Mais nach Grünroggen stieg der LAI von 1,69 auf 1,84 an bei der dritten Ernte sank der LAI wieder auf 1,20 ab. Ähnlich der Verlauf bei dieser Variante mit Düngung. Hier ergab die LAI Messung zum ersten Erntetermin 1,84, dann 1,90, zur dritten Ernte sank der LAI auf 1,72.

Mais nach Wickroggen wies sowohl gedüngt als auch ungedüngt höhere LAI Werte auf als alle vergleichbaren Kulturen. Wurde der Mais nicht gedüngt, sank der LAI von 2,48 bei der ersten Ernte auf 2,29, und auf 1,79 bei der dritten Ernte ab. Mit Düngung ergab die LAI Messung am 16.08 einen Wert von 2,82. Zu den weiteren Messterminen fiel der LAI auf 2,56 bzw. 1,88.

5.4. Beschreibung und Vergleich der Bonituren im Herbst und Frühjahr

Bei Rotklee nahm die Pflanzenzahl pro m² über den Winter deutlich ab, sowohl bei den gedüngten als auch bei den ungedüngten Varianten. Im Frühjahr gab es auf einigen Rotklee Parzellen deutliche Verluste durch Fraßschäden und Wühltätigkeit von Mäusen.

Der Grasanteil bei Rotklee gras sank über den Winter in der ungedüngten Variante deutlich stärker als der Kleeanteil. Bei den gedüngten Flächen konnte sich der Klee stärker über den Winter halten als bei nichtgedüngter Variante, der Grasanteil war im Frühjahr bei beiden Varianten gleich mit rund 120 Pflanzen pro m².

Bei Grünroggen kam es zu Auswinterungsverlusten von etwa 20 % gegenüber der Aussaat bei beiden Varianten, somit ergab sich im Frühjahr eine Pflanzenzahl von durchschnittlich 108 Pflanzen pro m².

Die Pflanzenzahl veränderte sich bei Wickroggen über den Winter bei beiden Varianten kaum und blieb mit durchschnittlich 160 Pflanzen je m² konstant. Im Versuch wurde in beiden Varianten der Roggen deutlich von der Wicke unterdrückt und überwachsen, das Mischverhältnis entsprach im Frühjahr dennoch dem des Anbaues im Herbst.

Rapsdurchwuchs stellte beim Feldaufgang im Herbst besonders bei Rotklee und Rotklee gras die häufigste Verunkrautung dar. Die durchschnittliche Verunkrautung auf allen Parzellen lag

im Herbst ohne Raps bei etwa 1 – 2 Flächenprozent. Jedoch kam es aufgrund des Durchwuchsrapses bei einzelnen Parzellen zu einer Unkrautbedeckung von bis zu 25 Flächenprozent.

Die Variante Wickroggen wies bereits im Herbst sichtbar geringere Rapsverunkrautung auf. Im Frühjahr war die geringere Verunkrautung bei Wickroggen im Unterschied zu Rotklee und Rotklee gras noch wesentlich deutlicher sichtbar. Die Boniturblätter vom Feldaufgang im Herbst und vom Frühjahr finden sich im Anhang.

5.5. Unkrautunterdrückung

5.5.1. Rotklee und Rotklee gras

Rotklee und Rotklee gras wiesen ein gutes Unkrautunterdrückungsvermögen auf. Ein Schröpschnitt bzw. das Mulchen im Herbst bekämpfte erfolgreich die meisten Unkräuter, nur der Raps führte im Frühjahr zu starker Verunkrautung bei Rotklee. Der aufgelaufene Ausfallraps auf den Versuchsflächen in Lambach stellte insofern kein Problem dar, weil dieser nach dem ersten Schnitt im Frühjahr nicht mehr weiterwuchs und auf keinen Fall die Samenreife erreichen konnte. Ausserdem kann Raps in Biogasanlagen energetisch verwertet werden.

Der Unkrautanteil bei Rotklee an der Frischmasse betrug 20 – 24 %. Die Folgeaufwüchse wiesen eine deutlich geringere Verunkrautung auf. Der Unkrautanteil lag bei diesen Aufwüchsen etwa bei 3 % Gewichtsanteil an der Frischmasse. Düngung mit Biogasgülle zeigte keinen sichtbaren Einfluss auf den Unkrautanteil bei Rotklee zu den einzelnen Aufwüchsen.

Rotklee gras war schon beim ersten Schnitt wesentlich weniger verunkrautet als reine Rotkleeparzellen. Beim ersten Aufwuchs wurde eine Abnahme des Unkrautanteils im Laufe der Zeiterntetermine beobachtet. Der Unkrautanteil an der Frischmasse betrug bei der zweiten Zeiternte des ersten Schnittes nur etwa 4,5 %. Das Auszählen der Ernteproben der Folgeaufwüchse bei Rotklee gras, ergab einen vernachlässigbaren Anteil an Unkräuter in der Frischmasse.

5.5.2. Mais und Sonnenblumen

Sämtliche Maisvarianten waren in Lambach stark verunkrautet obwohl zum Zeitpunkt des Auflaufens noch keine Unkräuter sichtbar waren. Durch das trockene Frühjahr 2007 entwickelte sich der Mais, im Gegensatz zu normalfeuchten Jahren, trotz der warmen Temperaturen nur langsam. Schwer bekämpfbare und sogenannte Problemunkräuter wie

Gänsefuß und Hirsearten, die allesamt hohe Keimtemperaturen aber nur wenig Keimwasser benötigen, entwickelten sich bestens und konnten größtenteils zur Samenreife gelangen. Im Boden wurde dadurch das Unkrautsamenpotential stark erhöht. Bei den Erstkulturen Wickroggen und Grünroggen vor Mais wurde ebenfalls bei der Ernte der Unkrautanteil an der Frischmasse erhoben. Auf den Wickroggenparzellen war in Lambach kein Unkraut zu finden. Grünroggen war zum Erntezeitpunkt ohne Biogasgülledüngung mit durchschnittlich 14 % verunkrautet, mit Biogasgülledüngung lag der Unkrautanteil an der Frischmasse im Grünroggen bei etwa 10 %.

Sonnenblumen unterdrückten in Lambach aufgrund des frühen Bestandesschlusses und der hohen Bodenbeschattung die Unkräuter größtenteils. Unkrautpflanzen waren nur schwach entwickelt, und meist vor der Samenreife bereits abgestorben.

5.6. Entwicklungsstadien der Kulturarten zu den Ernteterminen

Zur ersten Zeiternte am 25. April war der Rotklee im BBCH Stadium (<http://www.bba.de/veroeff/bbch/bbchdeu.pdf>) Beginn der Blüte und das Gras im Klee gras im Stadium Erscheinen des Fahnenblattes. Bei der zweiten Zeiternte am 10. Mai war der Rotklee in der Vollblüte, das Gras im EC 55. Rotklee war bei der dritten Zeiternte am 31. Mai auf allen Parzellen im Stadium Ende der Blüte. Das Gras, hauptsächlich Raygras, war ebenfalls am Ende der Blüte. Die Ernte des zweiten Schnittes erfolgte bei Rotklee und Rotklee gras im EC 67, Ende der Blüte. Der dritte Schnitt wurde im EC 65 Mitte der Blüte durchgeführt. Es gab zu keinem Zeitpunkt sichtbare Unterschiede hinsichtlich der Pflanzenentwicklung zwischen gedüngter und ungedüngter Variante.

Die Erstfrucht Grünroggen wurde zum Ende des Schossens im EC 37 am 25. April, Wickroggen am 10. Mai zur Vollblüte der Wicke geerntet.

Alle Maisvarianten wurden bei der ersten Zeiternte am 16. August im Entwicklungsstadium der Milchreife, EC 75, geerntet. Zur zweiten Zeiternte am 10. September waren die Maispflanzen in der Teigreife (EC 85). Am 01. Oktober waren die Pflanzen im Stadium der physiologischen Reife EC 87. Zwischen den Maisvarianten konnte trotz der verschiedenen Saatzeitpunkte kein Unterschied in der Entwicklung festgestellt werden. Die Düngung zeigte ebenfalls keinen sichtbaren Einfluss auf die Pflanzenentwicklung.

Sonnenblume nach abfrostender Winterbegrünung war zum ersten Erntetermin bei der ungedüngten Variante im EC 75, mit Düngung im EC 81. Zum zweiten Erntetermin am 10. September, waren beide Varianten im EC 83. Am 01. Oktober, bei der dritten Zeiternte, waren die Sonnenblumen im EC 87.

5.7. Zusammensetzung der Rotklee- und Rotklee grasbestände bei den Ernteterminen

Zu den jeweiligen Ernteterminen wurden die Proben für die Ertragserhebung sortiert, um den Anteil von Rotklee und Gras bzw. Unkraut in der Frischmasse zu bestimmen.

Der Kleeanteil in der gedüngten Rotkleevariante stieg aufgrund des sinkenden Unkrautanteils von 76,3 % bei der ersten Zeiternte des ersten Schnittes bis auf 97,4 % beim zweiten Schnitt. Die Entwicklung der ungedüngten Variante war ähnlich.

Obwohl bei der Variante Rotklee gras, Rotklee und Gras in einem Mischungsverhältnis von 1:1 angebaut wurden, setzte sich der Rotklee im Bestand deutlich stärker durch, sowohl in der gedüngten als auch in der ungedüngten Variante. Auf der gedüngten Variante war bei der ersten Ernte das Verhältnis von 57,5 % Rotklee zu 38 % Gras noch ziemlich ausgeglichen. Zum zweiten Schnitt stieg der Rotkleeanteil in den Wiederholungen auf durchschnittlich 86,5% an. Erst zum dritten Schnitt stieg der Grasanteil wieder etwas an und lag bei 25,9 %.

Der erste Schnitt auf den ungedüngten Parzellen setzte sich aus 63,4 % Rotklee, 31,9 % Gras zusammen.

Zum zweiten Schnitt stieg der Rotkleeanteil in der Frischmasse im Durchschnitt aller Wiederholungen auf 88,1 %. Zum dritten Erntetermin sank der Rotkleeanteil in der Frischmasse wieder leicht auf 71,9 % ab und der Grasanteil stieg. Eine genaue Auflistung der Kulturartenverhältnisse bei Rotklee und Rotklee gras findet sich im Anhang.

Die Kulturen Rotklee und Rotklee gras erzielten sowohl gedüngt als auch ungedüngt am Versuchsstandort Lambach im Jahr 2007 bei Dreischrittnutzung über 10,0 t TM*ha⁻¹. Die TM-Erträge setzten sich wie folgt zusammen: bei Rotklee betrug der erste Schnitt etwa 25 % des Gesamt TM-Ertrages, auf den zweiten Schnitt entfielen fast 50 % des Gesamt TM-Ertrages, und der dritte Schnitt fiel mit durchschnittlich 20 % des Gesamt TM-Ertrages eher gering aus (Abb. 10).

Rotklee gras erbrachte beim ersten Aufwuchs etwa 35 % des Gesamtertrages. Ähnlich wie bei der Variante Rotklee ist bei Rotklee gras beim zweiten Aufwuchs ein höherer Anteil am Gesamtertrag festgestellt worden. Der zweite Schnitt trug mit etwa 45 % zum Gesamt TM-Ertrag bei. Beim dritten Schnitt gab es kaum Unterschiede zwischen gedüngter und ungedüngter Variante, der Ertragsanteil lag bei rund 20 % des Gesamtertrages.

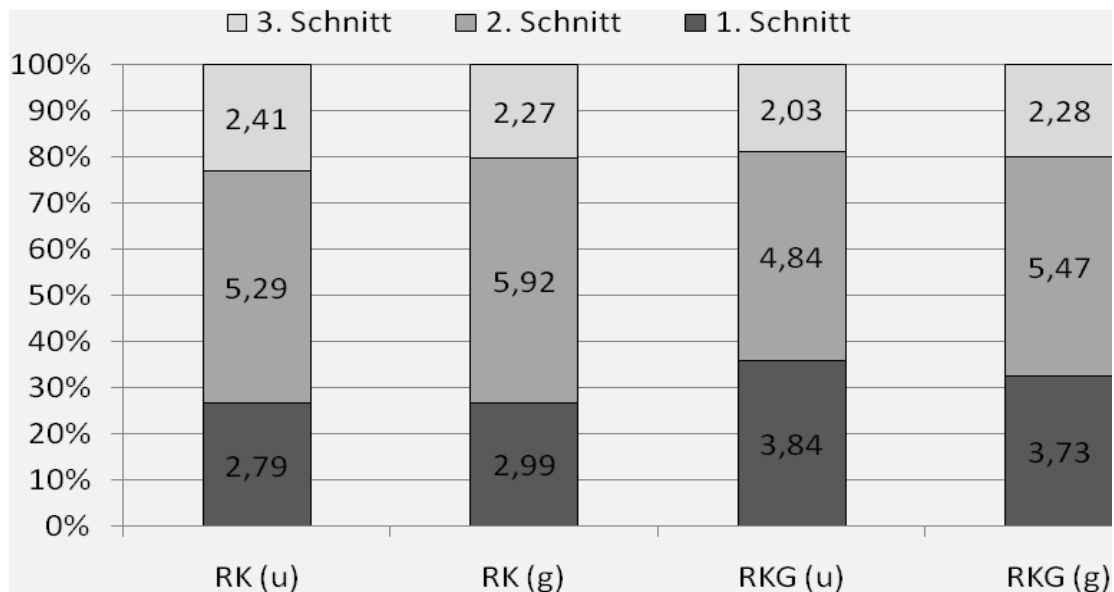


Abbildung 10: Anteil des TM-Ertrages der jeweiligen Schnitte in Prozent am Gesamtertrag
Die angeführten Werte sind die Durchschnittserträge in t TM je Hektar.

5.8. Gesamttrockenmasseertrag

Für die Feststellung des Gesamttrockenmasseertrages wurden die drei Aufwüchse bei Rotklee und Rotklee gras addiert.

Bei Mais nach Grünroggen trug die Erstkultur Roggen nur zu einem geringen Teil zum Gesamtertrag bei. Die Grünroggenerträge in Lambach lagen deutlich unter den Literaturangaben, wobei allerdings der frühe Erntetermin an diesem Standort berücksichtigt werden muss.

Die statistische Auswertung ergab, dass Düngung mit Biogasgülle einen signifikant ertragssteigernden Einfluss auf den Gesamt TM-Ertrag hatte (Tab. 12).

Auf der Versuchsfläche in Lambach erzielte ungedüngter Rotklee bei drei Aufwüchsen einen Trockenmasseertrag von $10,49 \text{ t ha}^{-1}$, mit Düngung war der Ertrag nur geringfügig höher und lag bei $11,18 \text{ t ha}^{-1}$. Rotklee gras erbrachte ebenfalls bei drei Aufwüchsen ohne Düngung $10,72 \text{ t TM ha}^{-1}$, mit Düngung $11,48 \text{ t TM ha}^{-1}$. Rotklee und Rotklee gras erzielten also annähernd die gleichen Erträge, es konnte bei diesen Kulturen kein signifikanter Einfluss der Düngung auf den TM-Ertrag festgestellt werden.

Sonnenblume ohne Düngung brachte einen TM-Ertrag von $10,63 \text{ t ha}^{-1}$, mit Düngung $14,12 \text{ t ha}^{-1}$. Bei Sonnenblume ist der Ertrag bei der gedüngten Variante signifikant höher.

Ungedüngter Mais nach Winterbegrünung erzielte mit $7,30 \text{ t TM ha}^{-1}$ einen wesentlich geringeren Ertrag als gedüngter Mais mit $11,41 \text{ t TM ha}^{-1}$.

Die TM-Erträge je Hektar des Roggens lagen bei $1,25 \text{ t}$ ohne Düngung bzw. bei $1,69 \text{ t}$ mit Düngung. Düngungseinfluss war bei der Erstkultur kaum feststellbar, bei der Hauptkultur Mais wurde der Düngungseffekt dann aber deutlich sichtbar. $10,68 \text{ t TM}$ bei Mais standen bei der gedüngten Variante $6,05 \text{ t TM}$ bei ungedüngter Variante gegenüber.

Ungedüngter Wickroggen erzielte mit $8,69 \text{ t TM}$ annähernd den gleichen Ertrag wie die Hauptkultur Mais mit $9,57 \text{ t TM*ha}^{-1}$. Bei der gedüngten Variante war der Maisanteil am Gesamttrockenmasseertrag mit $14,22 \text{ t*ha}^{-1}$ wesentlich höher als der Wickroggenanteil mit $7,88 \text{ t*ha}^{-1}$. Sämtliche Maisvarianten erzielten ohne Düngung signifikant niedrigere Gesamt TM-Erträge als mit Düngung.

Die Erträge waren bei der Variante Wickroggen und Zweitfrucht Mais sowohl gedüngt als auch ungedüngt höher als bei allen anderen Varianten. In Abbildung 11 sind die Ergebnisse der Trockenmasseerträge der einzelnen Kulturen graphisch dargestellt.

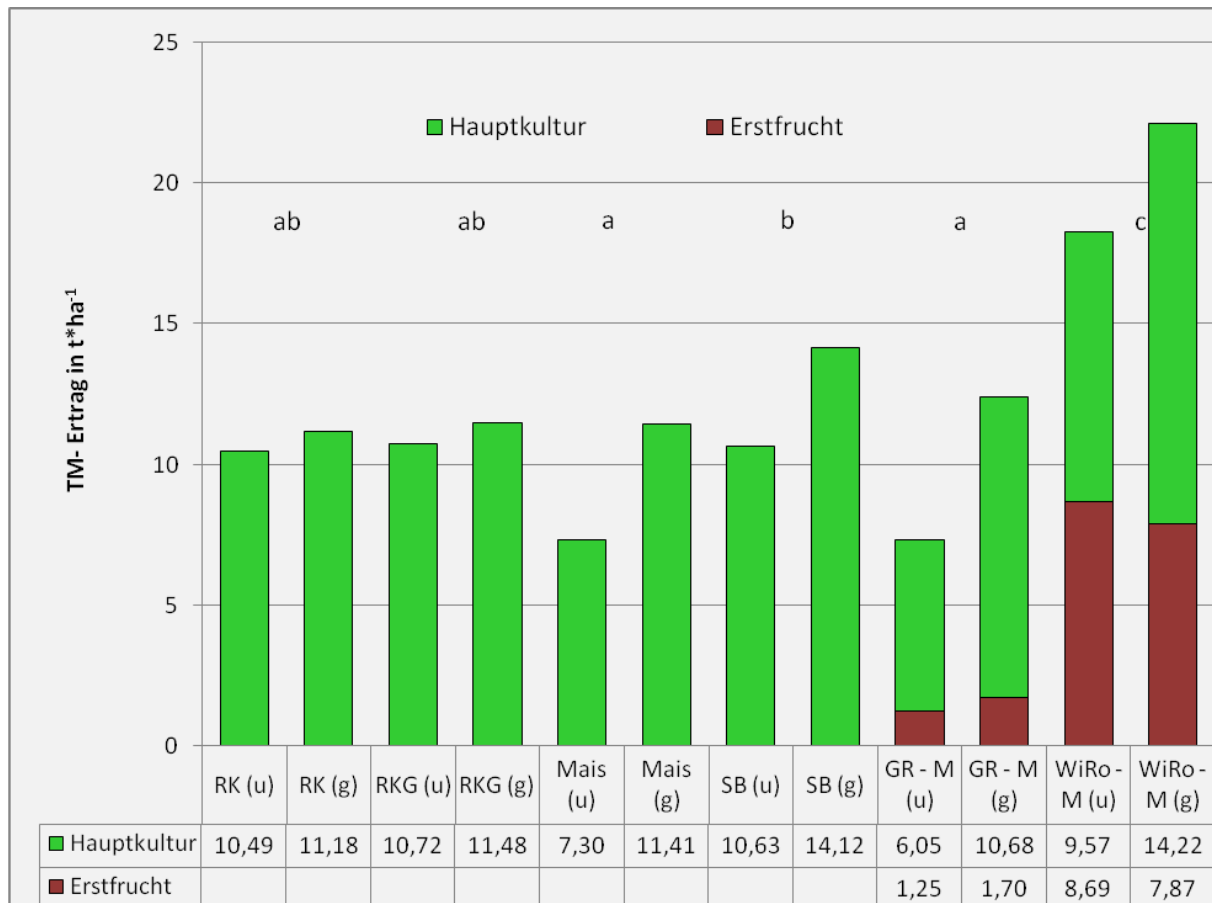


Abbildung 111: Gesamtertrag der Kulturarten in einer Vegetationsperiode.

Werte mit gleichen Buchstaben unterscheiden sich nicht signifikant voneinander.

Den höchsten Ertrag von allen Varianten erzielte mit 22,09 t TM ha⁻¹ die Kombination von Wickroggen mit der Zweitfrucht Mais. Der Einfluss der Kulturart war hoch signifikant. Die Kultur 6, Mais und Erstfrucht Wickroggen, unterschied sich von allen anderen Varianten. Die statistische Auswertung ergab eine signifikante Interaktion zwischen Kulturart und Düngung.

Tabelle 122: Statistische Auswertung des Gesamt TM-Ertrages

Faktor	Signifikanz	Kultur	log Gesamtertrag		n	Gruppierung
			MW t*ha ⁻¹	STABW		
Block	0,563	3	0,951	0,139	8	a
Düngung	0,035	5	0,973	0,142	8	a
Düngung*Block	0,087	1	1,033	0,044	8	ab
Kultur	0,000	2	1,040	0,079	8	ab
Kultur*Düngung	0,033	4	1,084	0,102	8	b
		6	1,300	0,072	8	c
		Düngung	log Gesamtertrag		n	Gruppierung
			MW t*ha ⁻¹	STABW		
		1	1,006	0,154	24	a
		2	1,121	0,127	24	b

Mittelwerte mit gleichen Buchstaben unterscheiden sich nicht signifikant (Tukey-Test, $P < 0,05$)

Abkürzungen: Kultur 1 Rotklee, 2 Rotklee gras, 3 Mais nach Winterbegrünung, 4 Sonnenblume, 5 Grünroggen und Zweitfrucht Mais, 6 Wickroggen und Zweitfrucht Mais

Düngung: 1 keine Düngung, 2 Düngung mit Biogasgülle

5.9. Verlauf des TM-Ertrages zu den Zeiternten

Bei Rotklee stieg der Ertrag mit und ohne Düngung im Lauf der Zeiternten kontinuierlich an. So hat sich bei der gedüngten Rotkleevariante von der ersten bis zur dritten Zeiternte der TM-Ertrag von 1,72 t TM*ha⁻¹ auf 3,95 t TM*ha⁻¹ verdoppelt. Rotklee gras zeigte eine ähnliche Entwicklung wie Rotklee, bei gedüngtem Rotklee gras war der TM-Zuwachs bis zur dritten Zeiternte größer als bei der ungedüngten Variante. Die TM-Erträge von Rotklee lagen bei allen drei Zeiternten auf gleichem Niveau. Rotklee gras wies einen ähnlichen Verlauf beim TM-Zuwachs auf, obwohl die Erträge sowohl mit, als auch ohne Düngung höher als bei Rotklee waren. Die Termine für die Zeiternten bei Rotklee und Rotklee gras waren der 25.04 der 10.05 und der 31.05.

Als Erntetermine für Sonnenblumen und Mais wurden der 16.08, der 10.09 und der 01.10 gewählt. Mais nach Winterbegrünung zeigte einen kontinuierlichen Ertragsanstieg bis zur dritten Zeiternte, mit Düngung fiel der Ertrag aber deutlich höher aus als ohne Düngung.

Sonnenblume erzielte bei beiden Varianten bei der zweiten Zeiternte nach 137 Vegetationstagen den höchsten Ertrag in t TM*ha⁻¹. Zur dritten Zeiternte nach 158 Vegetationstagen sank der TM-Ertrag wieder auf das Niveau der ersten Zeiternte ab. Sonnenblume reagierte auf die Düngung mit Biogasgülle mit einem hohen Ertragszuwachs.

Ungedüngter Mais nach Grünroggen konnte im Laufe der drei Zeiternten an Ertrag zulegen, das Ertragsniveau war allerdings deutlich unter dem der gedüngten Variante. Gedüngter Mais nach Grünroggen entwickelte sich nach der zweiten Zeiternte nicht mehr weiter und konnte keine Ertragszunahme erzielen.

Den höchsten TM-Ertrag je Hektar erbrachte gedüngter Mais nach Wickroggen bei der dritten Zeiternte. Mit Düngung konnte der Mais nach Wickroggen von der ersten bis zur letzten Zeiternte an TM-Ertrag zulegen, ohne Düngung war die zweite Zeiternte die ertragreichste, danach sank der TM-Ertrag wieder leicht ab. Ungedüngter Mais nach Wickroggen erbrachte, trotz der späteren Aussaat, deutlich höhere Erträge als ungedüngter Mais nach Grünroggen, welcher immerhin zwei Wochen früher gesät wurde. Abbildung 12 stellt den Verlauf der Trockenmassebildung der jeweiligen Kultur, zu den unterschiedlichen Zeiternteterminen ohne Berücksichtigung der Erstfrucht, oder der Folgeaufwüchse bei Rotklee und Rotklee gras, dar.

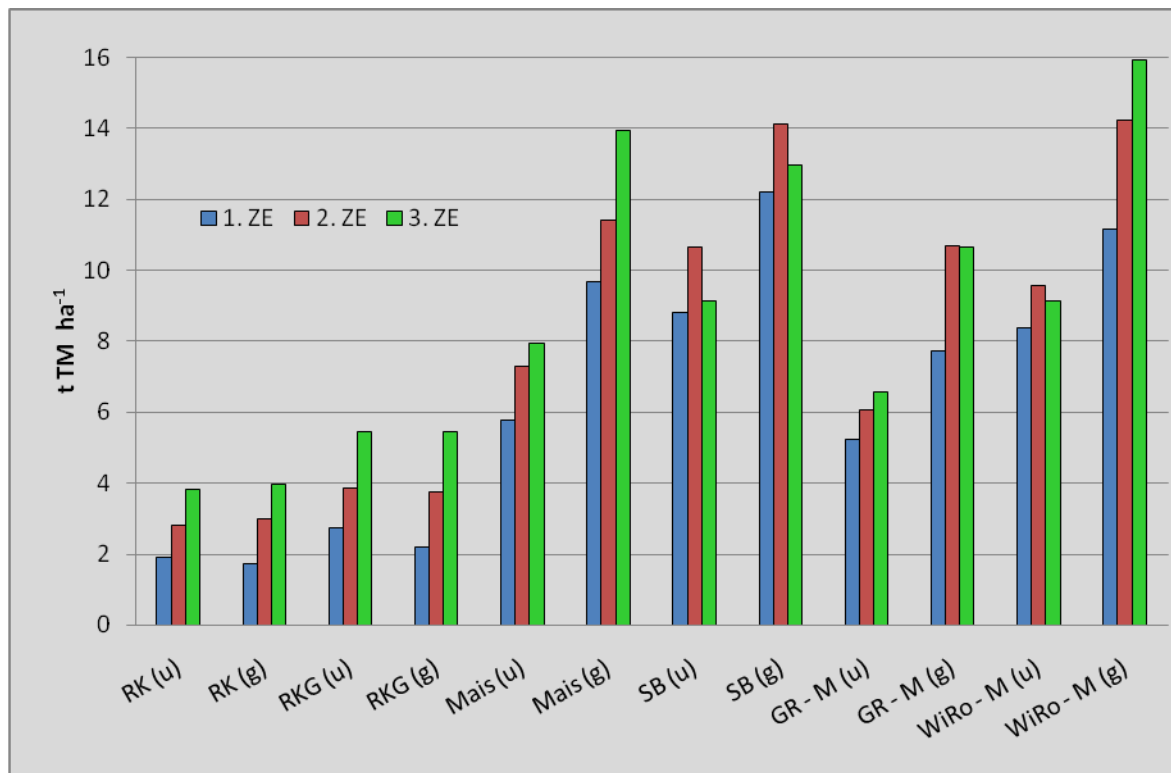


Abbildung 12: TM-Ertrag bei den Zeiternteterminen ohne Erstfruchterträge oder Folgeaufwüchse

Tabelle 13: Statistische Auswertung des TM-Ertrages zu den Ernteterminen

Faktor	Signifikanz	Kultur	Gesamtertrag		n	Gruppierung
			MW t*ha ⁻¹	STABW		
Block	0,213	3	9,339	3,354	24	a
Düngung	0,009	5	9,283	2,817	24	a
Düngung*Block	0,390	1	10,808	1,758	24	b
Kultur	0,000	2	11,214	2,218	24	b
Kultur*Düngung	0,062	4	11,308	2,777	24	b
Kultur*Block (Düngung)	0,000	6	19,675	3,505	24	c
Erntetermin	0,000	Düngung	Gesamtertrag		n	Gruppierung
Erntetermin*Block	0,658		MW t*ha ⁻¹	STABW		
Erntetermin*Düngung	0,056	1	10,475	4,183	72	a
Erntetermin *Düngung*Block	0,649	2	13,400	4,371	72	b
Erntetermin*Kultur	0,140	Erntetermin	Gesamtertrag		n	Gruppierung
Erntetermin*Düngung*Kultur	0,750		MW t*ha ⁻¹	STABW		
		1	10,625	4,005	48	a
		2	12,281	4,483	48	b
		3	12,909	4,781	48	b

Mittelwerte mit gleichen Buchstaben unterscheiden sich nicht signifikant (Tukey-Test, $P < 0,05$)
 Abkürzungen siehe Tabelle 12

Für die statistische Auswertung des TM-Ertrages zu den Ernteterminen wurden die Erträge der Erstfrucht sowie die Erträge der Folgeaufwüchse bei Rotklee und Rotklee gras zum jeweiligen Erntetermin addiert.

Beim Vergleich der TM-Erträge zu den verschiedenen Ernteterminen ergab sich ein signifikanter Mehrertrag durch die Düngung mit Biogasgülle. Zwischen den Kulturen gab es bei den Ernteterminen deutliche Unterschiede im TM-Ertrag. Mais und Erstfrucht Wickroggen erbrachte einen signifikant höheren Ertrag als alle anderen Kulturen. Mais nach abfroster Winterbegrünung und Mais nach Erstfrucht Grünroggen erzielten im Versuchsjahr 2007 die geringsten Erträge.

Beim ersten Erntetermin waren die Erträge signifikant niedriger als bei den beiden folgenden Ernteterminen. Diese unterschieden sich nicht voneinander. Die Interaktion zwischen Kultur und Wiederholung war ebenfalls signifikant. Zwischen Erntetermin und Düngung wurde ebenso eine Signifikanz festgestellt. Die Interaktion war jedoch nicht deutlich genug um diese abzusichern. Der errechnete Wert lag knapp über der Signifikanzgrenze von 0,05. Die Ertragszunahmen zwischen den Ernteterminen war, bei den mit Biogasgülle gedüngten Varianten größer als den ungedüngten Varianten.

5.10. Ergebnis der TS-Messung zu den Zeiternteterminen

Ungedüngter Rotklee zeigte einen Anstieg des TM-Gehaltes von 16,8% bei der ersten Zeiternte bis auf 25,5% bei der dritten Zeiternte. Ähnlich verhielt sich der gedüngte Rotklee. Rotklee gras hatte ohne Düngung bei der ersten Zeiternte einen Trockensubstanzgehalt von etwa 17 %, dieser stieg bis zur dritten Zeiternte auf rund 28 % an. Rotklee gras mit Düngung hatte denselben Verlauf beim Trockensubstanzgehalt wie Rotklee gras ohne Düngung.

Bei Mais nach abfroster Winterzwischenfrucht stieg der TS-Gehalt von 23 % zur ersten Zeiternte am 16.08 auf einen TS-Gehalt von bis zu 35 %.

Beide Sonnenblumenvarianten hatten zur ersten Ernte einen TS-Gehalt von 17 %, dieser stieg zur dritten Ernte auf 22 % an. Mais nach Grünroggen hatte bei der ersten Ernte ohne Düngung 22,8 % TS, mit Düngung 23,2 % TS. Zum zweiten Erntetermin war der Unterschied der Düngungsvarianten hinsichtlich des Trockensubstanzgehaltes wesentlich größer, so betrug dieser ohne Düngung 27,3 %, mit Düngung sogar 31,8 %.

Am 01.10, beim dritten Erntetermin, war kaum ein Unterschied zwischen den Varianten hinsichtlich des TS-Gehaltes festzustellen. Mais nach Wickroggen zeigte keine Unterschiede beim TS-Verlauf zwischen gedüngter und ungedüngter Variante. Der Trockensubstanzgehalt stieg von 22,3 % auf 30,5 % zum zweiten Erntetermin, bei der dritten Ernte wurden sogar 35,5 % TS erzielt.

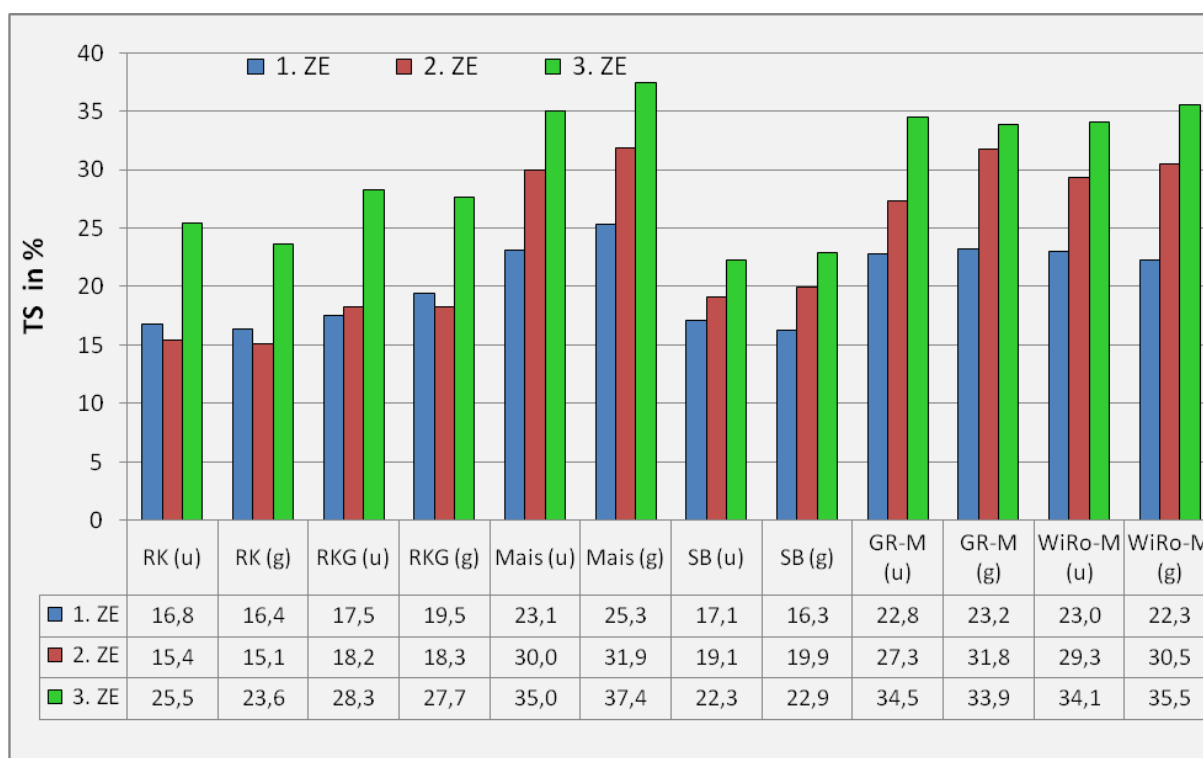


Abbildung 13: Trockensubstanzgehalt in Prozent der Frischmasse

Die TS-Gehalte der Abbildung 13 stellen nur die drei Zeiternten dar, daher bleibt bei Rotklee und Rotklee gras der zweite und dritte Schnitt unberücksichtigt. Bei Mais nach Wickroggen und Mais nach Grünroggen ist der TS-Gehalt der Erstkultur nicht angegeben.

Tabelle 14: Statistische Auswertung des Trockensubstanzgehaltes zu den Ernteterminen

Faktor	Signifikanz	Kultur	Trockensubstanzgehalt		n	Gruppierung
			TS %	STABW		
Block	0,438	1	18,800	4,359	24	a
Düngung	0,102	4	19,582	2,673	24	a
Düngung*Block	0,461	2	21,582	4,919	24	b
Kultur	0,000	5	28,916	5,180	24	c
Kultur*Düngung	0,107	6	29,130	5,420	24	c
Kultur*Block (Düngung)	0,159	3	30,461	5,370	24	d
Erntetermin	0,000	Düngung	Trockensubstanzgehalt		n	Gruppierung
Erntetermin*Block	0,509		TS %	STABW		
Erntetermin*Düngung	0,237	1	24,407	6,472	72	a
Erntetermin *Düngung*Block	0,441	2	25,083	7,036	72	a
Erntetermin*Kultur	0,000	Erntetermin	Trockensubstanzgehalt		n	Gruppierung
Erntetermin*Düngung*Kultur	0,110		TS %	STABW		
		1	20,266	3,407	48	a
		2	23,902	6,646	48	b
		3	30,068	5,699	48	c

Mittelwerte mit gleichen Buchstaben unterscheiden sich nicht signifikant (Tukey-Test, $P < 0,05$)
Abkürzungen siehe Tabelle 12

Die Auswertung des Trockensubstanzgehaltes zu den verschiedenen Ernteterminen ergab einen signifikanten Unterschied zwischen den Kulturarten. Die drei Erntetermine unterschieden sich ebenfalls deutlich Voneinander. Zum ersten Erntezeitpunkt war der TS-Gehalt am niedrigsten, zum dritten Zeitpunkt am höchsten. Signifikant war weiters die Interaktion zwischen Erntetermin und Kultur. Düngung mit Biogasgülle hatte keinen signifikanten Einfluss auf den TS-Gehalt zu den verschiedenen Ernteterminen.

Bei allen erhobten TS-Gehalten muss der Feuchtigkeitsverlust zwischen dem Erntezeitpunkt und dem Abwiegen zur Bestimmung der Frischmasse berücksichtigt werden. Der zeitliche Abstand von Erntezeitpunkt und Abwiegen der Proben betrug etwa eine Stunde.

6. Diskussion

6.1. Wachstumsbedingungen (Bodeneigenschaften, Witterung, $N_{\min}$ und Nährstoffversorgung, Blattflächenindex, Beikrautbesatz)

Der Boden in Lambach war die ganze Vegetationsperiode hindurch feuchter als am Standort Raasdorf, dies bedeutet, dass den Pflanzen bessere Wachstumsbedingungen zur Verfügung standen.

Im Versuchsjahr 2007 stand den Kulturen am Standort Raasdorf in der Vegetationsperiode von April bis September eine Niederschlagsmenge von 500 mm zur Verfügung, dies sind 144 mm mehr als im langjährigen Durchschnitt. Innerhalb eines Jahres fallen in Raasdorf im langjährigen Mittel (von 1971 – 2000) 546 mm Niederschlag. Dem gegenüber standen in der Vegetationsperiode 574 mm Niederschlag am Standort Lambach. Trotz der hohen Niederschlagsmengen im Vergleich zu Normaljahren konnten in Raasdorf keine hohen Trockenmasseerträge erreicht werden, weil die Niederschläge ungünstig verteilt waren und der Boden von Versuchsbeginn an trockener war. Im April fiel in Raasdorf ebenso wie in Lambach kein Niederschlag, was zu verzögertem Wachstumsbeginn und großen Ertragseinbußen bei den Erstkulturen führte. Der Feldaufgang von Mais und Sonnenblumen war durch die Trockenperiode stark verzögert. Die Niederschlagsmengen je Niederschlagsereignis konnten in Raasdorf nur selten 10 mm und mehr erreichen. Diese geringen Mengen verdunsteten aufgrund der hohen Windgeschwindigkeiten rasch und waren daher meist nicht pflanzenverfügbar.

Die durchschnittliche Jahresmitteltemperatur ist in Raasdorf mit 9,8°C um 1,4°C höher als in Lambach. Ebenso wie in Lambach wurden die langjährigen Mitteltemperaturen in Raasdorf im Versuchsjahr 2007 in allen Monaten überschritten. In der Vegetationsperiode von März bis September waren die Temperaturen durchschnittlich um 2°C höher als in Normaljahren. Die hohen Temperaturen kamen grundsätzlich den Ansprüchen von Mais entgegen, aufgrund des geringen Wasserangebotes konnte dieser Standortvorteil dennoch nicht in höhere Trockenmasseerträge umgesetzt werden.

Alle Daten aus Raasdorf (NÖ) stammen aus einer mündlichen Mitteilung von Debora F. LYSON im März 2009.

Die höheren $N_{\min}$ Werte bei Sonnenblumen und Mais nach Winterbegrünung am Standort Lambach gegenüber den anderen Kulturen sind damit zu begründen, dass zuvor eine abfrostdende Winterbegrünung, bestehend aus Sommerwicke, Platterbse, Alexandrinerklee, Phacelia, Senf, Malve und Buchweizen, angebaut wurde. Die Pflanzen der Winterbegrünung konnten nach ihrem Absterben im Frühjahr keinen Stickstoff mehr aufnehmen. Aus diesem Grund ist der $N_{\min}$ Gehalt auf den Parzellen mit abfrostdender Winterbegrünung höher als auf den anderen Parzellen. In Raasdorf wurden bei der $N_{\min}$ -Messung im Frühjahr 2007 bei den Parzellen von Grünroggen und Wickroggen zwischen 70 kg und 80 kg $N_{\min} \cdot \text{ha}^{-1}$ gemessen. Durch die geringen Niederschläge konnten die Nährstoffe in Raasdorf trotz des besseren Nährstoffangebotes nicht von den Pflanzen aufgenommen werden. Die tagwasservergleyte Braunerde in Lambach konnte das Niederschlagswasser länger speichern als die Schwarzerde in Raasdorf, und so standen den Pflanzen die Nährstoffe über einen längeren Zeitraum zur Verfügung. Dies spiegelte sich in den höheren TM-Erträgen in Lambach wieder.

Die am Standort Lambach untersuchten Nährstoffe Phosphor, Kalium und Magnesium liegen allesamt in der Versorgungsstufe D (hoch). Aufgrund der guten Versorgungsstufe kann die Düngungsempfehlung für diese Flächen reduziert werden. Ziel der Düngung sollte die Versorgungsstufe C sein, das entspricht der Erhaltungsdüngung (LÜTKE ENTRUP, 2006, Seite 575).

Um einen genauen Verlauf des Blattflächenindex in der Vegetationsperiode zu erstellen müsste die Messung in regelmäßigen Abständen, zum Beispiel alle vierzehn Tage, erfolgen. Das LAI-2000 Messgerät war jedoch in der Versuchswirtschaft Großenzersdorf stationiert, und stand zu den geplanten Ernteterminen nicht immer zur Verfügung. Für die Messung des Blattflächenindex wurden bei der Projektplanung die Erntetermine ausgewählt. Die erhobenen Werte stellen nur Momentaufnahmen dar, und lassen keinen Rückschluss auf die Bestandesentwicklung zu. In Lambach wurde festgestellt, dass Wickroggen bei der Ernte deutlich höhere LAI Werte erzielte als Grünroggen. Aufgrund der unterschiedlichen Erntetermine können die gemessenen Werte aber nicht direkt miteinander verglichen werden. Durch die große Differenz zwischen den Messwerten von Grünroggen und Wickroggen ist jedoch anzunehmen, dass selbst bei gleichem Erntetermin ein Unterschied hinsichtlich des Blattflächenindex zwischen beiden Kulturen besteht.

Weil bei Rotklee und Rotklee gras bei jedem Aufwuchs jeweils nur zur Ernte der Blattflächenindex gemessen wurde, kann keine Aussage über den Verlauf des Indexes über eine Vegetationsperiode getroffen werden. Die gemessenen LAI Werte lagen bei Rotklee und auch bei Rotklee gras deutlich über den LAI Ergebnissen sämtlicher Maisvarianten und Sonnenblumen. Dies liegt vor allem an der hohen Bestandesdichte und dem geringen Reihenabstand.

Das Absinken des Blattflächenindex bei der Sonnenblume zwischen den Zeiternteterminen lässt sich durch das Abreifen und der damit verbundenen Verminderung der Blattfläche und den Bröckelverlust bei totreifen Pflanzen erklären.

Bei den Maisvarianten lässt der Anstieg des LAI von der ersten zur zweiten Ernte vermuten, dass das Wachstum noch nicht vollständig abgeschlossen war. Dies könnte durch eine höhere Anzahl an Messungen in regelmäßigen Abständen bestätigt werden. Abgestorbene Blätter und Bröckelverluste verringern, ebenso wie bei der Sonnenblume den Blattflächenindex, dies wurde auch beim Versuch in Lambach festgestellt.

Düngung mit Biogasgülle wirkte sich bei dem angelegten Versuch kaum sichtbar auf den Blattflächenindex aus, die gemessenen Unterschiede waren gering. Bei Sonnenblume und bei Mais nach Winterbegrünung war mit Düngung der LAI beim ersten Erntetermin beinahe doppelt so hoch wie ohne Düngung. Die folgenden Messungen zeigten allerdings keinen Unterschied mehr. Es kann vermutet werden, dass sich gedüngte Pflanzen rascher entwickeln und mehr Biomasse bilden, dies entspricht auch den Trockenmasseerträgen die bei Sonnenblume und Mais erhoben wurden. Unberücksichtigt bleiben in Lambach bei allen Messergebnissen der Witterungseinfluss und die natürliche Sonnenstrahlung zu den Messterminen auf das LAI 2000 Messgerät.

Um die volle Ausnutzung des Lichtes zu erlangen, muss der LAI den Wert von 4 und mehr erreichen (BORGMANN in LÜTKE ENTRUP, 2006).

Die unkrautunterdrückende Wirkung der einzelnen Kulturarten ist unterschiedlich. Bei Wickroggen ist vor allem das Mischungsverhältnis zwischen Wicke und Roggen entscheidend, ob eine wirkungsvolle Unkrautunterdrückung stattfindet. Wicke bildet viel Blattmasse und sorgt für rasche Bodenbedeckung. Roggen wird vor allem als Stützfrucht benötigt, weil sonst der Bestand der Wicke zusammenbrechen kann und die Gefahr der Ausbreitung von Pilzkrankheiten durch schlechtes Abtrocknen der Blätter hoch ist.

Rotklee und Rotklee gras lassen nach einem Schröpf- oder Reinigungsschnitt so gut wie keine Unkräuter mehr aufkommen.

Mais wies in Lambach in allen Varianten eine hohe Verunkrautung auf. Durch mehrmaliges maschinelles hacken oder striegeln wäre starke Unkrautreduzierung bei Mais erreichbar. Eine Verkürzung der Reihenweite würde ebenfalls zu einer Unkrautreduzierung führen, da der Bestandesschluss früher erfolgt (MÜCKE, MEYERCORDT 2007).

Sonnenblumen waren im Vergleich zu Mais nur gering verunkrautet. Eine Verkürzung der Reihenweite bei den Sonnenblumen würde kaum Erfolg erzielen, die Einzelpflanzen der

Sonnenblume benötigen ausreichenden Standraum um sich zu entwickeln und um den optimalen Ertrag zu erbringen. Außerdem ist bei zu geringem Reihenabstand hacken nicht möglich.

6.2. Kulturarteneinfluss

Bei Rotklee und Rotklee gras stieg im Verlauf der drei Zeiternten, sowohl in der gedüngten als auch in der ungedüngten Variante, der Trockenmasseertrag je Hektar kontinuierlich an. Der Trockenmassegehalt dieser Kulturen nahm ebenfalls im Laufe der Vegetationsperiode zu. Zur dritten Zeiternte lag der Trockenmassegehalt mit 25 – 28 % immer noch im silierfähigen Bereich. Bei der ersten Zeiternte des ersten Schnittes wäre es aufgrund des jungen Aufwuchses, kaum möglich den gewünschten Rohfaseranteil von 23 – 24 % der Trockensubstanz (BUCHGRABER, 2003) für gute Silage zu erreichen.

Für die Messung des Gesamttrockenmasseertrages einer Vegetationsperiode hätte beim ersten Schnitt aufgrund des hohen TM-Ertrages und des optimalen Trockensubstanzgehaltes die dritte Zeiternte herangezogen werden müssen. Dies war aber aus versuchstechnischen Gründen nicht möglich, weil nach der zweiten Zeiternte bereits ein Großteil der Versuchsfläche abgeerntet wurde um für die Folgeaufwüchse eine einheitliche Ausgangssituation und eine gleich lange Vegetationszeit zu gewährleisten. Wenn die dritte Zeiternte für die Gesamttrockenmassebildung eines Jahres herangezogen worden wäre, wären die Aufwüchse des zweiten und dritten Schnittes nicht korrekt erhoben worden. Die Ergebnisse hätten dann nicht zu einem Jahresgesamtertrag addiert und mit anderen Kulturen verglichen werden können.

Üblicherweise soll der erste Schnitt den höchsten TM-Ertrag erzielen, denn nachfolgende Aufwüchse können in der Regel den Minderertrag bei zu früher Ernte des ersten Schnittes nicht kompensieren. Im Versuch in Lambach erfolgte die Ernte des ersten Schnittes etwas zu früh.

Prozentuell fiel bei Rotklee gras der erste Aufwuchs besser aus als bei Rotklee, dies lässt sich mit der Stickstofffixierleistung der Knöllchenbakterien vom Rotklee begründen, wodurch dem Gras mehr Stickstoff zur Verfügung stand und mehr Masse gebildet werden konnte.

Wegen des frühen Aussaattermins Ende August 2006 und der günstigen Witterung im Herbst wäre bereits im Herbst 2006 eine Ernte von Rotklee und Rotklee gras möglich gewesen. Im Herbst stand jedoch nicht genügend Personal für die Aufarbeitung der Ernteproben zur Verfügung, und so wurde der Aufwuchs gemulcht und verblieb als Dünger am Feld. In zukünftigen Versuchen sollte die Ertragsleistung dieser Kulturen bereits im

Herbst des Aussaatjahres erhoben werden, dadurch könnte, rechtzeitige Aussaat vorausgesetzt, der Gesamttrockenmasseertrag deutlich gesteigert werden.

In Lambach konnten bei Rotklee und Rotklee gras drei Schnitte geerntet werden, in Raasdorf konnten aufgrund der geringeren Niederschlagsmengen nur zwei Schnitte geerntet werden, daher ist ein Vergleich mit Lambach nur bedingt möglich. Die Anzahl der möglichen Schnittnutzungen ist entscheidend für die erzielbaren Trockenmassenerträge auf einem Standort. Auf Standorten in Norddeutschland wurden bei Rotklee grasgemengen zwischen 10,2 und 13,0 t ha⁻¹ TM geerntet und bei Rotklee mit zwei Schnitten bis zu 7 t ha⁻¹ TM (GÖTZ, KONRAD, 1987). KAHNT (1996) gibt bei Klee gras einen möglichen TM-Ertrag von 11,6 t ha⁻¹ an. Die Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft (2007) gibt als TM-Ertrag von ökologisch produziertem Klee gras 7,5 t ha⁻¹ im Jahr an.

Bei der Sonnenblume wurde für die Ertragsmessung die zweite Zeiternte nach 137 Wuchstagen herangezogen. Aufgrund der steigenden Blatt- und Bröckelverluste nahm der TM-Ertrag mit dem späteren Erntezeitpunkt ab. Am Standort Lambach ist es bei entsprechender Sortenwahl möglich, dass die Sonnenblume zur Druschreife gelangt, und trotzdem noch genügend Vegetationszeit für den Anbau von Nachfrüchten, wie etwa Rotklee gras, zur Verfügung steht. Durch eine zeitige Ernte im Herbst können sich die Folgefrüchte noch vor dem Winter ausreichend etablieren.

Aufgrund der hohen Niederschlagsmengen im Herbst sollten auf feuchten Standorten wie Lambach, frühe Sorten angebaut werden, um das Risiko von Pilzkrankungen in den Sonnenblumenbeständen zu reduzieren. Bei Sonnenblumen würde aufgrund der schlechten Silierbarkeit des Erntegutes und der hohen Nachfrage an Sonnenblumenöl, eine Körnernutzung wirtschaftlicher sein als ein Anbau nur zur energetischen Nutzung. Die durchschnittlichen Kornerträge von Sonnenblumen liegen nach Literaturangaben bei 2,66 t*ha⁻¹ (DIEPENBROCK, 2005). In Lambach müsste erhoben werden, welche Kornerträge bei Sonnenblumen erzielbar wären. Wenn die Restpflanze der Sonnenblume für die Biogaserzeugung genutzt wird, ist ein Methanertrag von 350 m³_N CH₄ * ha⁻¹ je t oTS zu erwarten (AMON et al. 2003a). Sonnenblumenpresskuchen kann ebenso 350 m³_N CH₄ * ha⁻¹ je t oTS erzielen. In einem Praxisversuch konnten mit Sonnenblumenrestpflanzen 812 m³_N CH₄ * ha⁻¹ und mit Presskuchen 452 m³_N CH₄ * ha⁻¹ erzeugt werden (AMON et al. 2003a, AMON & HOPFNER-SIXT 2005, KTBL 2005).

Mais nach der Erstkultur Wickroggen erbrachte in Raasdorf mit 4,90 t und 5,38 t TM ha⁻¹ deutlich geringere Erträge als in Lambach, wo bei dieser Kultur zwischen 9,14 t und 15,91 t TM ha⁻¹ geerntet wurden. Die in Lambach erzielten TM-Erträge bei Mais nach Erstfrucht

Grünroggen oder Wickroggen entsprechen durchaus den Literaturangaben, wo zwischen 8,5 t und 13,8 t TM ha⁻¹, je nach Standort, als erzielbare Erträge angeführt werden (GRASS, 2003; LEHMANN, 2006; GRÖBLINGHOFF, 2004).

Trotz der um vierzehn Tage späteren Aussaat der Variante Mais nach Wickroggen hatte diese Verzögerung keinen Einfluss auf die Pflanzenentwicklung und den TS-Gehalt zu den jeweiligen Zeiternten. Ursächlich für die annähernd gleiche Entwicklung der Maispflanzen dürfte die Trockenheit im April gewesen sein. Mais nach Winterbegrünung ist nur langsam aufgelaufen weil nach der Aussaat im April kaum Niederschlag zur Verfügung stand. Mais nach Wickroggen hingegen hat sich nach dem späteren Anbau rasch entwickelt. Aus zeitlichen und logistischen Gründen mussten alle Maisvarianten am gleichen Tag beerntet werden, ohne Berücksichtigung des Aussaattages. Obwohl gedüngter und ungedüngter Mais nach Winterbegrünung und gedüngter Mais nach Wickroggen in Lambach bei der dritten Zeiternte die höchsten TM-Erträge erreichten, wurde für die Ermittlung des Jahresertrages die zweite Zeiternte herangezogen, weil ein Kompromiss gefunden werden musste zwischen optimalen TM-Ertrag und optimalen TS-Gehalt für die Silierung.

Wird die Gesamt-TM Ertragsleistung bei Zweikulturnutzung betrachtet, so ist die Kombination von Mais und Wickroggen am Standort Lambach eindeutig die ertragreichste Variante. In der Literatur sind TM-Erträge bei Zweikulturnutzung von Grünroggen und Mais zwischen 12 t und 20 t TM ha⁻¹ erreichbar (LEHMANN, 2006, LÜTKE ENTRUP 2000). Für GRASS (2003) sind bei Mais nach einem Wintererbsen Roggengemenge bis zu 11,9 t ha⁻¹ zu erwarten, wobei bei der Erstfrucht bis zu 6,9 t ha⁻¹ geerntet werden können.

Roggen muss zum Zeitpunkt der Milchreife geerntet werden um hohe TM-Erträge zu erzielen. In Lambach wurde der Roggen bereits zum Ende des Schossens geerntet, um den Mais möglichst früh säen zu können. Der Zweitfrucht Mais sollte eine möglichst lange Vegetationsperiode gewährleistet werden. Fehlender Niederschlag im April verzögerte die Entwicklung des Grünroggens und wirkte sich negativ auf den Bestand aus, die Pflanzen blieben klein und entwickelten sich nur langsam weiter. Die Wickroggenerträge in Raasdorf waren mit 6,20 t und 6,54 t TM ha⁻¹ geringer als in Lambach wo zwischen 7,87 und 8,69 t TM ha⁻¹ geerntet wurden. Die, bei den Versuchen in Lambach und Raasdorf erzielten, TM-Erträge bei Wickroggen entsprachen den angegebenen Literaturwerten von etwa 6,9 t ha⁻¹ (DIETZE, 2006). GRASS (2003) erntete von einem Wintererbsen-Roggengemenge zwischen 6,0 t und 7,3 t ha⁻¹ TM, mit einem Roggenanteil zwischen 55,7 und 84,8 %. Die

Trockensubstanzgehalte schwankten bei diesem Versuch, je nach Versuchsjahr und Standort, zwischen 20,4 % und 21,9 %.

Wickroggen konnte sich in Lambach trotz langsamer Entwicklung im Herbst, zu Vegetationsbeginn im Frühjahr gut etablieren. Die Wicke wuchs so üppig, dass der Roggen, der als Stützfrucht vorgesehen war, fast nicht mehr sichtbar war. Um ein vorzeitiges Zusammenbrechen des Bestandes zu verhindern muss das Anbauverhältnis zugunsten des Roggens verschoben werden. Ein höherer Roggenanteil vermindert die Saatgutkosten, es kann jedoch auch zu Ertragseinbußen kommen (GÖTZ, KONRAD, 1987).

6.3. Düngungseinfluss

Die Gülledüngung bei Rotklee und auch bei Rotklee gras hätte bereits zeitiger im Frühjahr erfolgen müssen um schon beim ersten Aufwuchs stärker wirksam zu werden. Durch die späte Gülleausbringung wurde der Einfluss der Düngung auf den TM-Ertrag bei Rotklee und Rotklee gras erst beim zweiten Aufwuchs sichtbar, zum dritten Aufwuchs gab es keine sichtbaren Düngungseinflüsse mehr. Um die Auswirkung der Gülledüngung besser sichtbar zu machen, muss bei Rotklee und Rotklee gras nach jedem Schnitt gedüngt werden.

Auf dem Trockenstandort in Raasdorf wurden 2007 bei Luzerne ohne Düngung mit Biogasgülle 4,64 t TM ha⁻¹ erreicht, mit Düngung waren die Erträge mit 4,96 t TM ha⁻¹ nur unwesentlich höher. Diese TM-Erträge wurden in Raasdorf allerdings mit nur zwei Schnitten erreicht. Ähnlich gering waren die Unterschiede bei Luzerne gras. Ohne Düngung wurden 6,76 t, mit Biogasgülledüngung 6,72 t TM ha⁻¹ geerntet. Die in Raasdorf erhobenen Trockenmasseerträge sind deutlich niedriger als auf dem Standort Lambach. In Lambach wurden bei Rotklee bei drei Schnitten, abhängig von der Düngungsstufe, Erträge zwischen 10,48 t und 11,18 t TM ha⁻¹ geerntet. Rotklee gras erzielte in Lambach mit 10,72 t ohne Düngung und 11,48 t TM ha⁻¹ mit Düngung, ähnliche Erträge. Die Ertragsunterschiede zwischen Rotklee gras und Rotklee waren in Lambach nur gering.

Sonnenblume erzielte bei der zweiten Zeiternte einen TM-Ertrag von 10,63 t TM ha⁻¹ ohne Düngung und 14,12 t TM ha⁻¹ mit Düngung. In Raasdorf konnten ohne Düngung 9,46 t TM und mit Düngung 8,78 t TM ha⁻¹ geerntet werden. GÖTZ und KONRAD (1987) geben als mögliche Frischmasseerträge bei der Sonnenblume je nach Höhe der Düngung und Wasserversorgung zwischen 30 – 50 t ha⁻¹ an. Dies entspricht bei einem TS-Gehalt von 28 % einem TM-Ertrag von 8,4 – 14 t ha⁻¹. MAIER (1998) erzielte bei Sonnenblume nach Leguminosengemenge, mit einer Düngung von 20 m² ha⁻¹ Gülle, zwischen 4,1 t und 5,8 t TM

ha⁻¹. Ohne Gülledüngung wurden bei diesem Versuch 3,7 - 5,2 t TM ha⁻¹, abhängig vom Versuchsjahr, geerntet.

Bei Mais waren die Unterschiede zwischen gedüngter und ungedüngter Variante nur gering. Literaturangaben für Maiserträge zwischen 10,5 t und 30,8 t TM ha⁻¹ (LÜTKE ENTRUP, 2000; LEHMANN, 2006; AMON, 2006) konnten in Lambach und Raasdorf im Versuchsjahr 2007 ohne Düngung nicht erreicht werden. Durch Düngung mit Biogasgülle konnten jedoch mit 11,4 t TM ha⁻¹ annähernd die in der Literatur angeführten Erträge geerntet werden. Die Angaben für Mais Trockenmasseerträge in der Literatur stammen überwiegend aus konventionellen Anbauversuchen, ohne Angabe über die Intensität der Düngung.

GRASS (2003) konnte bei Mais nach Erstfrucht Wintererbse ohne N-Düngung 11,1 t ha⁻¹ TM ernten. Mais nach der Erstfrucht Wintererbsen-Roggengemenge erreichte bei diesem Versuch ohne N-Düngung 10,2 t ha⁻¹ TM. Mit einer N-Düngung von 80 kg N ha⁻¹ wurden 13,9 t ha⁻¹ Silomais geerntet (GRASS, 2003).

Grünroggen erbrachte im Versuchsjahr 2007 am Standort Lambach mit 1,3 t ha⁻¹ ohne Düngung bzw. 1,7 t ha⁻¹ mit Düngung nur äußerst geringen Ertrag, wesentlich niedriger, als vergleichbare Literaturangaben wo zwischen 2,4 und 6 t ha⁻¹ TM angeführt sind (LÜTKE ENTRUP 2000, GRÖBLINGHOFF, 2004, LEHMANN, 2006). Hauptursache dafür dürfte die frühe Ernte des Grünroggens gewesen sein. Die Düngung des Grünroggens sollte bereits im Herbst erfolgen, damit das Leistungspotential des Roggens voll ausgeschöpft werden kann. Grünroggen konnte in Raasdorf mit einem Ertrag zwischen 2,13 t und 2,50 t TM ha⁻¹ eine höhere Ertragsleistung als auf dem feuchteren Standort in Lambach erreichen. Wickroggen ohne Gülledüngung erzielte in Lambach einen höheren Ertrag als mit Gülledüngung. Bei Grünroggen war die gedüngte Variante überlegen.

6.4. Optimaler Erntetermin und Trockensubstanzgehalt

Um die optimale Ertrags- und Leistungsfähigkeit eines Standortes zu ermitteln, muss für den jeweiligen Standort die am besten geeignete Kulturart und die optimale Fruchtfolge gefunden werden. Die Kulturart eines Standortes mit dem höchsten Biomasseertrag sollte mit Ergebnissen anderer Standorte verglichen werden, um die an den jeweiligen Standort am besten angepasste Art miteinander zu Vergleichen. Grundsätzlich sollte die Fruchtfolgegestaltung so erfolgen, dass für jeden Standort der optimale Ertrag erzielt werden kann. Dies bedeutet, dass etwa in Trockengebieten trockenheitstolerante und wärmeliebende Kulturen bevorzugt angebaut werden müssen. Der optimale Erntezeitpunkt

einer Kulturart ist dann erreicht, wenn der Trockenmasseertrag und der Methanhektarertrag am größten sind. Beachtet werden muss dabei auf jeden Fall der Trockensubstanzgehalt, denn eine Silierung des Erntegutes muss möglich sein. Der TS-Gehalt der verschiedenen Kulturarten ist stark abhängig vom Vegetationsstadium der Pflanzen. Mit zunehmender physiologischer Reife nimmt der TS-Gehalt zu. Mit zunehmender Abreife der Pflanzen sinkt jedoch die Siliereignung. Um einen Verlauf der TS-Entwicklung darzustellen muss vor jedem Erntetermin in regelmäßigen Abständen der TS-Gehalt bestimmt werden. In Lambach wurde auf die Messung des TS-Gehaltes in regelmäßigen Abständen bei Rotklee und Rotklee gras beim zweiten und dritten Schnitt, sowie bei Wickroggen und Grünschnittroggen verzichtet.

Die Messung der TS-Gehalte bei Rotklee in Lambach ergab bei allen Ernteterminen niedrigere Werte bei Luzerne als in Raasdorf. Luzerne wiesen bei der zweiten Zeiternte des ersten Schnittes in Raasdorf einen TS-Gehalt von über 32 % auf, in Lambach erreichte Rotklee bei diesem Erntetermin nur 15 % TS. Bei der Sonnenblumenvariante in Lambach entwickelten sich die Trockensubstanzgehalte bei gedüngter und ungedüngter Variante annähernd gleich. Gedüngte Sonnenblumen hatten bei der zweiten und dritten Zeiternte einen geringfügig höheren Trockensubstanzgehalt als ungedüngte Sonnenblumen. Der Trockensubstanzgehalt der Sonnenblumen lag in Lambach bei der dritten Zeiternte mit 22 % TS immer noch unterhalb des optimalen Feuchtigkeitsbereiches der für eine stabile Silage notwendig wäre. In Raasdorf konnte bei der dritten Zeiternte der für die Silierung optimale TS-Gehalt von 30 % gemessen werden. Die Ernte sollte durchgeführt werden, sobald der TS-Gehalt 28 % erreicht, um die Bröckelverluste möglichst gering zu halten und die größtmögliche Ausbeute an Biogas je Hektar zu erzielen.

Der TM-Ertrag war bei Sonnenblume mit Düngung, wie zu erwarten, deutlich höher als ohne Düngung mit Biogasgülle. Dies lässt vermuten, dass bei Düngung die Pflanzenentwicklung rascher abgeschlossen wird. Ist das Wachstum früher abgeschlossen, kann auch die Ernte zu einem früheren Zeitpunkt erfolgen.

Hinsichtlich des TS-Gehalts konnte in Lambach bei keiner der Maisvarianten ein Unterschied zwischen gedüngten und ungedüngten Parzellen festgestellt werden. Zur ersten Zeiternte war der TS-Gehalt bei allen Maisvarianten mit ~23 % niedrig, und eine Silierung wäre nur mit erheblichen Gärstoffverlusten möglich gewesen, zudem war das Ertragsmaximum noch nicht erreicht. Bei der zweiten Zeiternte war ebenfalls bei allen Maisvarianten der TS-Gehalt mit etwa 30 % im Optimalbereich für die Silagebereitung. Bei der letzten Zeiternte von Mais waren die Pflanzen in Lambach mit einem TS-Gehalt von durchschnittlich 35 %, bereits an der Grenze der optimalen Silierfähigkeit, daher war die Erreichung einer guten Silagequalität unsicher. In Raasdorf war bei der dritten Zeiternte bei einem TS Gehalt von mehr als 45 % eine Silierung von Mais nicht mehr möglich.

Eine Messung der Kornfeuchte in Lambach mit einem geeichten Feuchtigkeitsmessgerät (SM10) am 1. Oktober ergab eine Feuchtigkeit von 34 % bei ungedüngtem Mais nach Grünroggen bis 36,5 % bei gedüngtem Mais nach Wickroggen. Dies bedeutet, dass bei entsprechender Witterung und frühreifer Sorten ebenso wie bei der Sonnenblume eine Ernte des Korns möglich wäre. In Raasdorf wurde bei Mais nach abfrostender Winterbegrünung und Mais nach Grünroggen bei der dritten Zeiternte die Druschreife erreicht. Im Falle einer Kornernte müsste erhoben werden, welchen Kornertrag Biomais unter den gegebenen Produktionsbedingungen erzielen kann. In der Versuchsanstellung in Lambach und Raasdorf war keine Kornertragserhebung vorgesehen, somit wurden die Kolben nicht beurteilt. Es wurde lediglich festgestellt, dass es beim letzten Erntetermin zu teilweise hohen Kornverlusten durch Vogelfraß kam. Bei diesen kleinen Versuchspartzellen wirkt sich bereits geringer Vogelfraß stark ertragsmindernd aus.

Bei Zweikulturnutzung müssen die Erntetermine der Kulturarten so abgestimmt werden, dass es zu möglichst geringen Beeinträchtigungen der nachfolgenden Kulturen kommt. Dies ist besonders für die Faktoren Wasser, Nährstoffe und Vegetationszeit von entscheidender Bedeutung.

7. Schlussfolgerungen und Ausblick

Auf dem Standort Lambach konnte aufgrund der höheren Niederschlagsmengen bei allen Kulturen höhere Erträge erzielt werden als auf dem Trockenstandort in Raasdorf, obwohl das Nährstoffangebot im Boden in Raasdorf deutlich besser war als in Lambach. Durch das hohe Wasserspeichungsvermögen des Bodens in Lambach konnten die Pflanzen länger wachsen und mehr Trockenmasse bilden.

Besonders die Zweikulturnutzung von Wickroggen und Mais erzielte mit bis zu 22,1 t TM ha⁻¹ einen sehr guten Ertrag. In Lambach hat sich gezeigt, dass sowohl der angebaute Rotklee als auch die Rotkleeegrasmischung an diesen Standort gut angepasst sind und mit jeweils über 10,0 t TM ha⁻¹ hohe Erträge erzielten.

Richtige Sortenwahl ist von größter Bedeutung, besonders auf Biobetrieben, denn nur an den Standort angepasste Sorten sind in der Lage, Spitzenerträge zu produzieren. Die Pflanzenzüchtung muss sich darauf einstellen, dass in Zukunft Pflanzen benötigt werden, die entsprechende Kornerträge für die Nahrungsproduktion und gleichzeitig hohe Gesamtpflanzenerträge für die Biogaserzeugung, erbringen.

Biomasseproduktion für energetische Zwecke soll der Verwertung von Nebenprodukten und Zwischenfrüchten dienen, und nicht in Konkurrenz zur Nahrungsmittelgewinnung stehen. Es gilt den Fokus auf die Ertragsleistung von Marktfrüchten zu legen und zu ermitteln, welche Trockenmassenerträge bei diesen Kulturen unter den gegebenen Produktionsbedingungen erreichbar sind. Ein interessanter Ansatzpunkt wäre, den Kolbenanteil bei Mais oder der Kornanteil bei der Sonnenblume an der Gesamtpflanze zu ermitteln.

Augenmerk soll auch auf die Möglichkeit der Koppel- oder Kaskadennutzung gelegt werden, damit eine Konkurrenz zur Nahrungsmittelproduktion vermieden wird. Nebenprodukte der Nahrungsmittelproduktion können allerdings gut und sinnvoll energetisch verwertet werden. Zu diesem Thema wird bereits intensiv geforscht.

Der Einfluss der Düngung wurde in Lambach deutlicher sichtbar als in Raasdorf, begründet ebenfalls in dem höheren Wasserangebot und geringeren Stickstoffangebot des Bodens in Lambach. Düngung mit Biogasgülle bewirkte signifikante Ertragszuwächse gegenüber den ungedüngten Kulturen. Bei der Düngung soll den Marktfrüchten der Vorzug gegenüber den Begrünungs- und Zwischenfrüchten wie etwa Rotklee gegeben werden. Durch gezielte

Düngung von Kulturarten für die Nahrungs- und Futtermittelgewinnung können bei biologischer Bewirtschaftung deutlich höhere und daher wirtschaftliche Erträge geerntet werden. Diese Ertragssteigerung wäre nur mit Düngung aus Pflanzenresten, die nach der Ernte auf dem Feld verbleiben, ohne zusätzliche Düngestoffe, nicht zu erzielen.

Untersuchungen wie sich die Nutzung von Zwischenfrüchten und Restpflanzen für die Biogasgewinnung auf den Humusgehalt im Boden auswirkt, sind noch ausständig. Es gilt festzustellen, wieviel Pflanzensubstanz auf dem Feld verbleiben muss, um den Humusgehalt nicht absinken zu lassen. Die Produktion von Biogas darf nicht zu Lasten des Humusgehaltes im Boden gehen. Der Grundgedanke einer nachhaltigen Landwirtschaft darf, trotz aller wirtschaftlichen Überlegungen, nicht verloren gehen.

Die Verwertung der Pflanzenreststoffe in einer Biogasanlage entspricht dem Gedanken der geschlossenen Kreislaufwirtschaft, denn die Biomasseaufwüchse werden dezentral, direkt am Betrieb verwertet, und die Biogasgülle steht wieder als Düngemittel zur Verfügung.

Wenn in Zukunft die Verwendung von chemischen Pflanzenschutzmitteln, insbesondere bestimmter Wirkstoffgruppen weiter eingeschränkt wird, wird der Umstieg auf ökologische Produktionsweise zunehmend auch für viehlos wirtschaftende Ackerbaubetriebe interessant werden. Konventionelle Fruchtfolgen müssen dann so umgestellt werden, dass auch ohne chemischen Pflanzenschutz und synthetischen Düngemitteln wirtschaftliche Erträge erzeugt werden können. Sind mehr ökologisch produzierte Güter auf dem Markt, kann es allerdings zum Preisverfall dieser Güter kommen. Durch Koppelnutzung von verschiedenen Pflanzen und Produktion von Biogas kann ein Teil der finanziellen Einbußen kompensiert werden und die landwirtschaftlichen Betriebe schaffen ein zusätzliches wirtschaftliches Standbein, unabhängig von der Urproduktion. Durchdachte und sinnvoll geplante Fruchtfolgen sind von großer Bedeutung für die Produktion dieser landwirtschaftlichen Produkte.

Mais und Sonnenblumen werden zurzeit erst in geringem Maße biologisch erzeugt, die Nachfrage an ökologisch produzierten Futtermitteln, aber auch Nahrungsmitteln wird in Zukunft weiter ansteigen. Deshalb muss versucht werden auch diese für Biobetriebe eher untypischen Kulturarten in biologische Fruchtfolgen einzubauen um die Nachfrage künftig decken zu können.

In Zukunft müssen sich Landwirte spezialisieren oder sich mehrere, voneinander unabhängige wirtschaftliche Standbeine suchen, um die Existenz des Betriebes zu sichern. Landwirtschaft, die zusätzlich zu Lebensmitteln und Futtermitteln den begehrten Rohstoff Energie erzeugt, wird auch in Zukunft überleben können, und den Landwirten ein sicheres

Einkommen unabhängig von Subventionen ermöglichen. Dies ist durchaus auch mit biologischer Wirtschaftsweise erreichbar.

In zukünftigen Forschungsarbeiten sollte verstärkt das Biogasbildungsvermögen einzelner Kulturarten auf den jeweiligen Standorten untersucht werden. Im Rahmen des Projektes „Energiesysteme der Zukunft“ wurde nur das Gasbildungsvermögen der Kulturen am Standort Raasdorf in Laborversuchen ermittelt. Laborversuche sind allerdings äußerst kostenintensiv und verursachen einen hohen Zeitaufwand.

8. Zusammenfassung

In den letzten Jahren gewinnen erneuerbare Energiequellen zunehmend an Bedeutung. Aufgrund des weltweit steigenden Energiebedarfs und des wachsenden Bewusstseins über die begrenzte Verfügbarkeit fossiler Energieressourcen steigt die Nachfrage nach erneuerbaren Energiequellen. Vor allem die Energiegewinnung durch die Biogasfermentation aus landwirtschaftlichen Rohstoffen hat in Österreich an Bedeutung gewonnen. Durch den hohen Bioflächenanteil in Österreich und die gestiegenen Energiepreise wird es auch für Biobetriebe interessant Aufwüchse von Zwischenfrüchten oder Energiepflanzen in einer Biogasanlage zu verwerten.

Das wesentliche Ziel dieser Arbeit war es, zu erheben, welche Trockenmasseerträge verschiedene Kulturarten bei biologischer Wirtschaftsweise mit Biogasgülledüngung in einem Jahr erzielen können. Neben dem Trockenmasseertrag spielt auch der Trockensubstanzgehalt des Erntegutes eine entscheidende Rolle für die Biogasproduktion.

Die Untersuchungen wurden am Standort Lambach (Oberösterreich), auf biologisch bewirtschafteten Flächen, durchgeführt. Der Versuch umfasste sechs Varianten: Rotklee, Rotkleeergras, Mais nach abfrostender Winterbegrünung, Sonnenblume nach abfrostender Winterbegrünung, Mais nach der Erstfrucht Grünroggen, Mais nach der Erstfrucht Wickroggen. Es wurden zwei Düngungsstufen, 0 kg N je Hektar und Düngungsobergrenze nach ÖPUL mit Biogasgülle, in vier Wiederholungen miteinander verglichen. Um den optimalen Trockensubstanzgehalt bei der Ernte zu ermitteln wurden die Ernten zu drei verschiedenen Vegetationsstadien der jeweiligen Kulturart durchgeführt. Die Ernten bei Mais und Sonnenblumen erfolgten zwischen dem 98. und dem 158. Wuchstag, bei Rotklee und Rotkleeergras wurden drei Schnitte durchgeführt.

Im Verlauf der Erntetermine stieg bei Mais der Trockenmasseertrag an, bei Sonnenblume fiel der Trockenmasseertrag nach der zweiten Zeiternte, aufgrund von Bröckel und Blattverlusten, wieder ab. Den höchsten Trockenmasseertrag aller Kulturarten erzielte mit 22,09 t TM je Hektar die Variante Mais mit der Erstfrucht Wickroggen mit Biogasgülledüngung. Die Kombination von Grünroggen und Mais erzielte abhängig von der Düngung zwischen 7,3 t und 12,38 t je Hektar. Bei Sonnenblumen konnten zwischen 10,63 t und 14,12 t TM je Hektar, je nach Düngungsstufe, geerntet werden. Rotklee und Rotkleeergras erreichten bei drei Aufwüchsen zwischen 10,49 t und 11,48 t TM je Hektar, wobei die Unterschiede zwischen den Düngungsvarianten nur gering waren. Für die Ermittlung der Gesamttrockenmasseerträge wurde von den drei Zeiternteterminen jeweils die zweite Ernte herangezogen, da der Trockensubstanzgehalt bei diesem Termin für eine Silagebereitung

am optimalsten war. Die Trockenmasseerträge bei Rotklee und Rotklee gras stiegen beim ersten Schnitt, der in drei Erntezeitpunkte gegliedert wurde, von der ersten bis zur dritten Ernte stark an. Die Erträge haben sich bei diesen Kulturen von Beginn der Blüte bis zur Vollblüte verdoppelt.

Die Trockensubstanzgehalte lagen bei der ersten Zeiternte bei Rotklee und Rotklee gras zwischen 16,4 % und 19,5 % TS. Zum dritten Zeiterntetermin lag der TS-Gehalt zwischen 23,6 % und 28,3 %, wobei kein Unterschied zwischen den Düngungsvarianten festgestellt werden konnte. Grundsätzlich nahm im Verlauf der Erntetermine bei allen Maisvarianten der TS-Gehalt zu. Mais nach Winterbegrünung wies zum dritten Erntetermin bereits TS-Gehalte von über 35 % auf, eine Silierung wäre mit diesen Werten kaum mehr möglich. Sonnenblume zeigte ebenso stetig steigende TS-Gehalte. Der maximale TS-Gehalt war mit 22,9 % beim dritten Erntetermin noch deutlich unter dem optimalen Silierbereich von 28 - 23 % TS.

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass auf dem Standort Lambach hohe Trockenmasseerträge mit Düngung mit Biogasgülle im ökologischen Landbau erzielt werden können. Besonders hoch sind die Erträge bei Zweikulturnutzung. Hohe Trockenmasseerträge eignen sich besonders gut zur Biogaserzeugung. Interessant ist vor allem die Nutzung der Rotklee- und Klee gras aufwüchse für Biobetriebe ohne Viehhaltung. Diese Betriebe können die anfallende Biogasgülle gezielt zur Ertragssteigerung ihrer Marktfrüchte einsetzen. Eine nachhaltige Energieerzeugung im ökologischen Landbau ist nur dann sichergestellt, wenn die Fruchtfolgen möglichst weit gestellt sind und genügend Biomasse zur Humusbildung auf dem Feld verbleibt. Des Weiteren darf die Produktion von Biogas nicht in Konkurrenz zur Nahrungs- und Futtermittelproduktion stehen.

9. Literaturverzeichnis

AMID, A. (2004): Biogaserzeugung aus Mais – Einfluss des Ernteverfahrens und des Erntezeitpunktes auf den Methanertrag. Wien: Diplomarbeit Universität für Bodenkultur Wien. Institut für Landtechnik

AMON, T., KRYVORUCKO, V., HOPFNER-SIXT, K., AMON, B., RAMUSCH, M., MILOVANOVIC, D., BODIROZA, V., SAPIK, R., ZIMA, J., MACHMÜLLER, A., ZOLLITSCH, W., KNAUS, W., FRIEDEL, J., WAGENTRISTL, H., PÖTSCH, E., GRUBER, L., STEINWIDDER A. (2006a): Optimierung der Methanerzeugung aus Energiepflanzen mit dem Methanenergiewertsystem. Energiesysteme der Zukunft eine Initiative des Bundesministeriums BMVIT Projektnummer 807736/8539 – KA/HN.

AMON, B., V. KRYVORUCHKO, T. AMON & S. ZECHMEISTER-BOLTENSTERN (2006c): Methane, nitrous oxide and ammonia emissions during storage and after application of dairy cattle slurry and influence of slurry treatment. Agriculture, Ecosystems and Environment Volume 112, Issues 2-3, February 2006, Pages 153-162

AMON, TH., KRYOVORUCHKO, V., AMON, B., ZOLLITSCH, W., MAYER, K., BUGA, S., AMID, A. (2003): Biogaserzeugung aus Mais – Einfluss der Inhaltsstoffe auf das spezifische Methanbildungsvermögen von früh- und spätreifen Maissorten. Bericht über die 54.Tagung der Vereinigung der Pflanzenzüchter und Saatgutkaufleute Österreichs. Bundesanstalt für alpenländische Landwirtschaft Gumpenstein. November 2003.

AMON, TH., KRYOVORUCHKO, V., HOPFNER-SIXT, K., AMON, B., BODIROZA, V., RAMUSCH, M., HRBEK, R., FRIEDEL, J.K., ZOLLITSCH, W., BOXBERGER, J. (2006): Biogaserzeugung aus Energiepflanzen. In: Ländlicher Raum, 2006 Seite 1 - 25

AMON, T. ; KRYOVORUCHKO, V., AMON, B.; MOITZI, G.; FISTAROL-LYSON, D; HACKL, E.; JEREMIC, D.; ZOLLITSCH, W.; PÖTSCH, E.; MAYER, K.; PLANK, J. (2002): Zwischenbericht Optimierung der Biogaserzeugung aus den Energiepflanzen Mais und Klee gras; Erster Zwischenbericht an die Kammer der Wiener Wirtschaft.

AUFHAMMER, W., (1998) Getreide und andere Körnerfruchtarten, Verlag Eugen Ulmer Stuttgart. 560 Seiten

BASERGA, U. (2000) Vergärung organischer Reststoffe in landwirtschaftlichen Biogasanlagen. FAT – Berichte 546.

BENKE, M. und R. MARTENS, 2001: Silomaisanbau im Ökologischen Landbau. Mais, 3/2001. Seite 92

BERENDONK, C., 1998: Maisanbau im ökologischen Landbau. Mais 4/1998 - 144

BERENDONK, C., BUCHNER, W. (2004): Nachwachsende Rohstoffe für die Biogasanlage – Möglichkeiten der Ertragsoptimierung in Maisfruchtfolgen. Mais 4/04 - 133 (32.Jahrgang).

BMLFUW (2006): Richtlinien für die sachgerechte Düngung, 6. Auflage. Fachbeirat für Bodenfruchtbarkeit und Bodenschutz, Wien; 2006

BMLFUW (Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft), 2002: Standarddeckungsbeiträge und Daten für die Betriebsberatung im Biologischen Landbau 2002/2003. Wien.

BREITSCHUH, G.; REINHOLD, G.; HEROLD, L.; ZORN, W.: 2006. Standpunkt zur Ermittlung der Nährstoffgehalte und zu Nährstoffbilanzierung bei Einsatz von Biogasgülle. Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft 2006

BUCHGRABER, K., PÖTSCH, E., RESCH, R., PÖLLINGER, A.: 2003. Erfolgreich silieren – Spitzenqualitäten bei Grassilagen! Der Fortschrittliche Landwirt Sonderbeilage 3/2003. 12 Seiten

DEGENHARDT, Heinz, 1987: Mais organisch-biologisch erzeugen, Ökologischer Maisanbau – mit Hitze gegen Unkraut, Leguminosen zur Stickstoffernährung, Untersaaten. Mais 1/1987.

DEMMELE, Markus (2007) Maisengsaat – raus aus der Nische? Mais 2/2007 Seite 64 - 67

DIEPENBROCK, W.; ELLMER, F.; LEON`J. (2005): Ackerbau, Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung Grundwissen Bachelor. Verlag Eugen Ulmer Stuttgart 366 Seiten

DIETZE, M., 2006: Entwicklung und Optimierung standortangepasster Anbausysteme für Energiepflanzen im Fruchtfolgeregime. Landesforschungsanstalt für Landwirtschaft und Fischerei Mecklenburg-Vorpommern

DÖHLER, H.; MENZI, H.; SCHWAB, M. (2002) Emissionen bei der Ausbringung von Fest- und Flüssigmist und Minderungsmaßnahmen, in: Emissionen der Tierhaltung, KTBL/UBA Symposium 3.-5. Dezember 2001, Bildungszentrum Kloster Banz, Hrsg. KTBL, Darmstadt

ECKERT, H.; BREITSCHUH, G.; SAUERBECK, D., 1999: Kriterien umweltverträglicher Landbewirtschaftung (KUL) – ein Verfahren zur ökologischen Bewertung von Landwirtschaftsbetrieben. Agribiological Research, Band 52, Heft 1 S. 57-76,.

EU-VO 2092/91 (1991): EU-Verordnung über den ökologischen Landbau und die entsprechende Kennzeichnung der landwirtschaftlichen Erzeugnisse und Lebensmittel, Dok.Nr. 1991R2092 Wasserrechtsgesetz – WRG (1959): idF BGBl. I Nr. 87/2005

FISTAROL LYSON, D. (2002): Biogaserzeugung aus Klee gras. Diplomarbeit Universität für Bodenkultur Wien Institut für Land-, Umwelt- und Energietechnik

FISTAROL LYSON, D. (2009): mündliche Mitteilung

FREYER, B., PIETSCH, G., HRBECK, R. und WINTER, S., (2005): Futter- und Körnerleguminosen im biologischen Landbau. Österreichischer Agrarverlag, Leopoldsdorf.

GIENAPP, C., 2001: Mais im Ökologischen Landbau, Mais 3/2001 Seite 92

GÖTZ, A.; KONRAD, J. (1987): Landwirtschaftliches Lehrbuch Band 1: Pflanzenbau 6. Auflage. Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart. 148 Seiten

GRAß, R. und SCHEFFER, K. (2005): Alternative Anbaumethoden: Das Zweikulturnutzungssystem. Natur und Landschaft 9/10. Seite 435 - 439

GRAß, R. und SCHEFFER, K. (2006): Energiepflanzenanbau als Beitrag zur Optimierung von naturschutzfachlichen Zielen in der Landschaft. Mitteilung der Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften 18. S. 54/55

GRASS, Rüdiger, (2003): Direkt und Spätsaat von Silomais- Ein neues Anbausystem zur Reduzierung von Umweltgefährdungen und Anbauproblemen bei Optimierung der Erträge, Dissertation Universität Kassel, Cuvillier Verlag Göttingen 135 Seiten

GRÖBLINGHOFF, F., LÜTKE ENTRUP, N. und BLOCK, K. (2005): Mais liefert viel Methan. Internetquelle: <http://www3.fh-swf.de/fbaw/download/Biogasmais-Wochenblatt2005.pdf>. 30. November 2005

GRUBER, Leonhard; HAIN, Waltraud (2007): Ertrag und Futterwert von Silomais. Mais 3/2007 Seite 102

HANUS, H. Hrsg. (1999): Handbuch des Pflanzenbaues Band 3, Knollen- und Wurzelfrüchte, Körner- und Futterleguminosen. 852 Seiten. Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart.

HANSEN, M.N., P. KAI & H.B. MØLLER (2006): Effects of anaerobic digestion and separation of pig slurry on odor emission. Applied Engineering in Agriculture 22. Seite 135 - 139

HAHN, V., GANSSMANN, M. (2008): Sonnenblumen als Biogassubstrat. Erneuerbare Energien, März 2008 Seite 58 - 60

HEUWINKEL, H., LOGES, R. (2004): Mulchen oder Schnittnutzung von Klee gras – Auswirkung der Bewirtschaftung von Klee grasbeständen auf den N-Haushalt von Fruchtfolgen. Seite 21 - 25 In: Schmidt, H. (Hrsg.): Viehloser Öko-Ackerbau Beiträge Beispiele Kommentare. Verlag Dr. Köster, Berlin

HEUWINKEL, H., R. GUTSER und U. SCHMIDHALTER (2005): Auswirkung einer Mulch- statt Schnittnutzung von Klee gras auf die N-Flüsse in einer Fruchtfolge. Seite 71 - 79 In: LfL Bayern (Hrsg.): Forschung für den Ökologischen Landbau in Bayern.

Internetquelle: <http://www.bba.de/veroeff/bbch/bbchdeu.pdf> (Stand 11. Jänner 2009)

Internetquelle: ÖPUL 2007 Richtlinien

<http://land.lebensministerium.at/article/articleview/62457/1/21409/> (Stand 20. April 2009)

KAHNT, G., (1986): Biologischen Pflanzenbau – Möglichkeiten und Grenzen biologischer Anbausysteme. Verlag Eugen Ulmer Stuttgart. 228 Seiten

KERSCHBERGER, M.; FRANKE, G., HESS, H. (2002): Anleitung und Richtwerte für Nährstoffvergleiche nach Düngeverordnung. TLL-Schriftenreihe Heft 10/2002.

KOLBE, H. (2006): Fruchtfolgegestaltung im ökologischen und extensiven Landbau: Bewertung von Vorfruchtwirkungen. Pflanzenbauwissenschaften, 10/2006. Seite 82 - 89

KRAMPL, R. (2000): Strom aus Gras? Kein Problem ! Blick ins Land 7

KTBL – KURATORIUM FÜR TECHNIK UND BAUWESEN (2006): Energiepflanzen. Darmstadt, Selbstverlag.

LEHMANN Eckhard, (2006): Marktfrüchte oder Kosubstrat - oder beides?; Mais 2/2006 Seite 54

LEISEN, E.; MILTNER, R. (2008): Mais erobert Ökobetriebe – Praxiserhebung zum Anbau von Ökomais. Mais 1/2008 (35.Jg.) Seite 20 - 23

LINDENTHAL, T., A. BARTEL, I. DARNHOFER, M. EDER, B. FREYER, S. HADATSCH, R. MILESTAD, A. MUHAR, H. PAYER, M. PENKER, H. RÜTZLER, W. SCHNEEBERGER, A. VELIMIROV und A. WALZER (2004): Flächendeckende Umstellung auf biologischen Landbau: Integrative akzeptanz- und Wirkungsanalyse anhand ausgewählter Untersuchungsregionen. Endbericht eines KLF-Forschungsprojektes, 116 Seiten

LINKE, B.; BAGANZ, K.; SCHLAUDERER, R. (1999): Nutzung von Feldfrüchten zur Biogasgewinnung. Agrartechnische Forschung 5/ 1999 H.2. Seite 82 - 90

LOGES, R., DREYMAN, S., WICHMANN St. (2002): Leguminosenanbau richtig machen. Bioland Nr. 1. Seite 14 - 15

LÖBER, M. (2007): Verfahrenstechnische und organisatorische Möglichkeiten des Anbaus von Sonnenblumen zur Biogaserzeugung. Bachelorarbeit Justus-Liebig-Universität Gießen; Institut für Landtechnik

LÜTKE ENTRUP, N. und STEMANN, G. (1989): Maisanbau mit Untersaaten. Mais 1/1989. Seite 29 - 48

LÜTKE ENTRUP, N.; OEHMICHEN, J. (2000): Lehrbuch des Pflanzenbaues Band 2 Kulturpflanzen, 856 Seiten. Verlag Th. Mann Gelsenkirchen

LÜTKE ENTRUP, N.; OEHMICHEN, J. (2006): Lehrbuch des Pflanzenbaues Band 1 Grundlagen, 823 Seiten. Verlag AgroConcept Bonn

MAIER, A. (1998): Vergleichende Versuche zum umweltschonenden Anbau von Silomais und alternativen Pflanzenarten im Kraichgau zur Ganzpflanzensilage-Gewinnung für die Bullenmast. Dissertation der Universität Hohenheim 148 Seiten

MESSNER, H. (1988): Düngewirkung anaerob fermentierter und unbehandelter Gülle. Diss. an der TU München-Weihenstephan, LS. für Pflanzenernährung.

MEYERCORDT, A. (1999): Nicht immer, aber immer öfter – Maisanbau in Biobetrieben. Mais 4/1999. Seite 144

MINIHUBER, J. (2007): Eignung verschiedener Energiemaissortentypen zur Biogaserzeugung unter den Standortbedingungen des nordöstlichen Hausruckviertels. Wien: Diplomarbeit Universität für Bodenkultur Wien. Institut für Landtechnik

MÖLLER, K.; LEITHOLD, G.; MICHEL, J.; SCHNELL, S.; STINNER, W. und WEISKE, A. (Hrsg.): Auswirkung der Fermentation biogener Rückstände in Biogasanlagen auf Flächenproduktivität und Umweltverträglichkeit im Ökologischen Landbau Pflanzenbauliche, ökonomische und ökologische Gesamtbewertung im Rahmen typischer Fruchtfolgen viehhaltender und viehloser ökologisch wirtschaftender Betriebe (Endbericht: DBU – AZ 15074), Gießen und Leipzig, April 2006

MÜCKE, M.; MEYERCORDT, A. (2007): Maisanbau in Biobetrieben – Technik zur Unkrautregulierung termingerecht einsetzen. Mais 2/2007 Seite 68

ÖPUL 2007 Österreichisches Programm für umweltgerechte Landwirtschaft

PESTA, G. & MEYER-PITROFF, R (2002): Gärprozess: Bakterien lieben es warm und nicht zu sauer. Top Agrar Fachbuch.

PFUNDTNER E., (2004): Der Sachgerechte Einsatz von Biogasgülle und Gärrückstand in der Landwirtschaft – Rechtliche Grundlagen. 10. Alpenländisches Expertenforum, 18. – 19. März 2004

POUECH, P.; FRUTEAU, H.; BEWA, H. (1998): Agricultural Crops for Biogas Production on Anaerobic Digestion Plants. In Biomass for Energy and Industry, C.A.R.E.N., Proceeding of the International Conference Würzburg, Germany, 8 – 11 June 1998. Seite 163 -165

REINHOLD, G.; DEGNER, J. (2005): Welches Ko-Substrat lohnt sich in Biogasanlagen? Zeitschrift Mais, Heft 4/2005. Seite 130

SZU-HSIEN W., (2001): Einfluss von Blattstellung und Bestandesdichte auf Ertrag, Qualität, Lichtaufnahme und Blattflächenindex bei Silomaisorten verschiedenen Wuchstyps. Dissertation, Humboldt-Universität Berlin, Institut für landwirtschaftlichen Pflanzenbau

Sortenbeschreibung die SAAT 2004 , Herausgeber: RWA- Raiffeisen Ware Austria

THAYSEN, J. (1996): Naturwissenschaftliche Grundlagen der Futterernte und Konservierung und deren Realisierungsmöglichkeiten in Großbetrieben. KTBL Arbeitspapier 228, S. 9-28.

Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft (2007): Betriebswirtschaftliche Richtwerte für die Produktion von Öko Klee gras. Jena 2007

UPPENKAMP, Norbert (2007) Praxiserfahrung mit Mais – Engsaat. Mais 1/2007; S 26 - 28 Verlag Dr. Köster, Berlin.

VETTER, A., CONRAD, M. (2006): Ertrag und Qualität von Energiepflanzen für die Biogasproduktion. Mitteilung der Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften. 49. Jahrestagung 2006. Verlag Schmidt u. Klaunig KG Kiel Seite 122

WEILAND, P. (1999) Technik von Biogasanlagen. In: Energetische Nutzung von Pflanzenöl und Biogas. (Hrsg.) vom Ostbayrischen Technologie-Transfer-Institut(OTTI);Regensburg, Selbstverlag.

Weiland, P. (2006): Technische Anforderungen an die Vergärung von Energiepflanzen. Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft (FAL). Braunschweig.

WESTPHAL, D., LOGES, R., TAUBE, F. (2006): Optimierung des Klee grasmanagements unter besonderer Berücksichtigung der Möglichkeit einer ganzjährigen Aussenhaltung von Wiederkäuern auf Ackerschlägen. Mitteilung der Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften 49. Jahrestagung 2006 Verlag Schmidt u. Klaunig KG Kiel Seite 42-43

WICHMANN, S.; LOGES, R.; TAUBE, F. (2006): Kornträge, N₂-Fixierungsleistung und N-Flächenbilanz von Erbsen, Ackerbohnen und Schmalblättrigen Lupinen in Reinsaat und im Gemenge mit Getreide. Pflanzenbauwissenschaften, 10 (1), Seite 2-15, 2006

ZAMG – ZENTRALE ANSTALT FÜR METEOROLOGIE UND GEODYNAMIK (2008): Klimadaten vom Standort Wels aus dem Jahr 2006/2007. Schriftliche Mitteilung (16.01.2008).

ZAMG – ZENTRALE ANSTALT FÜR METEOROLOGIE UND GEODYNAMIK (2009): Klimadaten von Österreich 1961-1990 In: <http://www.zamg.ac.at/klima/klimadaten/index.php> (Stand 02. Feb. 2009)

ZETHNER, G., E. PFUNDTNER und J. HUMER, 2002: Qualität von Abfällen in Biogasanlagen. Monographie des Umweltbundesamtes, Wien.

10. Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Sonnenblumen zu den Ernteterminen am 16.08, 10.09 und 01.10 (v. li. n. re.)	30
Abbildung 2: Übersicht über die Versuchspartzellen am 11.03, 23.04, und 31.05 (v.li.n.re.)	32
Abbildung 3: Plan der Versuchsfläche in Lambach 2007	33
Abbildung 4: Wickroggen am 30.04, Sonnenblume am 31.05, Gülledüngung am 31.05	37
Abbildung 5: Niederschlagsverteilung im Versuchszeitraum in Lambach	42
Abbildung 6: Sonnenstunden im Versuchszeitraum am Standort Lambach	43
Abbildung 7: Tagesmitteltemperatur am Standort Lambach im Versuchszeitraum	44
Abbildung 8: Ergebnis der $N_{\min}$ Untersuchung aus Lambach am 29. März 2007	45
Abbildung 9: Ergebnis der $N_{\min}$ Untersuchung im Unterboden (30 - 90 cm)	46
Abbildung 10: Anteil des TM-Ertrages der jeweiligen Schnitte in Prozent am Gesamtertrag	52
Abbildung 11: Gesamtertrag der Kulturarten in einer Vegetationsperiode	54
Abbildung 12: TM-Ertrag bei den Zeiternteterminen ohne Erstfruchterträge oder	56
Abbildung 13: Trockensubstanzgehalt in Prozent der Frischmasse	58

11. Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Vorgaben für Kulturanteile biologischer Fruchtfolgen	15
Tabelle 2: Fruchtfolgeplanung bei Zweikulturnutzung (nach GRAß u. SCHEFFER 2006)	16
Tabelle 3: Schwermetallgrenzwerte der österreichischen Düngemittelverordnung und der EU Verordnung 2092/91 im ökologischen Landbau	24
Tabelle 4: Nährstoffgehalte der Ausgangssubstrate (KERSCHBERGER et al. 2002, verkürzt)	24
Tabelle 5: Trockenmasseerträge einzelner Kulturarten aus verschiedenen Literaturquellen	26
Tabelle 6: Biogas und Methanbildungsvermögen einzelner Kulturen	27
Tabelle 7: Arbeitsgänge und Datum der Durchführung	36
Tabelle 8: Stickstoff Ausbringungsmenge je Hektar im Versuch Lambach	38
Tabelle 9: Statistische Auswertung des Gesamt $N_{\min}$ von 0 – 90 cm Bodentiefe	45
Tabelle 10: Statistische Auswertung des $N_{\min}$ im Unterboden von 30 – 90 cm Bodentiefe	46
Tabelle 11: Bodenuntersuchungsergebnis (nach ÖNORM L1087 und L1093)	47
Tabelle 12: Statistische Auswertung des Gesamt TM-Ertrages	55
Tabelle 13: Statistische Auswertung des TM-Ertrages zu den Ernteterminen	57
Tabelle 14: Statistische Auswertung des Trockensubstanzgehaltes zu den Ernteterminen	59

12. Anhang

Bonitur Felddaugang Herbst 2006

Datum: 13.10.2006

ungedüngte Varianten

Begrünung ~24 cm hoch

Rotklee ~16 cm hoch

Verunkrautung ohne Raps ca. 1-2%

Parz	Var	WH	Kultur	Pflanzenzahl 4 Reihen				Pflanzenzahl pro m² MW	Unkraut % der Fläche	Besonderheiten
				R1	R2	R3	R4			
1	1	1	Rotklee	30	33	28	34	260,4	8%	Raps
2	2	1	Rotklee Gras	14 24	11 17	10 19	12 15	97,9 156,3	10	starke Rapsverunkrautung
5	5	1	Grünroggen	17	17	18	19	147,9	4	kaum Raps
6	6	1	Wickroggen Wicke	12 8	10 7	10 9	8 8	83,3 66,7	9	Verunkrautung Gras und Klee
7	12	1	Wickroggen Wicke	9 9	8 10	10 9	11 7	79,2 72,9	8	1m der Parzelle nicht bebaut!
9	7	1	Rotklee	42	43	44	42	356,3	12	Hirtentäschel/ Raps
11	8	1	Rotklee Gras	11 19	8 22	10 18	9 22	79,2 168,8	12	
12	11	1	Grünroggen	18	18	16	18	145,8	4	
13	8	2	Rotklee Gras	11 17	13 15	8 17	11 18	89,6 139,6	25	
14	11	2	Grünroggen	20	17	15	17	143,8	5	
15	12	2	Wickroggen Wicke	9 5	9 9	10 9	9 8	77,1 64,6	5	
16	7	2	Rotklee	36	35	35	34	291,7	20	
20	1	2	Rotklee	37	34	33	31	281,3	12	
21	5	2	Grünroggen	17	19	17	16	143,8	6	Hasensasse
22	2	2	Rotklee Gras	12 17	14 19	13 17	14 21	110,4 154,2	12	
23	6	2	Wickroggen Wicke	10 11	11 10	9 7	10 6	83,3 70,8	7	
26	7	3	Rotklee	34	32	35	34	281,3	18	
27	11	3	Grünroggen	18	19	19	17	152,1	3	
28	12	3	Wickroggen Wicke	10 9	9 7	9 10	11 10	81,3 75,0	11	
29	8	3	Rotklee Gras	11 17	10 19	13 14	10 19	91,7 143,8	10	
32	6	3	Wickroggen Wicke	8 7	11 8	10 7	11 8	83,3 62,5	8	
34	5	3	Grünroggen	18	16	16	17	139,6	6	
35	2	3	Rotklee Gras	14 25	12 17	10 15	12 20	100,0 160,4	15	Rostpilze
36	1	3	Rotklee	36	32	38	33	289,6	15	
37	2	4	Rotklee Gras	11 18	8 17	13 13	11 18	89,6 137,5	20	
38	5	4	Grünroggen	18	19	16	17	145,8	5	
39	6	4	Wickroggen Wicke	12 10	10 8	11 11	10 9	89,6 79,2	7%	
40	1	4	Rotklee	36	34	32	28	270,8	20	
43	11	4	Grünroggen	17	17	15	15	133,3	25	
45	8	4	Rotklee Gras	12 15	11 14	14 14	8 20	93,8 131,3	12	
47	12	4	Wickroggen Wicke	9 11	12 10	11 7	11 10	89,6 79,2	11	Distel u. Raps
48	7	4	Rotklee	30	40	27	32	268,8	20	Raps

ungedüngte Varianten

Parz	Var	WH	Kultur	Pflanzenzahl 4 Reihen				Pflanzenzahl pro m² MW	Unkraut % der Fläche	Besonderheiten
				R1	R2	R3	R4			
1	1	1	Rotklee	19	10	20	11	125,0	20	
2	2	1	Rotklee	15	15	9	9	100,0	4	
			Gras	11	14	12	12	102,1		
5	5	1	Grünroggen	13	14	14	12	110,4	6	
6	6	1	Wickroggen	11	12	10	9	87,5	4	
			Wicke	10	9	9	12	83,3		
7	12	1	Wickroggen	11	11	11	11	91,7	3	
			Wicke	12	9	11	12	91,7		
9	7	1	Rotklee	18	21	18	15	150,0	15	
11	8	1	Rotklee	7	11	14	8	83,3	5	
			Gras	13	13	12	15	110,4		
12	11	1	Grünroggen	11	11	10	11	89,6	4	
13	8	2	Rotklee	14	14	14	12	112,5	4	Maulwurfshügel
			Gras	15	16	15	15	127,1		
14	11	2	Grünroggen	13	15	13	14	114,6	5	
15	12	2	Wickroggen	10	9	11	10	83,3	2	
			Wicke	12	11	11	9	89,6		
16	7	2	Rotklee	19	16	18	19	150,0	18	
20	1	2	Rotklee	20	19	12	14	135,4	12	offene Stellen
21	5	2	Grünroggen	10	13	13	18	112,5	5	
22	2	2	Rotklee	16	16	17	12	127,1	4	
			Gras	13	15	15	18	127,1		
23	6	2	Wickroggen	11	9	12	10	87,5	0	
			Wicke	9	10	11	9	81,3		
26	7	3	Rotklee	22	16	13	18	143,8	10	Raps/Fahrspur
27	11	3	Grünroggen	15	15	12	11	110,4	2	
28	12	3	Wickroggen	10	8	10	10	79,2	0	
			Wicke	13	9	10	9	85,4		
29	8	3	Rotklee	15	15	16	15	127,1	4	
			Gras	14	16	14	14	120,8		
32	6	3	Wickroggen	10	8	9	8	72,9	2	Fraßschäden durch Mäuse
			Wicke	9	9	10	8	75,0		
34	5	3	Grünroggen	11	11	14	15	106,3	4	
35	2	3	Rotklee	16	15	10	15	116,7	6	
			Gras	17	12	12	13	112,5		
36	1	3	Rotklee	15	13	16	14	120,8	12	Traktorspur
37	2	4	Rotklee	18	13	10	13	112,5	3	
			Gras	18	16	12	13	122,9		
38	5	4	Grünroggen	13	13	14	15	114,6	3	
39	6	4	Wickroggen	7	8	11	9	72,9	1	
			Wicke	8	9	9	8	70,8		
40	1	4	Rotklee	22	25	16	20	172,9	9	
43	11	4	Grünroggen	11	16	13	15	114,6	3	
45	8	4	Rotklee	16	14	12	17	122,9	2	
			Gras	12	16	14	15	118,8		
47	12	4	Wickroggen	8	10	9	8	72,9	1	Fraßschäden durch Mäuse
			Wicke	7	8	10	11	75,0		
48	7	4	Rotklee	21	13	13	17	133,3	8	

Bonitur Frühjahr 2007 Mais/Sonnenblumen

Datum: 25.05.2007

ungedüngte Variante

Parz	Var	WH	Kultur	Pflanzenzahl 4 Reihen				Pflanzenzahl pro m² MW
				R1	R2	R3	R4	
3	3	1	Mais / WB	8	8	6	8	10,7
4	4	1	Sonnenblume	8	6	6	6	9,3
5	5	1	Mais / GR	7	6	8	7	10,0
6	6	1	Mais / WiRo	6	8	7	7	10,0
7	12	1	Mais / WiRo	6	8	7	7	10,0
8	9	1	Mais / WB	7	7	7	7	10,0
10	10	1	Sonnenblume	8	7	6	6	9,6
12	11	1	Mais / GR	10	6	6	7	10,4
14	11	2	Mais / GR	6	8	8	7	10,4
15	12	2	Mais / WiRo	6	8	8	8	10,7
17	9	2	Mais / WB	8	8	5	7	10,0
18	10	2	Sonnenblume	6	5	10	6	9,6
19	4	2	Sonnenblume	6	7	7	7	9,6
21	5	2	Mais / GR	6	6	7	7	9,3
23	6	2	Mais / WiRo	7	7	7	7	10,0
24	3	2	Mais / WB	6	7	6	7	9,3
25	10	3	Sonnenblume	6	5	6	6	8,2
27	11	3	Mais / GR	6	7	7	6	9,3
28	12	3	Mais / WiRo	6	7	8	7	10,0
30	9	3	Mais / WB	8	7	6	7	10,0
31	3	3	Mais / WB	5	7	7	5	8,6
32	6	3	Mais / WiRo	7	7	7	7	10,0
33	4	3	Sonnenblume	6	5	6	7	8,6
34	5	3	Mais / GR	6	5	7	6	8,6
38	5	4	Mais / GR	7	7	7	6	9,6
39	6	4	Mais / WiRo	7	8	7	6	10,0
41	3	4	Mais / WB	8	6	7	7	10,0
42	4	4	Sonnenblume	8	5	6	6	8,9
43	11	4	Mais / GR	6	7	7	7	9,6
44	10	4	Sonnenblume	7	5	6	6	8,6
46	9	4	Mais / WB	7	6	7	7	9,6
47	12	4	Mais / WiRo	7	7	5	7	9,3

GR Grünroggen

WiRo Wickroggen

WB abfrostdende Winterbegrünung

Zusammensetzung der Ertragsanteile bei Rotklee (RK) und Rotklee gras (RKG) in % der Frischmasse (FM)

	1. Schnitt, 1. ZE			1. Schnitt, 2.ZE			1. Schnitt, 3. ZE			2. Schnitt			3. Schnitt		RKG ungedüngt
Parzellen- nummer	Klee in % FM	Gras in % FM	Unkraut in % FM	Klee in % FM	Gras in % FM	Unkraut in % FM	Klee in % FM	Gras in % FM	Unkraut in % FM	Klee in % FM	Gras in % FM	Unkraut in % FM	Klee in % FM	Gras in % FM	
2				48,01	47,91	4,09	55,71	44,29	0,00	96,59	3,41	0,00	42,63	57,37	
22	70,90	22,14	6,96	74,48	16,81	8,71	65,80	26,27	7,93	94,10	5,79	0,11	97,80	2,20	
35	76,56	21,49	1,95	67,68	28,62	3,70	77,62	20,71	1,67	70,88	29,12	0,00	80,01	19,99	
37	76,28	21,70	2,02	63,44	34,22	2,34	53,57	45,52	0,91	90,77	9,22	0,01	67,01	32,99	
Mittelwert	74,58	21,78	3,64	63,40	31,89	4,71	63,18	34,20	2,63	88,09	11,88	0,03	71,86	28,14	
	1. Schnitt, 1. ZE			1. Schnitt, 2.ZE			1. Schnitt, 3. ZE			2. Schnitt			3. Schnitt		RKG gedüngt
Parzellen- nummer	Klee in % FM	Gras in % FM	Unkraut in % FM	Klee in % FM	Gras in % FM	Unkraut in % FM	Klee in % FM	Gras in % FM	Unkraut in % FM	Klee in % FM	Gras in % FM	Unkraut in % FM	Klee in % FM	Gras in % FM	
11	23,90	58,13	17,97	44,28	49,06	6,66	61,46	38,20	0,34	87,55	12,45	0,00	74,89	25,11	
13	31,38	31,92	36,70	55,86	41,42	2,72	22,66	74,64	2,70	90,83	9,08	0,09	48,63	51,37	
29	76,98	19,06	3,96	72,70	22,80	4,50	64,79	29,44	5,76	85,54	14,46	0,00	82,22	17,78	
45	59,61	30,76	9,64	57,24	38,78	3,98	72,01	27,83	0,16	82,21	17,79	0,00	90,70	9,30	
Mittelwert	47,97	34,97	17,07	57,52	38,01	4,47	55,23	42,53	2,24	86,53	13,44	0,02	74,11	25,89	

	1. Schnitt 1. ZE		1. Schnitt 2. ZE		1. Schnitt 3. ZE		2. Schnitt		3. Schnitt		Rotklee ungedüngt
Parzellen- nummer	Rotklee in % FM	Unkraut in % FM	Rotklee in % FM	Unkraut in % FM	Rotklee in % FM	Unkraut in % FM	Rotklee in % FM	Unkraut in % FM	Rotklee in % FM	Unkraut in % FM	
1	67,3	32,7	82,9	17,1	34,8	65,2	98,5	1,5	94,6	5,4	
20	76,8	23,2	85,1	14,9	89,6	10,4	93,6	6,4	97,7	2,3	
36	83,4	16,6	87,6	12,4	79,1	20,9	96,0	4,0	98,9	1,1	
40	85,6	14,4	88,9	11,1	96,8	3,2	98,1	1,9	99,8	0,2	
Mittelwert	78,3	21,7	86,1	13,9	75,1	24,9	96,6	3,45	97,8	2,24	
	1. Schnitt 1. ZE		1. Schnitt 2. ZE		1. Schnitt 3. ZE		2. Schnitt		3. Schnitt		Rotklee gedüngt
Parzellen- nummer	Rotklee in % FM	Unkraut in % FM	Rotklee in % FM	Unkraut in % FM	Rotklee in % FM	Unkraut in % FM	Rotklee in % FM	Unkraut in % FM	Rotklee in % FM	Unkraut in % FM	
9	75,5	24,5	75,7	24,3	84,0	16,0	93,2	6,8	93,2	6,8	
16	73,6	26,4	75,5	24,5	69,3	30,7	98,8	1,2	98,8	1,2	
26	75,1	24,9	76,3	23,7	69,8	30,2	98,3	1,7	98,3	1,7	
48	80,8	19,2	84,8	15,2	87,3	12,7	99,2	0,8	99,2	0,8	
Mittelwert	76,2	23,8	78,1	21,9	77,6	22,4	97,4	2,62	97,4	2,63	

