

Justus Liebig Universität Gießen

Fachbereich 09 „Agrarwissenschaften, Ökotoxikologie und Umweltmanagement“

Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung II
- Arbeitsgruppe Grünland und Futterbau -

-Bachelorarbeit-

„Abhängigkeit zwischen Biogaserträgen und
Futterqualitätsmerkmalen bei Hochzuckergräsern und
Leguminosen aus Rein- und Mischbeständen“

Gestellt von: PD Dr. Harald Laser

Verfasst von: Thorsten Schauß

Gießen im August 2008

Inhaltsverzeichnis:

| | Seite |
|--|-------|
| 1. Einleitung | 1 |
| 2. Literaturrecherche | 2 |
| 2.1 Biogasetablierung | 2 |
| 2.2 Energiepflanzen – Mais und Grünland | 2 |
| 2.2.1 Mais vs. Grünland | 3 |
| 2.2.2 Hochzuckergräser | 3 |
| 2.3 Inhaltsstoffe und Methangehalt | 4 |
| 2.4 Mikroorganismen | 4 |
| 2.5 Konservierung – Silierung und Heuproduktion | 4 |
| 2.5.1 Silage vs. Heu | 5 |
| 2.6 Wichtige Inhalts- und Hemmstoffe | 5 |
| 2.7 Abbaugrad | 6 |
| 2.8 Substratbereitstellungskosten | 6 |
| 2.9 Substratzerkleinerung | 6 |
| 2.10 Energie im Gärrückstand | 6 |
| 2.11 Methodische Analytik | 7 |
| 2.12 Arbeitshypothesen | 8 |
| 3. Material und Methoden | 9 |
| 3.1 Substrate | 9 |
| 3.2 Biogasschlamm | 10 |
| 3.3 Biogas-Versuchsdurchläufe | 11 |
| 3.4 Biogas-Auswertung | 13 |
| 3.5 Weitere Laboranalysen | 13 |
| 4. Ergebnisse | 14 |
| 4.1 Aufsummierte Gasmittelwerte pro Stunde | 14 |
| 4.2 Aufsummierte Gasmittelwerte | 16 |
| 4.3 Gräser vs. Leguminosen | 18 |
| 4.4 HZG Reinsaat vs. HZG Mischungen | 19 |
| 4.5 Lolium perenne Reinsaat vs. Lolium perenne Mischungen | 20 |
| 4.6 HZG vs. Lolium perenne | 22 |
| 4.7 Weitere Ergebnisse | 22 |
| 5. Diskussion | 23 |
| 5.1 Gasertrag und wasserlösliche Kohlenhydrate | 23 |
| 5.2 Gasertrag und Stickstoff-Gehalt der Aufwüchse | 24 |
| 5.3 Wasserlösliche Kohlenhydrate und Stickstoff-Gehalt der Aufwüchse | 26 |
| 5.4 Verdaulichkeit und Gasertrag | 28 |
| 5.5 Besonderheit des <i>Lotus corniculatus</i> | 29 |

Verzeichnis

| | |
|------------------------------------|----|
| 6. Zusammenfassung | 31 |
| 7. Literaturverzeichnis | 33 |
| 8. Anhang | 36 |
| 9. Eidesstattliche Erklärung | 56 |

Verzeichnis

Tabellenverzeichnis:

- 3.1.1: Sortenwahl
- 3.3.1: Ablesetermine
- 8.1: Gesamtdaten zweiter Versuchsdurchlauf der Messtage (a-e)
- 8.2: Vorbereitung Versuchsdurchlauf
- 8.3: Summe bereinigter Mittelwerte pro Stunde der 9 Messtage
- 8.4: Summe bereinigter Mittelwerte der 9 Messtage
- 8.5: Korrelationen
- 8.6: Oneway Anova
- 8.7: Ausschnitt Varianzanalyse

Bildverzeichnis:

- 3.2.1: Biogasanlage Villmar
- 3.3.1: eingewogene Glaskolben
- 3.3.2: Dispensette
- 3.3.3: Kolben vor der Gasentwicklung
- 3.3.4: Kolben nach der Gasentwicklung

Abbildungsverzeichnis:

- 4.1.1: Kumulierte Gasmittelwerte pro Stunde, gesamter Versuch
- 4.2.1: Kumulierte Gasmittelwerte, gesamter Versuch
- 4.3.1: Kumulierte Gasbildung gesamt (Gräser und Leg.), Mittelwerte
- 4.3.2: Gasbildung pro Stunde (Gräser und Leg.), Mittelwerte
- 4.4.1: Kumulierte Gasbildung gesamt (HZG-Reinsaat und HZG-Mischung), Mittelwerte
- 4.4.2: Gasbildung pro Stunde (HZG-Reinsaat und HZG-Mischung), Mittelwerte
- 4.5.1: Kumulierte Gasbildung gesamt (L.p.-Reinsaat und L.p.- Mischung), Mittelwerte
- 4.5.2: Gasbildung pro Stunde (L.p.-Reinsaat und L.p.- Mischung), Mittelwerte
- 4.6.1: Kumulierte Gasbildung gesamt (HZG und L.p.), Mittelwerte
- 4.6.2: Gasbildung pro Stunde (HZG und L.p.), Mittelwerte
- 5.1.1: Beziehung zwischen Gesamtgas und wasserlöslichen Kohlenhydraten
- 5.1.2: Wasserlösliche Kohlenhydrat-Gehalte der Versuchsvarianten
- 5.2.1: N-Gehalte in der TS der untersuchten Varianten
- 5.2.2: Beziehung zwischen dem N-Gehalt der Aufwüchse und dem Gesamtgasertrag
- 5.3.1: N und wK Gehalte der Leguminosen in Reinsaat und Mischung
- 5.3.2: Mischungseffekte auf den Ertrag
- 5.4.1: Beziehung zwischen der enzymlöslichen organischen Substanz (ELOS) und dem Gasertrag
- 5.5.1: Verdaulichkeit der untersuchten Substrate durch das ELOS-Verfahren
- 8.1: Parzellenanordnung des Leguminosen/Gräserversuch

1. Einleitung

Die Nutzung regenerativer Energien gewann im letzten Jahrzehnt zunehmend an Bedeutung aufgrund weltweit wachsender Energienachfragen und schwindender fossiler Energieträger. Neben den drei großen Sektoren der Wasser-, Wind- und Sonnenenergie wurde auch der Bereich „Energie aus Biomasse“ weiter etabliert. Besonders die Gasgewinnung aus Biomasse gilt als zukunftssträchtige Technologie. Insbesondere der Silomais stellte sich als hervorragendes Cosubstrat zur Vergärung heraus, so dass dessen Anbauflächen stetig zunahm. Allerdings birgt der Silomaisanbau eine Reihe agronomischer und ökologischer Nachteile in sich.

Parallel dazu findet ein Schrumpfen des deutschen Milchkuhbestandes statt, so dass immer weniger Grünlandflächen als Weidefläche genutzt werden müssen.

Aus ökologischer Sicht wäre es interessant, auf diesen Flächen eine konkurrenzfähige Alternative zum Silomais mit Grünlandaufwüchsen als Biogassubstrat einzurichten. Neue Gräserzüchtungen mit einem erhöhten Zuckergehalt könnten sich als geeignet für eine energetische Verwertung herausstellen, deren Anbau die Probleme der Maiskultivierung nicht aufweist.

Inwieweit einige futterbauliche Kriterien mit denen für die Biogasproduktion korrelieren und ob es eine verlässliche *in-vitro*-Schätzmethode für die Gasentwicklung gibt, soll in dieser Bachelorarbeit untersucht werden.

2. Literaturrecherche

2.1 Biogasetablierung

Zahlreiche Autoren und Sachverständige vertreten einheitlich die Meinung, dass der weltweite Energiebedarf langfristig nicht mehr rein aus fossilen Energieträgern gedeckt werden kann. Die Energieversorgung wird in Zukunft, durch den Hintergrund der wachsenden Weltbevölkerung, eine der größten Herausforderungen sein, denen sich die Menschheit stellen muss. Zahlreiche alternative Energiequellen wurden in der Vergangenheit aufgezeigt, weiterentwickelt und teilweise in die Energieversorgungspläne einiger Kommunen und Städte aufgenommen. Die Biomasseverstromung, vor allem die Biogastechnologie, stellt einen großen Teil dieser Alternativen dar. Das am 1. April 2000 in Kraft getretene „Erneuerbare Energien Gesetz,“ kurz EEG (Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit 2008), hält diesen Boom bis heute aufrecht, denn es fördert neben anderen erneuerbaren Energien auch die Biogasverstromung in Blockheizkraftwerken über feste Einspeisevergütungen (OHLY 2006).

2.2 Energiepflanzen – Mais und Grünland

Heutzutage ist die Möglichkeit der Mitvergärung organischer Abfälle in den Hintergrund getreten, vielmehr werden eigens dafür angebaute Energiepflanzen verwertet.

Besonders Mais erwies sich im letzten Jahrzehnt als vorzügliches Cosubstrat. Allerdings wird der vermehrte Anbau von Mais aus mehreren Gründen auch kritisch betrachtet. Zu den allgemeinen pflanzenbaulichen Nachteilen des Mais gehören unter anderem die Erosionsanfälligkeit der Böden und die damit verbundene Nährstoffauswaschung, die humuszehrende Wirkung, der hohe Düngbedarf und die Empfindlichkeit gegenüber Natrium. Auch für Schädlinge und Unkräuter ist Mais sehr anfällig (ZSCHEISCHLER 1984). Eine zunehmende Verwendung im Energiesektor tritt in Konkurrenz mit der Nahrungsmittelproduktion, denn Mais ist eine der weltweit wichtigsten Nahrungspflanzen. In den schwach industrialisierten Staaten Süd- und Mittelamerikas entwickelt sich die energetische Maisverwertung zu einer starken Nahrungsmittelkonkurrenz.

Weltweit werden immer mehr Stimmen laut, die eine Abkehr von der Nahrungsmittelverstromung fordern.

PROCHNOW et al. (2007) vertreten die Auffassung, dass die energetischen Potenziale des Grünlandes oft überhaupt nicht oder nur sehr grob betrachtet werden. Sie verweisen auf stetig sinkende Milchkuhzahlen in der EU und die Flächen, die künftig nicht mehr für die Milchviehernährung benötigt werden. Es werden Größenordnungen von 25% des Grünlandes genannt, die dann in keinem Nutzungszusammenhang stehen. Aus Studien für Brandenburg und Sachsen werde deutlich, dass nur 4% des gesamten Biogaspotenzials aus dem Grünland gedeckt werden. Die Autoren sehen dort noch Verbesserungsmöglichkeiten.

2.2.1 Mais vs. Grünland

Grünland bietet im Vergleich zu Mais eine Reihe weiterer Aspekte, die eine vermehrte Grünlandnutzung sinnvoll erscheinen lassen. RÖSCH et al. (2006) nennen den Erhalt des Boden- und Wasserschutzes, der Artenvielfalt und der Kulturlandschaft. Somit sehen sie die Chance, die Monokulturen wie Mais und Getreide durch artenreichere Grünlandaufwüchse zu ersetzen.

Allerdings genießt der Mais zu Recht aktuell eine bedeutende Rolle. Zahlreiche Untersuchungen ermitteln die höchsten Biogasausbeuten. Auch im Bereich der Mechanisierbarkeit und der Energiedichte bevorzugen Autoren den Mais.

Neuere Untersuchungen zeigen allerdings, dass Mais in Monovergärung nicht wesentlich besser abschneidet als Gras (RÖSCH et al. 2006).

2.2.2 Hochzuckergräser

JÄNICKE 2005 bestätigt in seinen Versuchen auf Niedermoorböden in Mecklenburg Vorpommern, dass die HZG-Sorten im Mittel über höhere Gehalte an wasserlöslichen Kohlenhydraten (wLK) verfügen als die Vergleichssorten. Laut BEIMLER et al. (2005) gehen die Zusammensetzungen der Inhaltsstoffe weder in die Sortenzulassung noch in die Empfehlung mit ein. Ob die HZG in der Milchviehernährung Verbesserungen bringen werden, ist strittig. Nach TAWHEEL et al. (2005) verändern sich weder die pH-Werte im Rumen, noch die Zerlegungsprozesse im Pansen, noch die Anteile an Acetat, Propionat und Buterat.

Jedoch werden in die HZG als Biogassubstrat Erwartungen gesetzt.

2.3 Inhaltsstoffe und Methangehalt

AMON et al. (2003) stellen fest, dass die Biogasausbeute im Wesentlichen von den Inhaltsstoffen und ihren Zusammensetzungen abhängt. Während besonders der Protein-, der Fett- und Kohlenhydratanteil entscheidend für die Biogasmenge sind, behindern die schwerabbaubaren Lignin-, Cellulose- und Faserstoffe die Methanbildung. Sie arbeiten heraus, dass diese Zusammensetzungen in erster Linie durch den Erntezeitpunkt und weniger durch die Pflanzenart bestimmt werden. PROCHNOW et al. (2007) sprechen von einer linearen Abnahme der Biogasausbeute im Jahresverlauf. Es muss allerdings zwischen Biogasproduktion im Allgemeinen und der Methangasproduktion unterschieden werden. Hohe Biogaserträge müssen nicht unbedingt einen hohen Methananteil und somit eine hohe Methanproduktion bedeuten. Die höchsten Methanausbeuten bei Grünlandaufwüchsen stellen PROCHNOW et al. (2007) im Zeitraum des Schossens fest, einen reduzierten Wert im Ährenschieben und zur Ernte. Später im überständigen Erntegut sind die Werte nochmals reduziert.

2.4 Mikroorganismen

Die Mikroorganismenzusammensetzung in einem Biogasfermenter ist äußerst komplex und aufeinander abgestimmt. Eine Substratumstellung ist gleichzeitig mit einer Umstellung der Mikroorganismenbiozönose und damit temporären Gasmindererträgen verbunden.

2.5 Konservierung – Silierung und Heuproduktion

Um eine ausreichende Wirtschaftlichkeit einer Biogasanlage zu erreichen, ist eine möglichst kontinuierliche Beschickung anzustreben. Möglichkeiten dafür stellen entweder Silierung oder Trocknung dar.

Unter anderem tragen RÖSCH et al. (2006) zusammen, dass die Silierfähigkeit in erster Linie vom Rohfasergehalt des Substrates abhängt und somit vom Erntezeitpunkt. Durch mikrobielle Prozesse entstehen in einer Silage auch Verluste, jedoch bemerken die Autoren einen teilweisen Aufschluss der Rohfaserfraktion, die anschließend als Nährstoff in der methanogenen Phase verwertet werden kann (AMON et al. 2004). Auch werden in der Silagebereitung Vorläufersubstrate, wie z.B. Essig oder Milchsäure gebildet. Weiterhin wäre eine Zugabe von Silierhilfsmitteln

möglich, die das Verhältnis der entstehenden Säuren zur Essigsäure verschieben könnten, da sie direkt durch Methanogene Archaeen umgesetzt wird (RÖSCH et al. 2006).

Die Verwendung von Grünlandaufwüchsen mit höherem Rohfaseranteil sehen RÖSCH et al. (2006) wegen der geringen Siliereignung bevorzugt in der Heubereitung. Die in der Praxis gebräuchlichen Mais- und Grassilagen liefern energetische Wirkungsgrade von 80%, faserreiche Substrate hingegen nur ca. 60%.

2.5.1 Silage vs. Heu

Ob Heu- oder Silageprodukte höhere Biogaserträge liefern ist strittig, es liegen unterschiedliche Versuchsergebnisse vor. RÖSCH et al. (2006) kommen zu dem Ergebnis, dass Heu- oder Silageprodukte nur wenig differieren. AMON et al. (2003) ermitteln bei Silagen durchweg signifikant höhere Biogasausbeuten.

2.6 Wichtige Inhalts- und Hemmstoffe

RÖSCH et al. (2006) beziffern den Proteingehalt in Grassilagen zwischen rund 23 und 30 g kg⁻¹ TS, damit sind sie fast doppelt so hoch wie in Maissilagen. Damit kann der Stickstoff zur limitierenden Größe in einer Vergärung werden, da u.U. ein hoher Gehalt an Ammonium und Ammoniak entsteht. EDELMANN (2001) ordnet einen erhöhten Schwefelgehalt ebenfalls als problematisch ein, da er im Prozess zu Schwefelwasserstoff umgewandelt wird, der ab einer Konzentration von 50 ml l⁻¹ hemmend auf die Biogasproduktion wirkt.

Freie Fettsäuren, Schwefelwasserstoff und Ammoniumstickstoff wirken nur in ihren undissoziierten Formen hemmend, die freien Fettsäuren und der Schwefelwasserstoff somit nur bei niedrigen pH Werten, Ammoniumstickstoff bei hohen pH Werten. Zu den wichtigsten Puffersystemen im Fermenter gehören der Carbonatpuffer und der Ammoniakpuffer (OHLY 2006). Weitere bekannte Hemmstoffe sind u.a. Schwermetalle, Antibiotika, erhöhte Salzgehalte und halogenierte oder aromatische Kohlenwasserstoffverbindungen (FNR 2008). Er führt an, dass es im ungünstigsten Fall zum Umkippen des Fermenters kommt, so dass der Prozess zum Erliegen kommt und die Bakterien absterben. In einem solchen Fall müsse der Gärtank geleert und mit geeignetem Substrat neu angefahren werden.

2.7 Abbaugrad

Der Abbaugrad hängt in großem Maße von der Verweilzeit ab. Je länger das Substrat im Fermenter verbleibt, desto höher sind die Abbaugrade und damit auch die Gas- und Methanausbeuten. Durch höhere Rohfasergehalte in Grünlandaufwüchsen ergeben sich höhere Verweilzeiten (OHLY 2006). RÖSCH et al. (2006) empfehlen Zeiträume bis zu 100 Tagen.

2.8 Substratbereitstellungskosten

Kritiker der Grünlandverwertung in Biogasanlagen führen die höheren Substratbereitstellungskosten an, bzw. die Kosten, die entstehen, um eine Energieeinheit herzustellen. Im Jahr 2005 fielen etwa 7,9 Cent pro kWh_{el} Bereitstellungskosten für Maissilage an, für eine preiswerte Grassilage etwa 8,7 Cent pro kWh_{el}, also ca. 10% mehr. Die für 2010 geplante Anhebung der Grünlandprämie auf das Niveau der Ackerprämie lässt diesen Abstand abschmelzen, so dass sich die Bereitstellungskosten angleichen (RÖSCH et al. 2006).

2.9 Substratzerkleinerung

Ein weitestgehend unerforschtes Kapitel stellt die Auswirkung der Substratzerkleinerung dar. Es wird vermutet, dass auch die Häcksellänge Einfluss auf den Methanertrag nimmt (PROCHNOW et al. 2007). Dies ist auch ein Grund für das Problem, dass Erkenntnisse aus Laborfermenteranlagen nicht auf praktische Verhältnisse anzuwenden sind. Im Labor sind die Substrate zumeist fein gemahlen und erfüllen somit Optimalbedingungen, die so in der Praxis nie zu finden sind.

2.10 Energie im Gärrückstand

EDELMANN (2001) beziffert den Energiegehalt, der im Gärrückstand verbleibt, mit 7% der Energie der abbaubaren Biomasse. Diese Energie bleibt ungenutzt und wird aus dem Fermenter ausgetragen. Zieht man den Energiegehalt aus dem Rückstand von der Bruttoenergie ab, so errechnet man die anaerob abbaubare Energie (AMON et al. 2003).

2.11 Methodische Analytik

In der Planung neuer Biogasanlagen sind detaillierte Kenntnisse über die zu vergärenden Substrate von großer Bedeutung. Es müssen daher Untersuchungen erfolgen, die die Substrate auf Vergärungseignung prüfen (HELFFRICH & OECHSNER 2003). Die Prozesse in einer Biogasanlage sind zu einem gewissen Teil mit den Vorgängen in Wiederkäuern zu vergleichen. Eine wichtige Kenngröße für die Substrate sind hierbei die Verdaulichkeiten.

Verschiedenste Verfahren zur Ermittlung der Verdaulichkeiten etablierten sich in den letzten Jahrzehnten. *In-vivo*-Techniken bringen die zu untersuchenden Substrate, mit Hilfe von Pansenfisteln, direkt in das Tier ein. Einige Nachteile der *in-vivo*-Verfahren sind u.a. die immer strengeren Tierschutzgesetze und der hohe Zeit- und Arbeitsaufwand. Dies führte zur verstärkten Entwicklung von *in-vitro*-Verfahren, bei denen die Verdauung im Reagenzglas stattfindet. (KIRCHGEßNER 1997).

In diesem Zusammenhang sind besonders die Verfahren ELOS und der Hohenheimer Futterwerttest (HFT) zu nennen.

Im ELOS-Verfahren wird durch Salzsäure zunächst ein Voraufschluss erreicht, dann schließt eine Pepsin-Salzsäurelösung Proteine auf. Anschließend erfolgt eine Inkubation mit einer Cellulaselösung, die die Cellulosebestandteile aufschließt. Über den unverdaubaren Rest wird die *in-vitro*-Verdaulichkeit errechnet und daraus auf die Energiedichte geschlossen (KIRCHGEßNER 1997).

Im HFT wird die Verdaulichkeit über die Bildung von Methan und CO₂ errechnet. Das Substrat wird in speziellen Kolben mit Pansensaft unter anaeroben Bedingungen vergoren. Die Notwendigkeit des Pansensaftes schließt allerdings zahlreiche Fehlerquellen mit ein (KIRCHGEßNER 1997).

Eine leicht abgewandelte Form des HFT stellt der Hohenheimer Biogastest (HBT) dar. HELFFRICH & OECHSNER (2003) arbeiteten erstmals mit dieser Modifizierung und fanden u.a. für Grassillagen große Übereinstimmungen zu den Literaturwerten. Somit liefert dieses Verfahren realistische Biogaskenngrößen.

2.12 Arbeitshypothesen

Aus der Literatur lassen sich folgende Punkte zusammenfassend herausstellen:

- Mais ist das meistverwendete Cosubstrat für die Biogasanlagen, das aber zahlreiche agronomische Nachteile in sich birgt
- Grünlandpotenziale zur Gasgewinnung sind nicht ausgeschöpft
- große ökologische Verträglichkeit des Grünlands ist zu erwarten
- Protein-, Fett- und Kohlenhydratanteile sind entscheidend für die Biogasmenge; schwerabbaubare Lignin-, Cellulose- und Faserstoffe behindern die Methanbildung
- HZG lassen aufgrund ihrer Inhaltsstoffzusammensetzungen gute Gaserträge erhoffen
- hohe Proteingehalte können limitierend auf die Gärung wirken
- Verdauungsvorgänge in Wiederkäuern sind zum gewissen Teil mit den Prozessen in Biogasanlagen zu vergleichen
- *In-vitro* Vergärungen testen auf Substrateignung
- HBT liefert realistische Ergebnisse

Daraus lassen sich folgende Fragestellungen ableiten:

1. Bestehen Beziehungen zwischen futterbaulich-relevanten Größen und dem Biogasertrag?
2. Ist der Kolbenfermentationsversuch geeignet um Qualitätsunterschiede verschiedener Arten festzustellen?
3. Lassen sich mit dem Kolbenfermentationsversuch wiederholbare Ergebnisse ermitteln?
4. Gibt es außerordentlich gasertragsreiche/-arme Rein- oder Mischsaaten?
5. Eignen sich HZG zur Vergärung?
6. Wirken sich Lignine oder Tannine auf die Biogausbeute des *Lotus corniculatus* aus?

3. Material und Methoden

Der im Rahmen dieser Arbeit durchgeführte Versuch sollte die Eignung verschiedener Grünlandaufwüchse für die Verwertung in Biogasanlagen prüfen. Zum Einsatz kamen folgende Substrate: *Lolium perenne*, *Lolium perenne* als Hochzuckergras, *Trifolium pratense*, *Medicago sativa* und *Lotus corniculatus*. Diese Pflanzen wurden jeweils als Reinsaat und als Mischung getestet, in der jeweils ein Gras mit jeweils einer Leguminose verwendet wurde. Jede Variante wurde vier Mal wiederholt um statistische „Ausreißer“ erkennen zu können.

3.1 Substrate

Die o.g. verwendeten Substrate stammten aus einem mehrjährigen Parzellenversuch auf dem Lehr- und Versuchsbetrieb Gladbacherhof der Universität Gießen in Aumenau, der Gemeinde Villmar. Ursprünglich sollten diese Aufwüchse auf ihre Futtermittleignung als Rein- oder Mischsaaten erprobt werden. Der Versuchsumfang und die genaue Parzellenanordnung kann der Abbildung 8.1 im Anhang entnommen werden. Folgende Sorten kamen zum Einsatz:

Tabelle 3.1.1: Sortenwahl

| Pflanzenart | Zweck | Sorte |
|---------------------------|-----------------|---------------------------|
| <i>Lolium perenne</i> | Hochzuckergras | Aberavon |
| <i>Lolium perenne</i> | Vergleichssorte | Gladio, Summit und Tivoli |
| <i>Trifolium pratense</i> | | Lucrum |
| <i>Medicago sativa</i> | | Planet |
| <i>Lotus corniculatus</i> | | Oberhaunstädter |

Die erhöhten Konzentrationen der wasserlöslichen Kohlenhydrate stehen im Verdacht einen wesentlichen Einfluss auf die Verdaulichkeit und den daraus resultierenden Energiegewinn zu nehmen.

Die zum Einsatz gekommenen Substrate wurden im Herbst 2007 geerntet, getrocknet, gemahlen und in Gläser abgefüllt und standen in dieser Form zur Verfügung. Es wurden nur Varianten des dritten Schnitts verwendet, bei denen große Unterschiede zu erwarten waren.

3.2. Biogasschlamm

Der Biogasschlamm wurde zur Animpfung der Testsubstrate mit Mikroorganismen verwendet. Es war von großer Bedeutung, dass in der Biogasanlage, aus der der aktive Schlamm entnommen wurde, ähnliche Substrate verwendet wurden, wie unter unseren Versuchsbedingungen. Sonst hätte der Fall eintreten können, dass die Mikroorganismengemeinschaft die im Testsubstrat enthaltenen Verbindungen nicht verwerten kann und so unrealistische Biogasproduktionen gemessen werden.

In diesem Fall bot eine Biogasanlage in Villmar, die von der EEV GmbH betrieben wird, geeignete Voraussetzungen. Hauptsächlich wird die Anlage mit konventionellem Silomais und Gülle betrieben, der unregelmäßige Beigaben von Roggen-Ganzpflanzensilage (RoggenGPS) folgen.



Bild 3.2.1 Biogasanlage in Villmar

Die Schlammentnahme erfolgte direkt aus dem Fermenter und wurde in Thermoskannen unter thermostabilen und anaeroben Bedingungen auf das Versuchsgelände transportiert. Aus dem Schlamm wurden Grobbestandteile entfernt und die nun flüssige Substanz konnte durch zwei feine Siebe (1,2 mm und 0,71 mm) ablaufen. Der aufbereitete Biogasschlamm wurde im Verhältnis 1:1 mit angewärmtem Wasser verdünnt und in vorgewärmten 1 Liter Polyethylengefäße unter anaeroben Bedingungen kurze Zeit gelagert.

3.3 Biogas-Versuchsdurchläufe

Es fanden insgesamt zwei Versuchsdurchläufe statt, von denen der erste Durchlauf Testcharakter hatte. Die Methodik sollte auf Belastbarkeit der Werte und Signifikanzen der Unterschiede überprüft werden.

Die Biogasproduktion wurde unter Laborbedingungen im Kolbenfermentationsverfahren simuliert. Die Kolben sind aus Glas gefertigt und haben ein Fassungsvermögen von 100 ml, die über eine aufgedruckte Skala abzulesen sind. In dem zweiten Versuchsdurchlauf wurde mit 48 Glaskolben gearbeitet. In jeden Kolben wurde 0,5 g Substrat mit einer Fehlertoleranz von 0,02% eingewogen. Pro Variante wurden vier Wiederholungen angesetzt und vier Kolben blieben zur Ermittlung des Gasertrages, der nur durch den Biogasschlamm verursacht wurde, ohne Substratzugabe. Davon wurden zwei Kolben mit dem verdünnten Biogasschlamm befüllt, mit dem auch die Proben versetzt waren und zwei Kolben wurden mit unverdünntem Schlamm befüllt, so wie er auch in der Biogasanlage vorliegt. An der vorderen Auslassöffnung der Kolben ist jeweils ein etwa 8 cm langer Plastikschlauch befestigt, der im Versuchsablauf durch eine Schlauchklemme verschlossen wird. Auf dem Lehr- und Versuchsbetrieb wurde jeweils 30 ml des aufbereiteten Biogasschlammes in die Kolben gegeben. Als Hilfsmittel diente eine Dispensette.



Bild 3.3.1 eingewogene Glaskolben



Bild 3.3.2 Dispensette

Der mit Vaseline eingefettete Stempel schloss luftdicht den hinteren Teil des Kolbens ab. Die befüllten Kolben wurden in einem Klimaschrank bei konstanten 39°C inkubiert. Ein kleiner Ventilator sorgte für eine gleichmäßige Lufttemperatur, die über ein Thermometer kontrolliert wurde. Eine gleichmäßige Durchmischung des Substrat-Biogasschlamm-Gemisches wurde durch einen Rotor gewährleistet. Das gebildete Biogas sorgte für einen Überdruck in den Kolben und drückte die Stempel aus den Kolben. Das entstandene Gasvolumen konnte auf der aufgedruckten Skala abgelesen werden. In den Versuchsdurchlauf wurden auch zwei ungefüllte Kolben integriert, um eventuelle Kolbenauslenkungen durch einfache Erwärmung aufzeigen zu können.



Bild 3.3.3 Kolben vor der Gasentwicklung



Bild 3.3.4 Kolben nach der Gasentwicklung

Da wesentlich mehr Biogas entstand, als die Kolben auf einmal fassen konnten, wurden sie des öfteren abgelesen und zurückgestellt.

Tabelle 3.3.1 Ablesetermine

| | |
|------------|---------------|
| Termin 1: | 6. Juni 2008 |
| Termin 2: | 7. Juni 2008 |
| Termin 3: | 8. Juni 2008 |
| Termin 4: | 9. Juni 2008 |
| Termin 5: | 10. Juni 2008 |
| Termin 6: | 12. Juni 2008 |
| Termin 7: | 14. Juni 2008 |
| Termin 8: | 16. Juni 2008 |
| Termin 9: | 19. Juni 2008 |
| Termin 10: | 27. Juni 2008 |

3.4 Biogas-Auswertung

Die abgelesenen Werte wurden in einer Excel-Tabelle gesammelt und um die Nettobiogasbildung, die durch den Biogasschlamm alleine entstand, bereinigt. Die Variantenwiederholungen wurden zu Mittelwerten zusammengefasst und die Gasbildung pro Stunde ermittelt. Diese Ergebnisse wurden aufsummiert und in Grafiken dargestellt. Die Tabellen sind im Anhang angehängt.

Durch das Programm „SPSS für Windows“ Version 12.0 (ANONYMUS 2003) erfolgte eine mehrfaktorielle Varianzanalyse, deren Tests auf Signifikanz folgende Sicherungsniveaus zugrunde gelegt wurden:

- F-Test für Varianzanalyse:
Signifikanzniveau 5% in den Tabellen gekennzeichnet durch: *
Signifikanzniveau 1% in den Tabellen gekennzeichnet durch: **

- multipler t-Wert für Einzelwerte:
Signifikanzniveau 5%

Die Signifikanzen für die gesamte Gruppe wurden zu den verschiedenen Messtagen ermittelt. Zusätzlich erfolgte eine Aufschlüsselung der Signifikanzen einzelner Varianten an den verschiedenen Messtagen. Die Ergebnisse sind in den Tabellen 8.5 bis 8.7 im Anhang aufgeführt.

3.5 Weitere Laboranalysen

Die C- und N- Gehalte wurden mittels Elementaranalyse nach Hochtemperaturverbrennung bestimmt; mit Hilfe des ELOS-Verfahrens (Enzymlösliche organische Substanz) die Verdaulichkeit (ANONYMUS 1997). Der Gehalt an wasserlöslichen Kohlenhydraten (wLK) wurde durch Anthron ermittelt (YEMM & WILLIS 1954).

Diese anerkannten futtermittelanalytischen Verfahren sollten von dem Biogasversuch unabhängige Ergebnisse liefern. Die Resultate beider Versuche wurden verglichen und auf Zusammenhänge geprüft.

4. Ergebnisse

4.1 Aufsummierte Gasmittelwerte pro Stunde

Die Abbildung 4.1.1 zeigt die aufsummierten Mittelwerte pro Stunde der Gasentwicklungen der unterschiedlichen Substrate, die an neun Messtagen ermittelt und wurden.

Die höchste aufsummierte Biogasausbeute pro Stunde bietet *Lolium perenne* als Hochzuckergrassorte (HZG) in Reinsaat, dicht gefolgt von HZG mit *Trifolium pratense* in Mischsaat. Einen wesentlich geringeren aufsummierten Biogasertrag pro Stunde bringen *Medicago sativa* und *Trifolium pratense* in Reinsaat. Die geringste Gasmenge wird bei *Lotus corniculatus*, ebenfalls in Reinsaat, ermittelt. Somit liefern alle getesteten Leguminosen in Reinsaat die schwächsten Biogaserträge pro Stunde. Die Volumenbildung startet unverzüglich ohne lange Anlaufphase. Bis auf zwei Ausnahmen liegen sie in der Startphase auch sehr dicht zusammen und verlaufen weitestgehend parallel. *Lotus corniculatus* in Mischsaat zeigt eine deutlich schlechtere Anlaufphase als *Lotus corniculatus* in Reinsaat.

Ab dem vierten Tag ist eine allgemein deutliche Abnahme der Gasbildung zu erkennen. Nach einer zunächst relativ einheitlichen Entwicklung beginnt nun eine sichtbare Differenzierung der verschiedenen Substrate.

Der Rückgang der Gasmengen erfolgt ebenfalls zu gleichen Zeiten. Ab dem dreizehnten Tag ist die Volumenbildung nahezu abgeschlossen.

Die Biogasbildung kann in drei Etappen eingeteilt werden:

- Die Startphase, in der die Gasentwicklung der Substrate noch sehr eng zusammen liegen,
- die Zwischenphase, in der eine deutliche Differenzierung stattfindet und
- die Schlussphase, in der die Gasbildung rasch zum Erliegen kommt.

Alle drei Etappen finden bei den verschiedenen Substraten nahezu gleichzeitig statt.

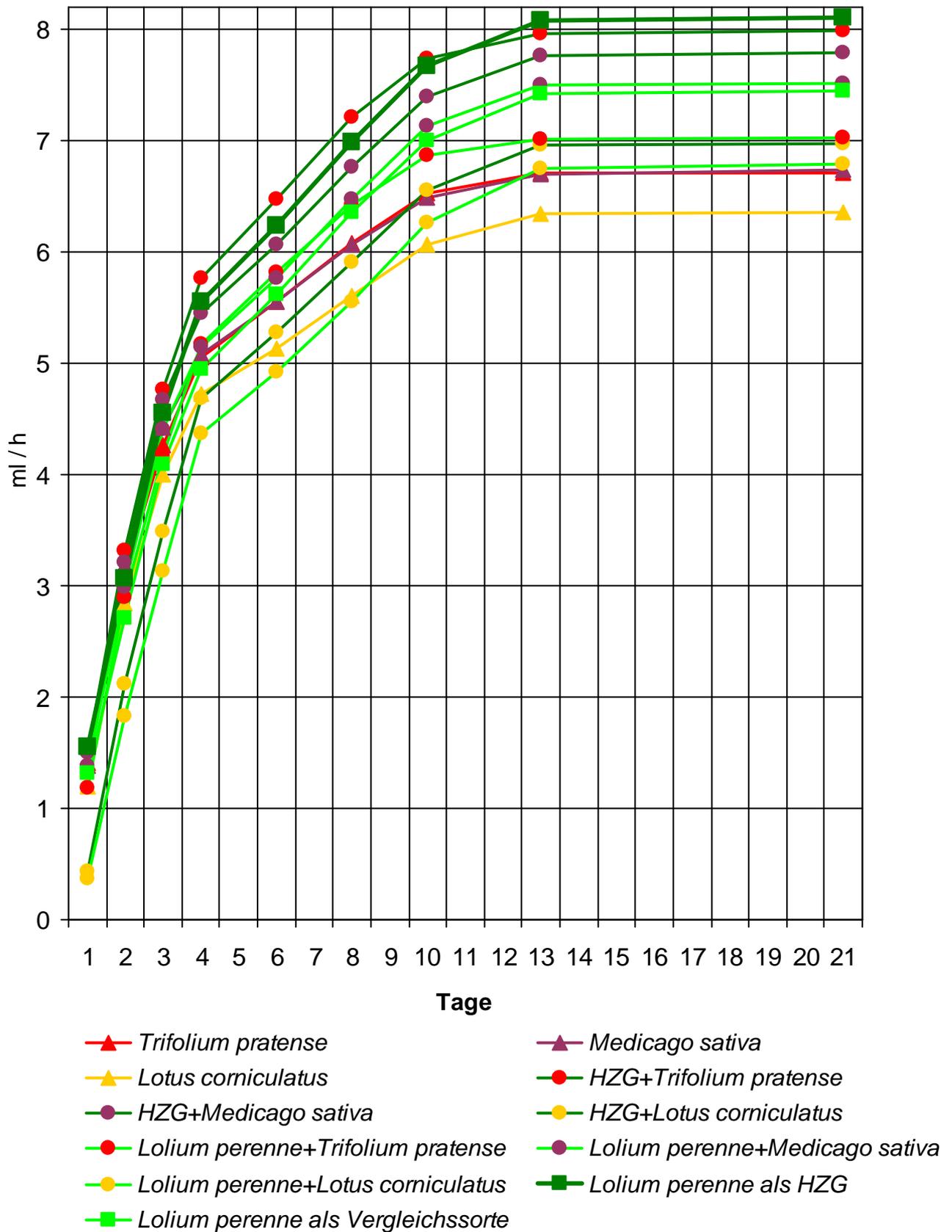


Abb. 4.1.1: Kumulierte Gasmittelwerte pro Stunde, gesamter Versuch

4.2 Aufsummierte Gasmittelwerte

Abbildung 4.2.1 beschreibt die Summe der Mittelwerte der einzelnen Varianten. Im Unterschied zu Abb. 4.1.1 werden die Werte hier nicht auf die Gasbildung pro Stunde umgerechnet, sondern über den gesamten Versuchsverlauf. Somit kann aus dieser Abbildung abgelesen werden, wie viel Gas die verschiedenen Varianten insgesamt abgegeben haben.

Auch hier zeigt das HZG in Reinsaat die höchste Gasbildung von 276 ml und *Lotus corniculatus* in Reinsaat die Schlechteste von 207 ml.

Die Leguminosen zeigen auch bei dieser Betrachtung die schlechtesten Ergebnisse. Auffällig ist jedoch, dass die Mischungen mit *Lotus corniculatus* sowohl mit dem HZG als auch mit der Vergleichssorte im Endeffekt gleiche Biogasausbeuten, von 239 ml und 240 ml, liefern. Ansonsten ähneln sich die beiden Abb. 4.2.1 und 4.1.1 in ihren Aussagen sehr stark.

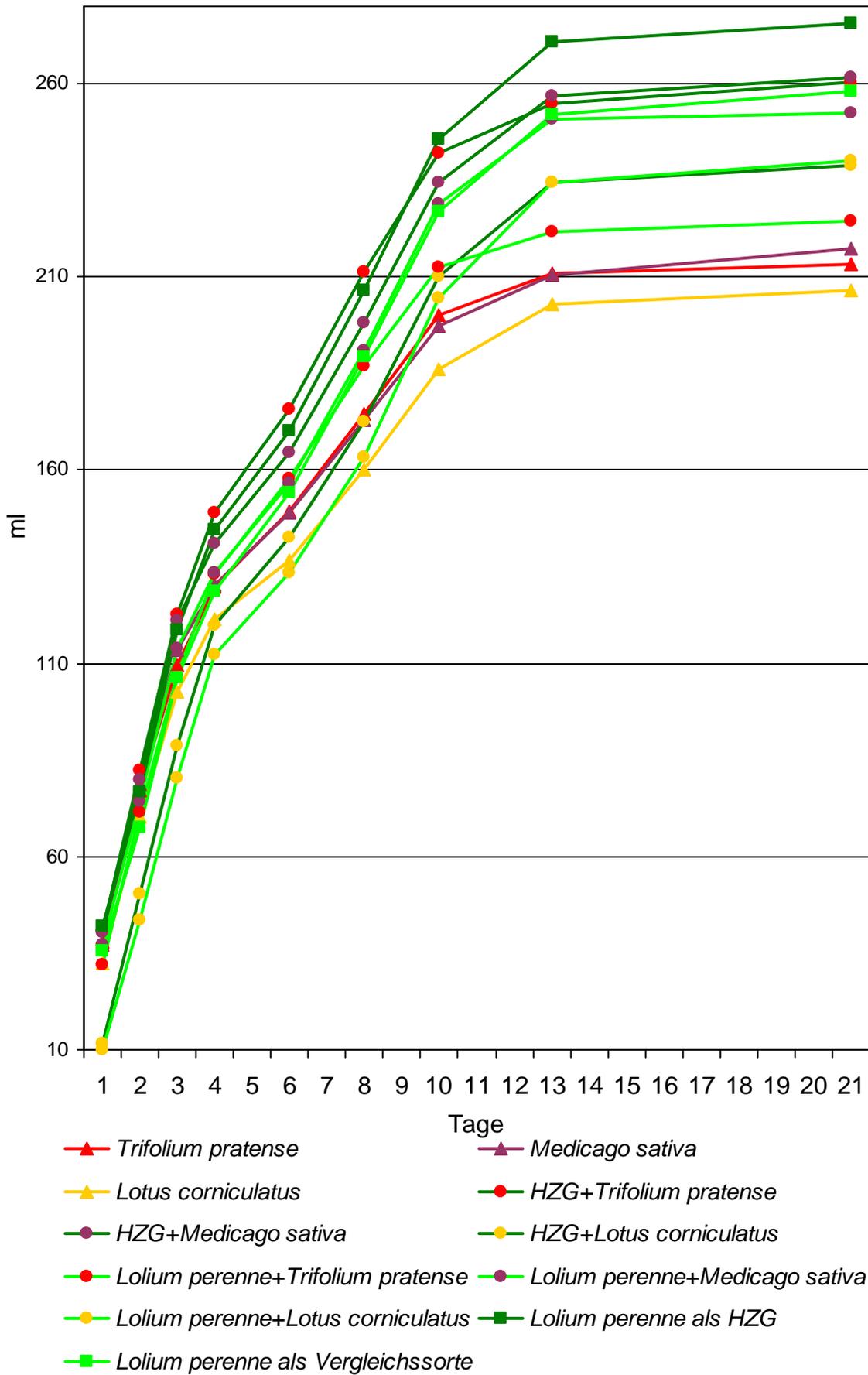


Abb. 4.2.1: kumulierte Gasmittelwerte, gesamter Versuch

Im Folgenden werden die Ergebnisse ausgewählter Substrate genauer beschrieben.

4.3 Gräser vs. Leguminosen

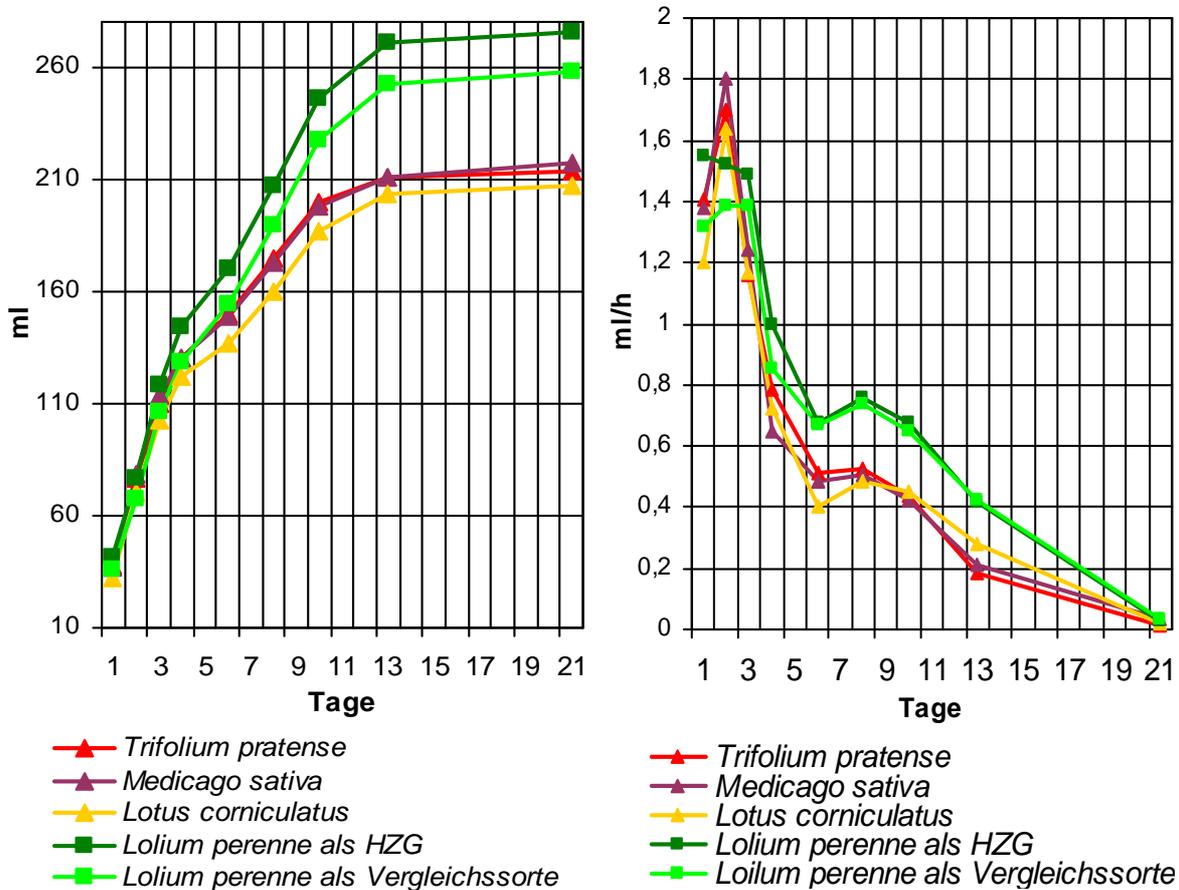


Abb. 4.3.1: kumulierte Gasbildung gesamt (Gräser und Leg.), Mittelwerte

Abb. 4.3.2: Gasbildung pro Stunde (Gräser und Leg), Mittelwerte

Abbildung 4.3.1 zeigt die aufsummierten Gasmengen von den Grassorten und den Leguminosen. Die Leguminosen liegen zu jedem Zeitpunkt unter den Gräsern. Nach einer fast identischen Startphase differenzieren sich die Gasmengen ab dem vierten Versuchstag deutlich. Das HZG liefert durchweg höhere Gasmengen als *Lolium perenne*, nämlich 275,5 ml verglichen zu 258 ml. *Trifolium pratense* liefert 213 ml, *Medicago sativa* 217 ml und *Lotus corniculatus* erreicht 206 ml. Insgesamt liegen die Ergebnisse der Leguminosen relativ eng beieinander. *Lotus corniculatus* liefert, obwohl alle Substrate bis zum vierten Tag sehr nahe beieinander liegen, die niedrigsten Ergebnisse in dieser Versuchsreihe. Abbildung 4.3.2 zeigt die nicht kumulierten Gasbildungswerte pro Stunde, die an den neun Messtagen als Mittelwerte abgebildet sind (vgl. Anhang Tabelle 1). Alle Leguminosen bilden zu Anfang mehr Biogas als die Gräser, fallen in ihrer Entwicklung vor allem zwischen dem dritten und neunten Tag stark ab.

4.4 HZG Reinsaat vs. HZG Mischungen

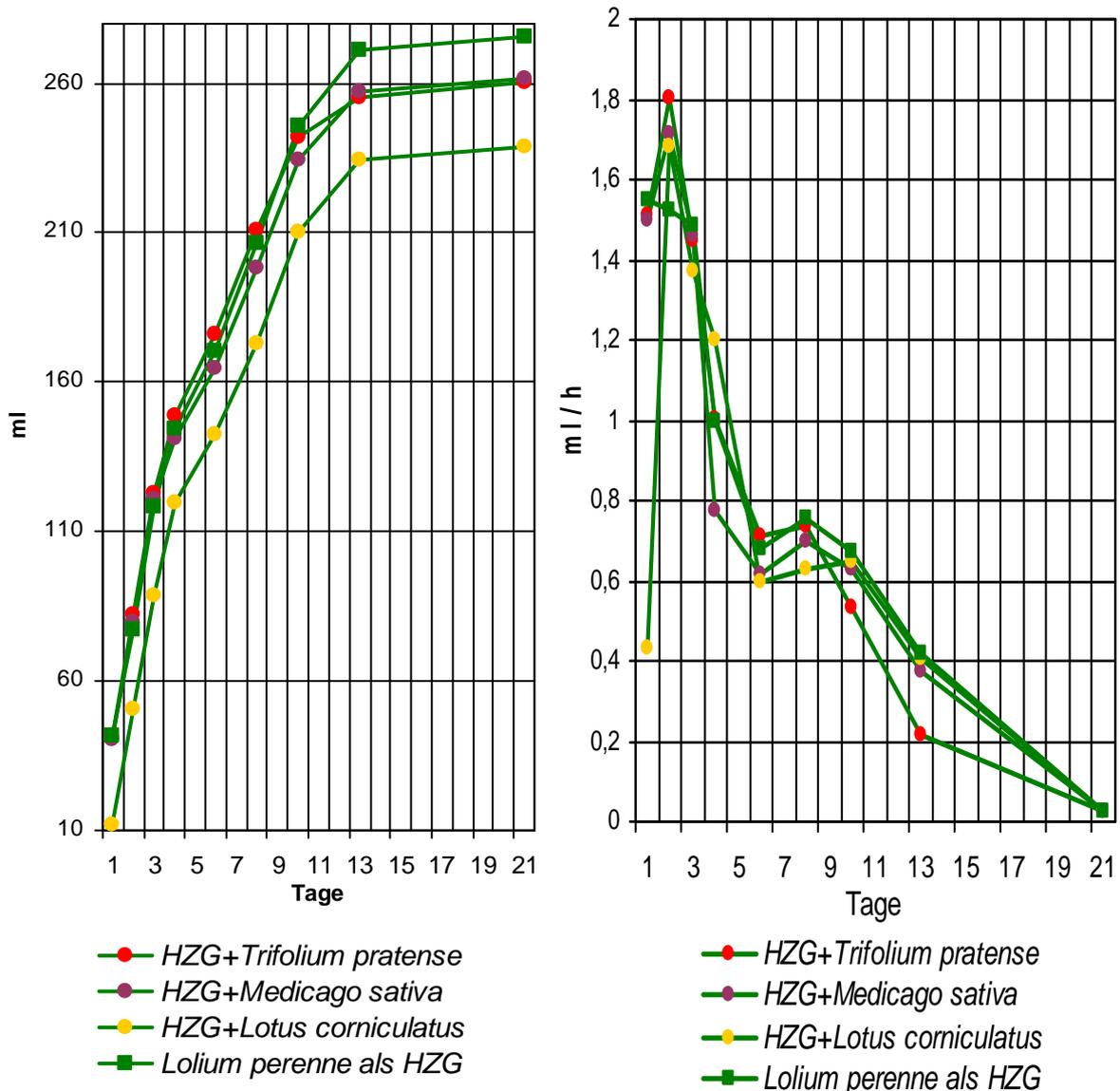


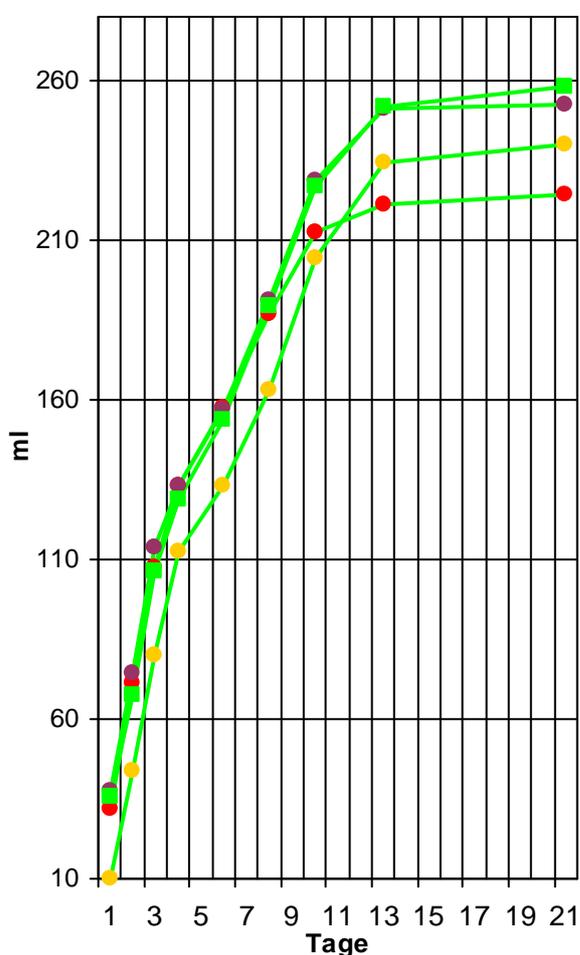
Abb. 4.4.1: kumulierte Gasbildung gesamt (HZG-Reinsaat und HZG-Mischung), Mittelwerte

Abb. 4.4.2: Gasbildung pro Stunde (HZG-Reinsaat und HZG-Mischung), Mittelwerte

Abb. 4.4.1 offenbart, dass HZG in Reinsaat mit 275,5 ml einen höheren Endwert liefert als HZG in jeglichen untersuchten Mischaaten, jedoch liegt die Mischung HZG mit *Trifolium pratense* von dem vierten bis zum elften Versuchstag über den Reinsaat-Ergebnissen. Die besten Resultate unter den Mischungen brachten HZG mit *Trifolium pratense* mit 260 ml und HZG mit *Medicago sativa* mit 262 ml. Das HZG mit *Lotus corniculatus* liegt mit 239 ml weit abgeschlagen hinter den anderen Werten. *Lotus corniculatus* produziert auch in Reinsaat die geringsten Gasvolumina. Dies wird auch durch die Tabelle 8.7 im Anhang statistisch bestätigt. Das Signifikanzniveau beträgt bei diesem Sortenunterschied 99,9% und bei HZG und

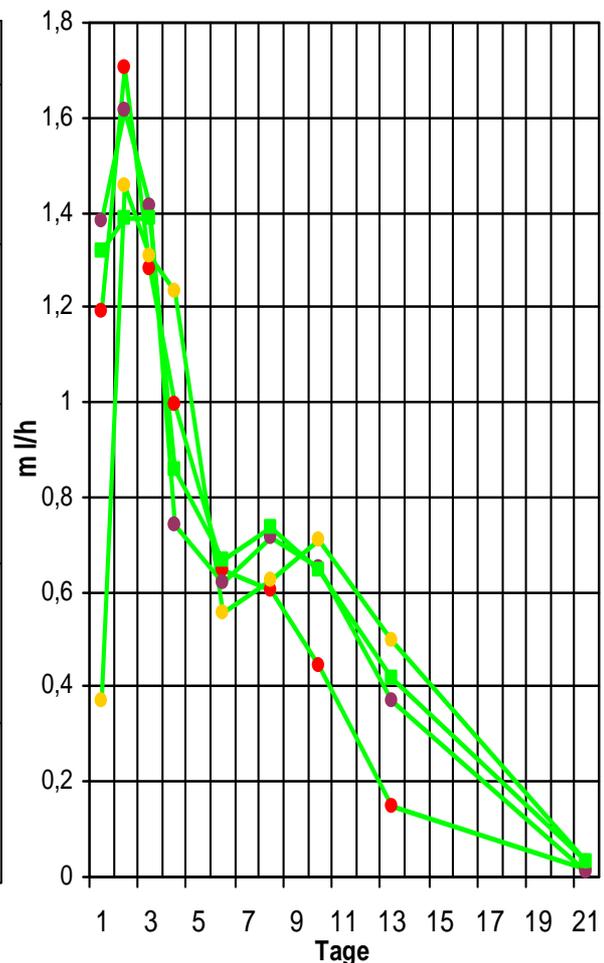
HZG mit *Trifolium pratense* 95%. Der Vergleich zwischen HZG und HZG mit *Medicago sativa* resultiert in nicht signifikanten Unterschieden. Dennoch bildet HZG mit *Trifolium pratense* in der Summe höhere Biogasmengen als HZG mit *Medicago sativa*, sie erreicht auch nach Abb. 4.4.2 die höchste Gasbildung pro Stunde. Die Mischung HZG mit *Lotus corniculatus* zeigt in der Startphase die deutlich geringsten Biogasproduktionsraten pro Stunde. Ab dem neunten Versuchstag liegt die Mischung mit *Trifolium pratense* in der stündlichen Gasproduktion unter den restlichen Varianten.

4.5 *Lolium perenne* Reinsaat vs. *Lolium perenne* Mischsaat



- *Lolium perenne*+*Trifolium pratense*
- *Lolium perenne*+*Medicago sativa*
- *Lolium perenne*+*Lotus corniculatus*
- *Lolium perenne* als Vergleichssorte

Abb. 4.5.1: kumulierte Gasbildung gesamt (L.p.-Reinsaat und L.p.-Mischung), Mittelwerte



- *Lolium perenne*+*Trifolium pratense*
- *Lolium perenne*+*Medicago sativa*
- *Lolium perenne*+*Lotus corniculatus*
- *Lolium perenne* als Vergleichssorte

Abb. 4.5.2: Gasbildung pro Stunde (L.p.-Reinsaat und L.p.-Mischung), Mittelwerte

Nach Abb. 4.5.1 liegen die Biogasmengen der Mischung *Lolium perenne* mit *Medicago sativa* und der Reinsaat *Lolium perenne* sehr dicht beieinander. Tabelle 8.3 im Anhang beziffert einen Mehrertrag von 5,5 ml der Mischung. Im Unterschied zu der HZG-Mischung liegt hier die *Lolium perenne* Mischung mit *Lotus corniculatus* ab dem elften Tag über der Mischung *Lolium perenne* mit *Trifolium pratense*, denn ab dem neunten Tag fällt die Gasproduktion der Mischung mit *Trifolium pratense* stark ab und wird von der Mischung mit *Lotus corniculatus* in der Gasbildungsrate überholt. Laut der statistischen Auswertung, die in Tabelle 8.7 im Anhang aufgeführt ist, ergeben sich folgende Sachverhalte. *Lolium perenne* in Reinsaat hat die größte Signifikanz von 99,9% zu der *Trifolium pratense* Mischung, eine etwas kleinere von 95% zu der *Lotus corniculatus* Mischung und eine von weniger als 95% zu der *Medicago sativa* Mischung. Somit wurde ein Unterschied zu den HZG festgestellt, bei denen die größte Signifikanz zwischen HZG und HZG mit *Lotus corniculatus* liegt. Nach Abb. 4.5.2 bildet auch hier die Mischung mit *Trifolium pratense* die höchste Gasproduktion pro Stunde, auch die Mischung mit *Lotus corniculatus* liegt in der Startphase wieder weit abgeschlagen von den restlichen Substraten. Ab dem achten Versuchstag jedoch bildet die Mischung mit *Trifolium pratense* geringere Gaswerte pro Stunde als die *Lotus corniculatus* Mischung.

Die Ergebnisse der HZG Mischungen und der *Lolium perenne* Mischungen stimmen in den Verhältnissen weitestgehend überein, jedoch sind die Ergebnisse der HZG Mischungen durchweg auf einem höheren Gasniveau.

4.6 HZG vs. *Lolium perenne*

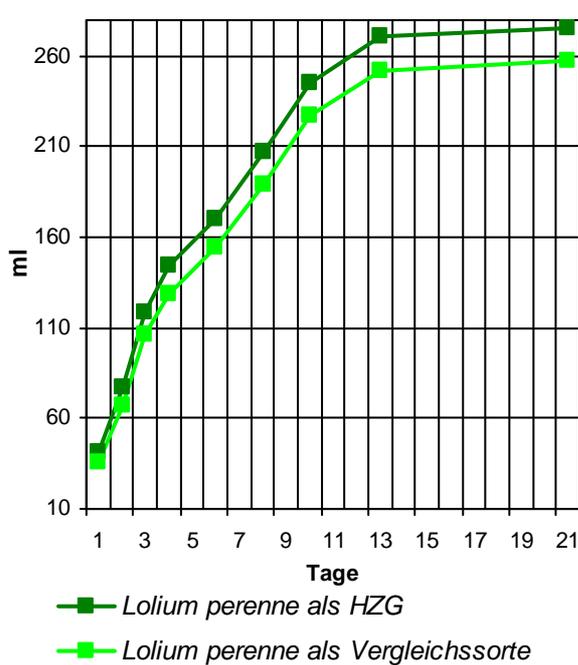


Abb. 4.6.1: kumulierte Gasbildung gesamt (HZG und L.p.), Mittelwerte

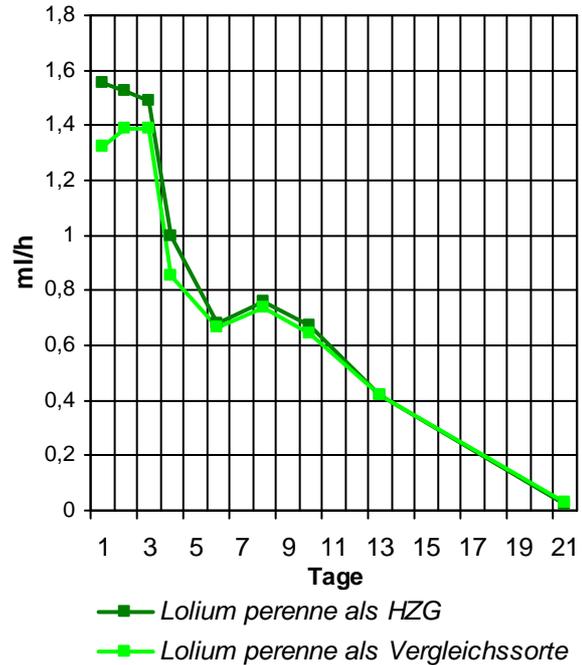


Abb. 4.6.2: Gasbildung pro Stunde (HZG und L.p.), Mittelwerte

Abbildung 4.6.1 stellt die Gasproduktionen des HZG und der Vergleichssorte *Lolium perenne* gegenüber. Auch hier entwickeln sich die Volumina erst ab dem vierten Versuchstag unterschiedlich. Die Vergleichssorte bleibt in ihrer Gasentwicklung stetig unter der des HZG. Im Endeffekt entwickelt das HZG 275,5 ml, die Vergleichssorte 258 ml Biogas. Tabelle 8.7 im Anhang zeigt in der Summe signifikante Unterschiede von über 95%. Abbildung 4.6.2 zeigt, dass das HZG zunächst deutlich überlegen ist, sind jedoch die gebildeten Volumina ab dem siebten Versuchstag nahezu angleichen. Dies erklärt die nicht-signifikanten Unterschiede an den unterschiedlichen Messtagen, die in Tabelle 8.7 im Anhang aufgeführt sind.

4.7 weitere Ergebnisse

Die zwei ungefüllten Kolbenprober zeigen keine Kolbenauslenkung. Die zwei Kolben mit dem unverdünnten Biogasschlamm zeigen nur an den ersten und den letzten zwei Messtagen etwas höhere Gaserträge.

5. Diskussion

5.1 Gasertrag und wasserlösliche Kohlenhydrate

Aus Kapitel 4.6 geht hervor, dass das HZG höhere Biogaserträge liefert als die Vergleichssorte. Somit scheint der züchterische Fortschritt der Gasausbeute zugute zu kommen. JÄNICKE (2005) bestätigt, dass die HZG im Mittel höhere Zuckergehalte aufweisen.

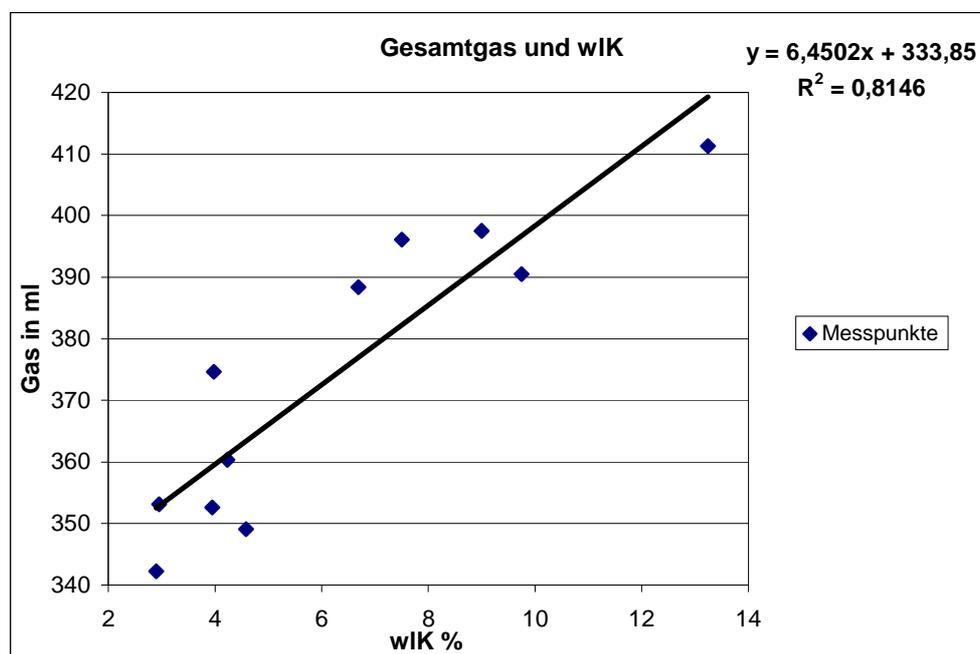


Abb. 5.1.1: Beziehung zwischen Gesamtgas und wasserlöslichen Kohlenhydraten

Abb. 5.1.1 stellt dar, dass eine starker Zusammenhang zwischen dem Gasertrag und dem Gehalt an wIK besteht. Das wäre eine Erklärungshypothese für die höhere Gasproduktion des HZG. Abb. 4.6.2 legt offen, dass dieser Mehrertrag nur auf der stärkeren Gasbildung in den ersten drei Tagen basiert. Dies lässt vermuten, dass die Mikroorganismen zuerst die schnell verwertbaren wIK verstoffwechseln, bevor die anderen Nährstoffe abgebaut werden. Es findet ein Maximum an Gasproduktion statt, die aber nach dem Aufbrauchen des erhöhten wIK-Gehalts auf das Niveau der Vergleichssorte abfällt.

Der Vorteil des erhöhten Kohlenhydratanteils ist auch in den Mischungen bemerkbar. Abb. 4.2.1 und Tabelle 8.3 im Anhang belegen dies. LASER (1999) spricht von abnehmenden Zuckergehalten der Gräser in Mischungen mit Leguminosen. Dies

erklärt die besseren Reinsaatergebnisse der Gräser im Vergleich zu den Mischungsergebnissen, vgl. Tabelle 8.3 im Anhang.

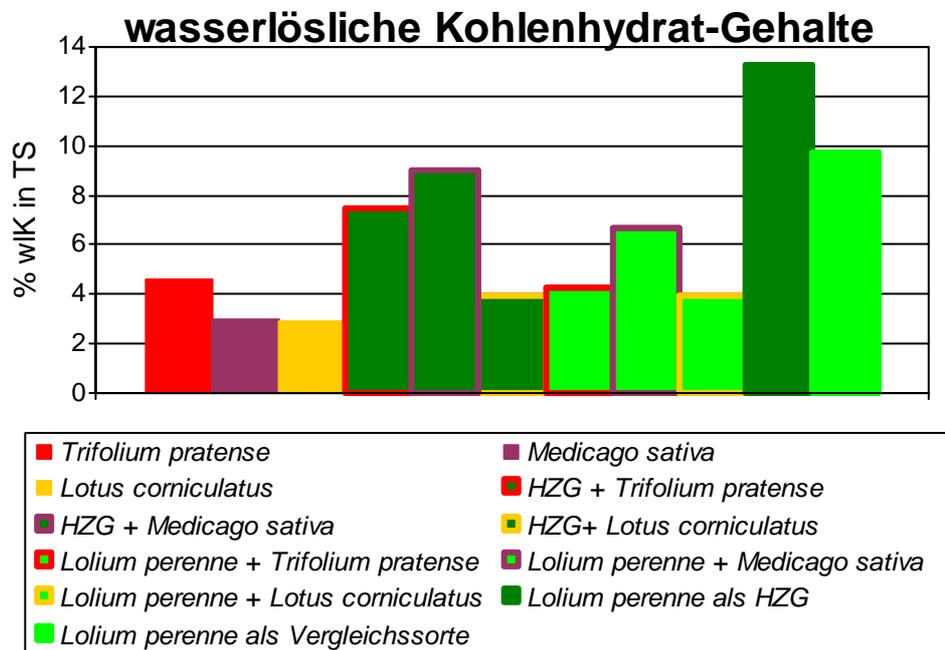


Abb. 5.1.2: wasserlösliche Kohlenhydrat-Gehalte der Versuchsvarianten

In Abb. 5.1.2 sind die unterschiedlichen wK-Gehalte der Versuchsvarianten dargestellt. Auch diese Abbildung unterstreicht die Ergebnisse von LASER (1999), denn Leguminosen allein sind arm an wK. Der mit Abstand höchste wK-Gehalt befindet sich in den Hochzuckergräsern in Reinsaat. Bemerkenswert ist, dass die *Lotus corniculatus* Mischungen die erhöhten wK-Gehalte der Gräser nur schlecht annehmen. Ein Grund hierfür könnten ein erhöhter *Lotus corniculatus* Anteil in den Aufwüchsen sein.

5.2 Gasertrag und Stickstoff-Gehalt der Aufwüchse

Während die Leguminosen in Reinsaat schlechte Ergebnisse liefern, profitieren sie im Bezug auf die Gasausbeute erheblich durch die Beimischung von Gräsern. Eine Erklärungshypothese dafür lässt sich über den Stickstoffgehalt anstellen. Generell enthalten Leguminosen aufgrund ihrer Fähigkeit Luftstickstoff zu binden einen im Vergleich zu Gräsern erhöhten Stickstoffgehalt. Im Mischbau von Leguminosen und Gräsern liegt der N-Gehalt der Gräser deutlich höher als der N-Gehalt von den Gräsern in Reinsaat. Der Grund hierfür liegt in der geringeren Konkurrenz um die Aufnahme des Stickstoffs während der Wachstumszeit, da die Leguminosen kaum

als Konkurrenten auftreten. Die dichten Wurzelwerke der Gräser zeichnen sich durch hohe Aneignungsfähigkeiten für Bodenstickstoff aus. Neben dem vorhandenen Bodenstickstoff nehmen sie auch den mineralisierten Luftstickstoff der Leguminosen auf. Bei geringen Grasanteilen kann der N-Gehalt deutlich über dem der Leguminosen liegen. Abb. 5.2.1 präsentiert die konkreten Gehalte der untersuchten Sorten. Zunächst bestätigt sie die Annahme der höheren N-Gehalte der Mischungen verglichen mit den Gras-Reinsaaten. Auch nimmt die N-Menge von *Trifolium pratense* in der Mischung durch die größere Verteilung ab, dagegen ist dies bei *Medicago sativa* und *Lotus corniculatus* nicht erkennbar.

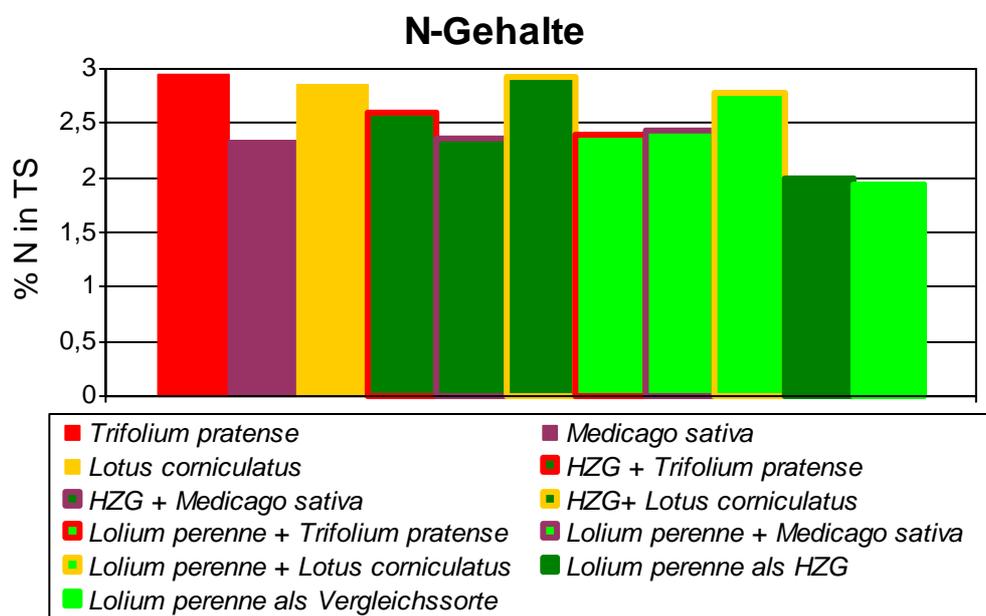


Abb. 5.2.1: N-Gehalte in der TS der untersuchten Varianten

Die wichtigste N-Speicherform stellen Proteine dar, die durchschnittlich rund 16 % Stickstoff enthalten (KIRCHGEßNER 1997). Mikroorganismen, die mit hohen Stickstofffrachten konfrontiert werden, können Probleme mit der vollständigen Verwertung bekommen. Nach RÖSCH et al. (2006) entstehen dabei Ammoniak und Ammonium in erhöhter Konzentration, die hemmend auf die Mikroorganismenaktivität wirken. Da Stickstoff ein essenzieller Nährstoff ist, müssen die Substrate aber auch über ein Mindestmaß verfügen. Eine Mischung aus stickstoffärmeren Gräsern und stickstoffreicheren Leguminosen scheint optimal.

Abb. 5.2.2 zeigt die Beziehung zwischen dem N-Gehalt und der Gesamtgasausbeute. Das Bestimmtheitsmaß $[R^2]$ zeigt, dass der N-Gehalt weniger stark mit dem Gasertrag zusammenhängt als der wK-Gehalt. Jedoch besteht der

Zusammenhang, dass die Varianten, die in Abb. 5.2.1 die höchsten N-Gehalte aufweisen, auch in Abb. 4.2.1 die niedrigsten Gasmengen in ihren Klassen produzieren. Es ist anzunehmen, dass Hemmwirkungen durch Ammoniak oder Ammonium erst ab einer bestimmten Stickstoff-Konzentrationsschwelle auftreten.

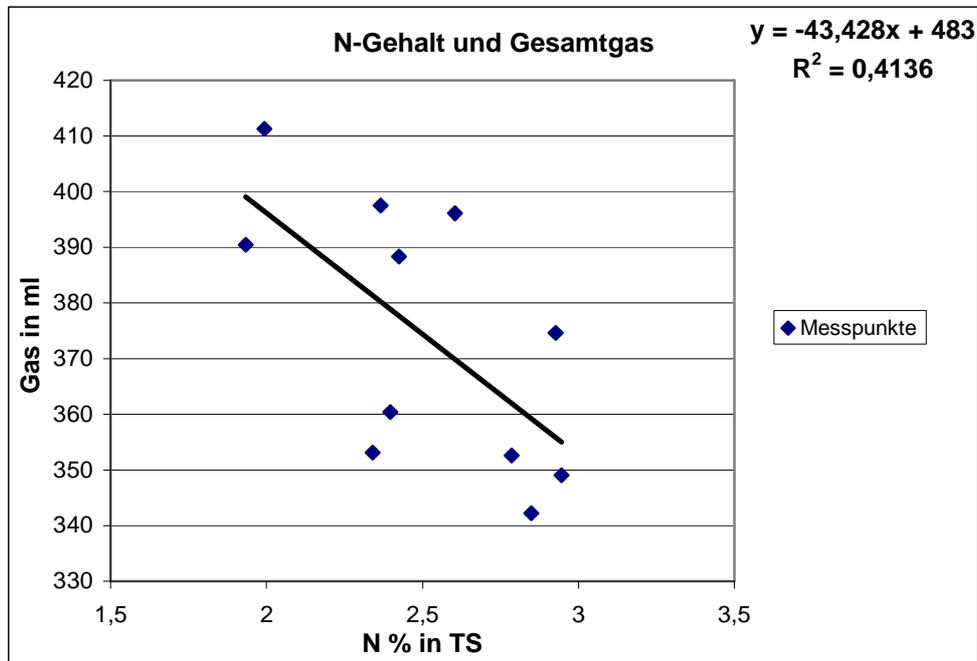


Abb. 5.2.2: Beziehung zwischen dem N-Gehalt der Aufwüchse und dem Gesamtgasertrag

5.3 wasserlösliche Kohlenhydrate und Stickstoff-Gehalt der Aufwüchse

Erklärungen für gute Gaserträge der HZG-Mischungen trotz höherer N-Gehalte könnten dadurch erklärt werden, dass erhöhte wLK-Konzentrationen die negativen Effekte des Stickstoffs etwas relativieren.

Aufgrund der wLK-Armut der Leguminosen erscheint eine Mischung mit Gräsern auch aus diesem Grunde vorteilhaft. Die Leguminosen versorgen die Gräser mit Stickstoff, die Gräser die Leguminosen mit wLK. Abb. 5.3.1 verdeutlicht dies. Die N-Gehalt-Abnahmen der Leguminosen in den Mischungen sind in dem Beispiel nicht zu erkennen. Dies liegt jedoch mit großer Wahrscheinlichkeit an den konkreten Bedingungen des Versuchsfeldes. Die Stickstoffversorgung ist vermutlich ausreichend, so dass eine N-Versorgung der Gräser durch die Leguminosen nicht erforderlich wurde.

Die Zunahme der wlk-Gehalte ist hingegen deutlich zu erkennen. Bis auf *Lotus corniculatus* sind die wlk-Gehalte in den HZG-Mischungen deutlich höher als in den Vergleichssortenmischungen.

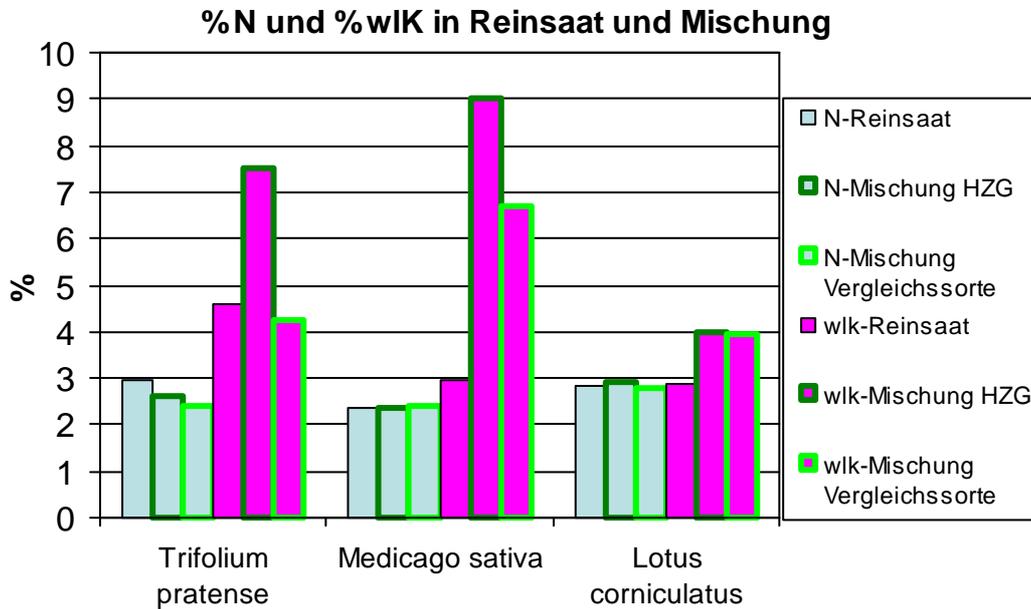


Abb. 5.3.1: N- und wlk-Gehalte der Leguminosen in Reinsaat und Mischung

Besonders im Bezug auf den Pflanzenertrag sind diese Effekte erkennbar, wie es Abb. 5.3.2 verdeutlicht.

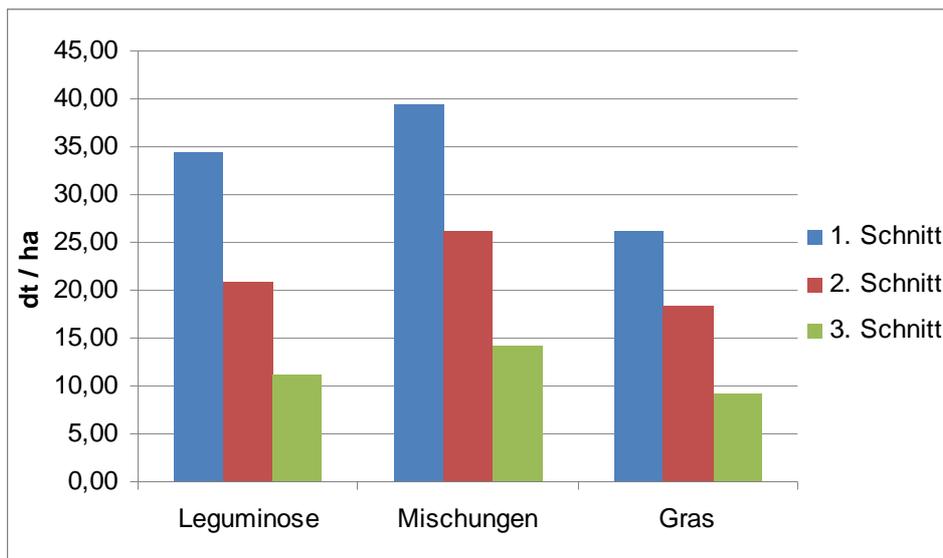


Abb. 5.3.2: Mischungseffekte auf den Ertrag

5.4 Verdaulichkeit und Gasertrag

Ein wichtiger Bestandteil dieser Arbeit ist die Ermittlung des Zusammenhangs von Verdaulichkeit und Biogasertrag. Abb. 5.4.1 zeigt ein Bestimmtheitsmaß von 0,72, das durch die durchgeführten Versuche kalkuliert werden konnte. Dies zeigt auf, dass die Verdaulichkeit als Annäherung für die Biogasausbeute herangezogen werden kann.

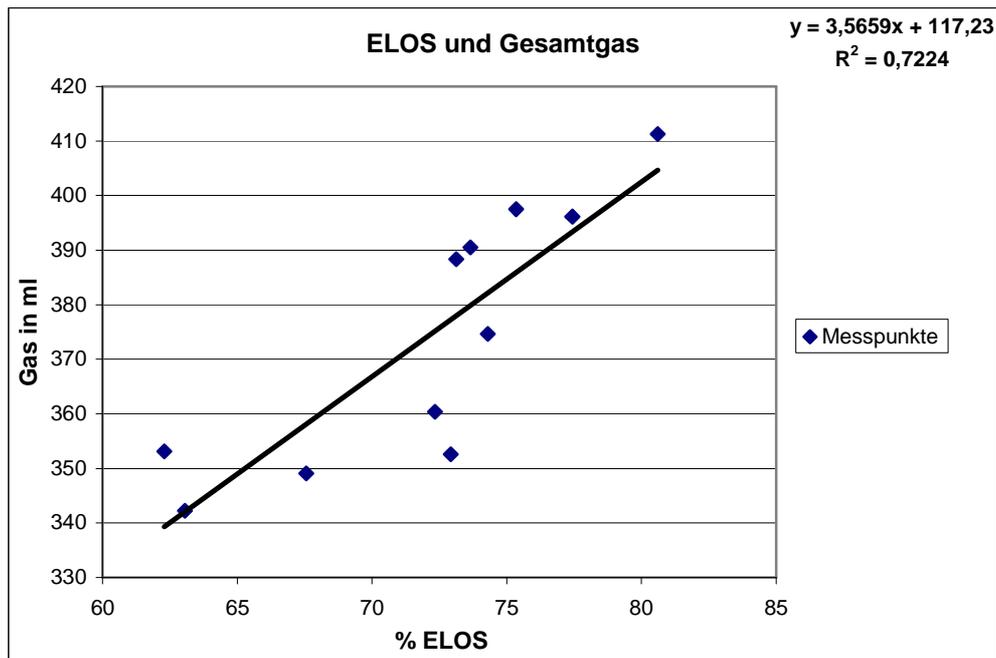


Abb. 5.4.1: Beziehung zwischen der enzymlöslichen organischen Substanz (ELOS) und dem Gas-ertrag

Abb. 5.5.1 präsentiert die Verdaulichkeiten der untersuchten Substrate. Das HZG zeigt in diesem Versuch die höchste, die Leguminosen zeigen die geringste Verdaulichkeit. Die Mischungen erreichen etwa gleiche Werte.

Wird ein Vergleich der Verdaulichkeit mit den Ergebnissen des Biogastests angestrebt, so ist es unerlässlich zu berücksichtigen, welche Methoden den Werten zugrunde lagen. Die Verdaulichkeit wurde durch das ELOS-Verfahren ermittelt, die Biogaserträge durch Kolbenfermentation mit Biogasschlamm, der direkt aus einer Biogasanlage entnommen wurde, vgl. Kapitel 3.2 und 3.3. Während ELOS einen rein enzymatischen Abbau bedeutet, wurden in dem Biogastest Mikroorganismen benutzt, die in genau dieser Zusammensetzung unter realen Bedingungen vorkommen.

5.5 Besonderheit des *Lotus corniculatus*

Lotus corniculatus zeigt keine wesentlich geringere Verdaulichkeit als die restlichen Substrate, jedoch zeigt er in den Biogastests immer geringere Gasentwicklungen. Dafür gibt es im ersten Moment zwei Erklärungshypothesen. Erstens enthält *Lotus corniculatus* erhöhte Gehalte an Lignin. Abhängig vom physiologischen Alter des Aufwuchses können hier beträchtliche Ligningehalte von 6 bis 10 % angenommen werden (LASER 1999). Diese sind sehr schwer abbaubar und somit sinkt bei erhöhtem Ligningehalt die Energiedichte. Lignin ist auch enzymatisch schwer abzubauen, das bedeutet, hohe Ligningehalte müssten auch die Verdaulichkeit beeinträchtigen. Laut Abb. 5.5.1 ist dies jedoch nicht der Fall. Als Grund dafür könnte angeführt werden, dass die Ligningehalte in den Substraten allgemein nicht besonders hoch sind und damit scheidet Lignin hier als entscheidender Hemmfaktor aus.

Als zweite Hypothese kommt der, im Vergleich zu den anderen getesteten Leguminosen, erhöhte Gehalt an Tanninen in Betracht. Diese sind pflanzliche Sekundärstoffe, die besonders in der Abwehr von Herbivoren ihre Verwendung finden, aber auch als antibiotisch wirksam gelten. Eine hohe Konzentration an Tanninen ist ebenfalls häufig assoziiert mit hoher Lignin-, geringer Rohprotein- und geringer *in-vitro* verdaubarer Trockenmassenkonzentration. Tannine wirken in hohen Konzentrationen besonders auf die Verdauung (GEBREHIWOT et al. 2002). Nach Abb. 5.5.1 haben Tannine keinen Einfluss auf den enzymatischen Abbau, jedoch ergeben die Varianten der tanninhaltigen Leguminose Hornklee im Kolbenfermentationsprozess die geringsten Biogasausbeuten. Somit ist ein Einfluss der Tannine in erhöhter Konzentration auf die Mikroorganismen und damit den Biogasertrag als wahrscheinlich anzusehen. Es sei darauf hingewiesen, dass auch in Futtermittelbewertungen negative Effekte antibiotisch wirksamer sekundärer Inhaltsstoffe in Futterpflanzen offenbar besser über *in-vitro* Gastests abgebildet werden als über enzymatische Methoden wie das ELOS-Verfahren (OPITZ v. BOBERFELD et al. 2003).

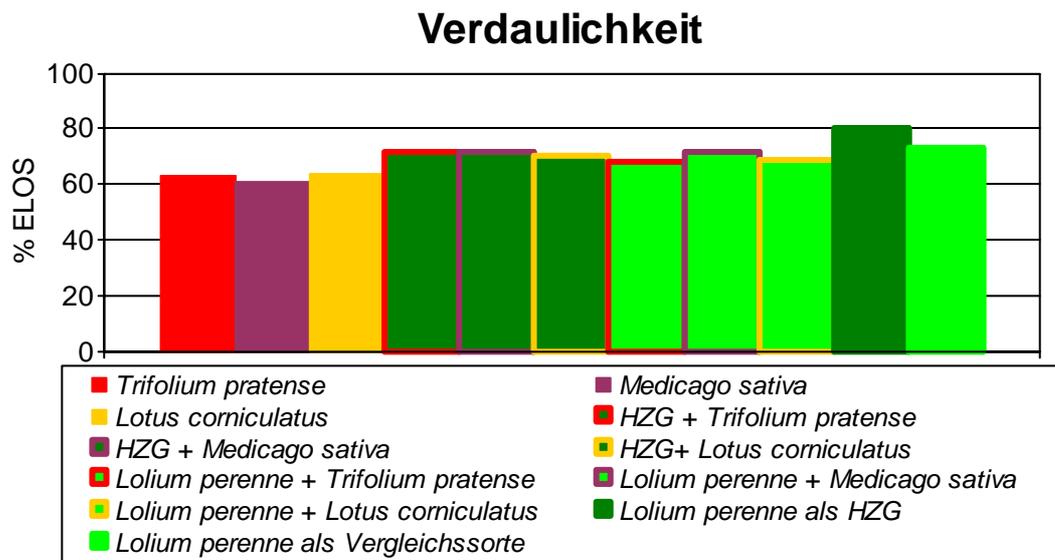


Abb. 5.5.1: Verdaulichkeit der untersuchten Substrate durch das ELOS-Verfahren

6. Zusammenfassung

Durch den wachsenden globalen Energiebedarf kam es in den letzten Jahren zu massiven Energiemais-Anbauflächensteigerungen, deren agronomische und ökologische Nachteile bisher zu wenig Beachtung fanden. Diese Arbeit beschäftigt sich mit der Eignung verschiedener Grünlandaufwüchse für die Verwertung in Biogasanlagen. Es wurden zwei Kolbenfermentationsversuche durchgeführt, die das Gärverhalten ausgewählter Substrate mit real existierenden Mikroorganismenzusammensetzungen erprobten.

Die Versuchssubstrate lieferte ein mehrjähriger Feldversuch auf der Versuchstation Gladbacherhof. Zur Verfügung standen *Trifolium pratense*, *Medicago sativa*, *Lotus corniculatus*, *Lolium perenne* in einer Hochzuckergrassorte (HZG) und *Lolium perenne* als normale Vergleichssorte. Diese wurden zum einen in Reinsaat und zum anderen in Mischsaat, im Verhältnis 50:50 von Gräsern und Leguminosen, getestet. Neben der Erprobung ausgewählter Substrate zur Biogaseignung sollte eine neue *in-vitro*-Methode zur Schätzung der Biogasproduktion pflanzlicher Substrate in Anlehnung an den Hohenheimer Futterwerttest erprobt werden. Die Ergebnisse lassen sich wie folgt zusammenfassen:

1. Die Methode verfügte über eine gute Wiederholbarkeit, lieferte nachvollziehbare Ergebnisse und war für eine erste Schätzung der Biogaserträge gut geeignet.
2. Die Ergebnisse zeigten einen maßgeblichen Zusammenhang der Gasausbeute mit dem Gehalt wasserlöslicher Kohlenhydrate (wlK). Ein Zusammenhang mit dem Stickstoffgehalt konnte auch gezeigt werden, jedoch geht von den wlK-Gehalten ein erheblich größerer Einfluss aus.
3. Stickstoff wirkte offenbar ab einer gewissen Konzentration (> 2,6 % in der TS) hemmend auf die Gasproduktion.
4. Es bestand ein starker Zusammenhang zwischen den ELOS- und Biogasversuchsergebnissen.
5. Die höchste Biogausausbeute erreichte die HZG Sorte in Reinsaat.
6. Als beste Mischungen stellten sich die der HZG-Sorte mit *Trifolium pratense* bzw. *Medicago sativa* heraus.

7. Die Mischungen des HZG ergaben durchweg höhere Gasausbeuten als die der Vergleichsorte.
8. Der Gasmehrertrag der HZG basierte auf einer deutlich erhöhten Produktion in den ersten drei Tagen. Vermutlich verstoffwechselten Mikroorganismen zuerst die schnell verwertbaren wlk, bevor andere Nährstoffe abgebaut wurden.
9. Die Gasproduktion aus HZG entsprach nach dem Aufbrauchen des erhöhten wlk-Gehalts dem Niveau der Vergleichssorte.
10. Leguminosen allein und in den meisten Mischungen waren arm an wlk.
11. *Lotus corniculatus* stellte sich sowohl in Reinsaat als auch in Mischung als das ungünstigste Substrat heraus.
12. Lignin ist unverdaulich und senkt die Biogasausbeute, dies war jedoch in diesen Versuchen von untergeordneter Bedeutung.
13. Es ist sehr wahrscheinlich, dass von Tanninen hemmende Wirkungen auf die Mikroorganismenaktivität ausgegangen sind.

7. Literaturverzeichnis

1. AMON, T., KRYVORUCHKO, V., AMON, B., MOITZI, G., BUGA, S., FISTAROL LYSON, D., HACKL, E., JEREMIC D., ZOLLITSCH W. und E. PÖTSCH 2003: Optimierung der Biogaserzeugung aus den Energiepflanzen Mais und Klee gras. Endbericht im Auftrag des Bundesministeriums für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt- und Wasserwirtschaft, Wien.
2. AMON, T., KRYVORUCHKO, V., AMON, B., BUGA, S., AMID, A., ZOLLITSCH, W., MAYER, K. und E. PÖTSCH 2004: Biogaserträge aus landwirtschaftlichen Gärgütern. 10. Alpenländisches Expertenforum, BAL Gumpenstein. S.1–6.
3. ANONYMUS, 1997: Methodenbuch Band III. Die chemische Untersuchung von Futtermitteln. 4. Ergänzungslieferung. Hrsg. u. Verl. VDLUFA, Darmstadt.
4. ANONYMUS, 2003: SPSS für Windows. Version 12.0 SPSS Software, München.
5. BEIMLER, M. und F. EICKMEYER, 2005: BEIMLER, M. und F. EICKMEYER, 2005: Hoch Zucker Gräser – Eine neue Sortengeneration für höchste Ansprüche an die Futterqualität. Referate und Poster zur 49. Jahrestagung AG Grünland und Futterbau, S. 107-110.
6. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, 2008: Gesetze / Verordnungen. URL: <http://www.umweltministerium.de/gesetze/verordnungen/doc/2676.php> (Stand: 29.9.2008).
7. EDELMANN, W., 2001: Biogaserzeugung und -nutzung. In: KALTSCHMITT, M. und HARTMANN, H. (Hrsg.): Energie aus Biomasse. Springer Verlag, Leipzig.
8. Fachagentur nachwachsende Rohstoffe (FNR), 2008: Hemmstoffe. URL: <http://www.fnr.de/cms35/Hemmstoffe.1665.0.html> (Stand: 29.9.2008).

-
9. GEBREHIWOT, L., BEUSELINCK P. R. und C. A. ROBERTS, 2002: Legumes - Seasonal variations in condensed tannin concentration of three *Lotus* species. Agron. J. 94, S. 1059-1065.
 10. HELFFRICH, D. und H. OECHSNER., 2003: Hohenheimer Biogasertragstest - Vergleich verschiedener Laborverfahren zur Vergärung von Biomasse. In: Agrartechn. Forsch. 9, Heft 3, S. 27-30.
 11. JÄNICKE, H., 2005: Hoch Zuckerreiches Gras auf einem nordostdeutschen Niedermoorstandort – erste Ergebnisse. Referate und Poster zur 49. Jahrestagung AG Grünland und Futterbau, S. 130.
 12. KIRCHGEßNER, M., 1997: Tierernährung, 10. neubearbeitete Auflage, Verlags-Union-Agrar, S. 41.
 13. LASER, H., 1999: Zur Leistung einschließlich Gäreignung von Arten des *Festuco-Cynosuretum* unter variierenden Bedingungen. In: Pflanzenbauwissenschaften, 3 (2), S. 88–93.
 14. OHLY, N., 2006: Verfahrenstechnische Untersuchungen zur Optimierung der Biogasgewinnung aus nachwachsenden Rohstoffen. Diss. TU Freiberg.
 15. OPITZ V. BOBERFELD, W., THEOBALD, P.C. und H. LASER., 2003: Prediction of digestibility and energy concentration of winter pasture forage and herbage of low-input grassland – a comparison of methods. Arch. Anim. Nutr. 57, 167-176.
 16. PROCHNOW, A., HEIERMANN, M., IDLER, C., LINKE, B., MÄHNERT, P. UND M. PLÖCHL 2007: Biogas vom Grünland: Potenziale und Erträge. In: Gas aus Gras und was noch? Schriftenreihe des Deutschen Grünlandverbandes, Berlin, H. 1/2007, S. 11-22.
 17. RÖSCH, C., RAAB, K., SKARKA, J. UND V. STELZER 2006: Energie aus dem Grünland – eine nachhaltige Entwicklung? Wissenschaftliche Berichte FZKA 7333, Forschungszentrum Karlsruhe.

-
18. TAWHEEL, H.Z., TAS, B.M., SMIT, H.J., ELGERSMA, A., DIJKSTRA, J. und S. TAMMINGA 2005: Effects of feeding perennial ryegrass with an elevated concentration of water-soluble carbohydrates on intake, rumen function and performance of dairy cows. – Anim. Feed Sci. Techn. **121** (3-4), S. 243-256
 19. YEMM, E.M. und A.J. WILLIS, 1954: The estimation of carbohydrates in plant extracts by anthrone. Biochem. J. 57, S. 85-97.
 20. ZSCHEISCHLER, J., ESTLER, M.C., GROß, F., BURKSTALLER, G., NEUMANN, H. und B. GEIßLER, 1984: Handbuch Mais, Anbau – Verwertung – Fütterung. 3. Auflage, DLG-Verlag Frankfurt (Main)

Anhangstabelle 8.1(a): Gesamtdaten zweiter Versuchsdurchlauf der Messtage (ml bzw. ml h⁻¹)

| Wdh | Variante | NettoVol 6.6. | 7.6. 27h | Bereinigt | Mittelwert | Mittelwert ber. | Mittelwert / h | Mittelwert / h ber. | 8.6. 23h | Bereinigt | Mittelwert | Mittelwert ber. | Mittelwert / h | Mittelwert / h ber. |
|--------|----------|---------------|----------|-----------|------------|-----------------|----------------|---------------------|----------|-----------|------------|-----------------|----------------|---------------------|
| 1 | 101 | 33 | 88,5 | 55,5 | 56,375 | 37,875 | 2,088 | 1,403 | 85,5 | 52,5 | 52,625 | 39,125 | 2,288 | 1,701 |
| 2 | | 35 | 93,5 | 58,5 | | | | | 89 | 54 | | | | |
| 3 | | 31 | 83,5 | 52,5 | | | | | 82 | 51 | | | | |
| 4 | | 31 | 90,0 | 59,0 | | | | | 84 | 53 | | | | |
| 1 | 102 | 35 | 96,0 | 61,0 | 55,75 | 37,250 | 2,065 | 1,380 | 93 | 58 | 55 | 41,5 | 2,391 | 1,804 |
| 2 | | 33 | 87,0 | 54,0 | | | | | 87 | 54 | | | | |
| 3 | | 31 | 85,0 | 54,0 | | | | | 85 | 54 | | | | |
| 4 | | 32 | 86,0 | 54,0 | | | | | 86 | 54 | | | | |
| 1 | 103 | 31 | 82,0 | 51,0 | 51 | 32,500 | 1,889 | 1,204 | 83 | 52 | 51,125 | 37,625 | 2,223 | 1,636 |
| 2 | | 33 | 87,0 | 54,0 | | | | | 85,5 | 52,5 | | | | |
| 3 | | 30 | 78,0 | 48,0 | | | | | 79 | 49 | | | | |
| 4 | | 31 | 82,0 | 51,0 | | | | | 82 | 51 | | | | |
| 1 | 113 | 33 | 92,0 | 59,0 | 59,25 | 40,750 | 2,194 | 1,509 | 87 | 54 | 55 | 41,5 | 2,391 | 1,804 |
| 2 | | 33 | 94,0 | 61,0 | | | | | 90 | 57 | | | | |
| 3 | | 32 | 90,0 | 58,0 | | | | | 86,5 | 54,5 | | | | |
| 4 | | 32 | 91,0 | 59,0 | | | | | 86,5 | 54,5 | | | | |
| 1 | 114 | 32 | 93,0 | 61,0 | 59 | 40,500 | 2,185 | 1,500 | 85 | 53 | 53 | 39,5 | 2,304 | 1,717 |
| 2 | | 32 | 90,0 | 58,0 | | | | | 85 | 53 | | | | |
| 3 | | 32 | 89,0 | 57,0 | | | | | 84 | 52 | | | | |
| 4 | | 33 | 93,0 | 60,0 | | | | | 87 | 54 | | | | |
| 1 | 115 | 36 | 69,5 | 33,5 | 30,125 | 11,625 | 1,116 | 0,431 | 95 | 59 | 52,25 | 38,75 | 2,272 | 1,685 |
| 2 | | 31 | 60,5 | 29,5 | | | | | 80 | 49 | | | | |
| 3 | | 30 | 58,5 | 28,5 | | | | | 80 | 50 | | | | |
| 4 | | 33 | 62,0 | 29,0 | | | | | 84 | 51 | | | | |
| 1 | 116 | 32 | 84,5 | 52,5 | 50,625 | 32,125 | 1,875 | 1,190 | 85 | 53 | 52,75 | 39,25 | 2,293 | 1,707 |
| 2 | | 33 | 82,0 | 49,0 | | | | | 85 | 52 | | | | |
| 3 | | 36 | 87,5 | 51,5 | | | | | 90 | 54 | | | | |
| 4 | | 31 | 80,5 | 49,5 | | | | | 83 | 52 | | | | |
| 1 | 117 | 32 | 92,0 | 60,0 | 55,75 | 37,250 | 2,065 | 1,380 | 84 | 52 | 50,625 | 37,125 | 2,201 | 1,614 |
| 2 | | 32 | 87,0 | 55,0 | | | | | 82,5 | 50,5 | | | | |
| 3 | | 31 | 84,0 | 53,0 | | | | | 82 | 51 | | | | |
| 4 | | 33 | 88,0 | 55,0 | | | | | 82 | 49 | | | | |
| 1 | 118 | 32 | 61,0 | 29,0 | 28,5 | 10,000 | 1,056 | 0,370 | 80 | 48 | 47 | 33,5 | 2,043 | 1,457 |
| 2 | | 31 | 62,0 | 31,0 | | | | | 81 | 50 | | | | |
| 3 | | 33 | 59,0 | 26,0 | | | | | 80 | 47 | | | | |
| 4 | | 31 | 59,0 | 28,0 | | | | | 74 | 43 | | | | |
| 1 | 120 | 31 | 90,0 | 59,0 | 60,375 | 41,875 | 2,236 | 1,551 | 79 | 48 | 48,5 | 35 | 2,109 | 1,522 |
| 2 | | 33 | 94,0 | 61,0 | | | | | 83 | 50 | | | | |
| 3 | | 31 | 93,0 | 62,0 | | | | | 79 | 48 | | | | |
| 4 | | 31 | 90,5 | 59,5 | | | | | 79 | 48 | | | | |
| 1 | 121 | 32 | 87,0 | 55,0 | 54,125 | 35,625 | 2,005 | 1,319 | 77 | 45 | 45,375 | 31,875 | 1,973 | 1,386 |
| 2 | | 35 | 86,0 | 51,0 | | | | | 81 | 46 | | | | |
| 3 | | 32 | 88,0 | 56,0 | | | | | 76,5 | 44,5 | | | | |
| 4 | | 30 | 84,5 | 54,5 | | | | | 76 | 46 | | | | |
| Leer 1 | | 30 | 49,0 | 19,0 | 18,5 | | 0,685 | | 44 | 14 | 13,5 | | | 0,587 |
| Leer 2 | | 30 | 48,0 | 18,0 | | | | | 43 | 13 | | | | |
| Leer 3 | konz | 30 | 68,0 | | | | | | 50 | | | | | |
| Leer 4 | konz | 30 | 66,0 | | | | | | 49 | | | | | |

Anhangstabelle 8.1(b): Gesamtdaten zweiter Versuchsdurchlauf der Messtage (ml bzw. ml h⁻¹)

| Wdh | Variante | NettoVol 9.6. | 9.6. 28h | Bereinigt | Mittelwert | Mittelwert ber. | Mittelwert / h | Mittelwert / h ber. | 10.6. 26h | Bereinigt | Mittelwert | Mittelwert ber. | Mittelwert / h | Mittelwert / h ber. |
|--------|----------|---------------|----------|-----------|------------|-----------------|----------------|---------------------|-----------|-----------|------------|-----------------|----------------|---------------------|
| 1 | 101 | 32 | 78 | 46 | 46 | 32,5 | 1,643 | 1,161 | 64 | 32 | 32,625 | 20,375 | 1,255 | 0,784 |
| 2 | | 34 | 82 | 48 | | | | | 67 | 33 | | | | |
| 3 | | 30 | 74 | 44 | | | | | 62,5 | 32,5 | | | | |
| 4 | | 30 | 76 | 46 | | | | | 63 | 33 | | | | |
| 1 | 102 | 34 | 86 | 52 | 48,25 | 34,75 | 1,723 | 1,241 | 65 | 31 | 29,125 | 16,875 | 1,120 | 0,649 |
| 2 | | 32 | 79 | 47 | | | | | 60 | 28 | | | | |
| 3 | | 30,5 | 77 | 46,5 | | | | | 59 | 28,5 | | | | |
| 4 | | 31,5 | 79 | 47,5 | | | | | 60,5 | 29 | | | | |
| 1 | 103 | 31 | 77 | 46 | 46,125 | 32,625 | 1,647 | 1,165 | 62 | 31 | 31 | 18,75 | 1,192 | 0,721 |
| 2 | | 32 | 80 | 48 | | | | | 63,5 | 31,5 | | | | |
| 3 | | 29 | 73 | 44 | | | | | 59 | 30 | | | | |
| 4 | | 30 | 76,5 | 46,5 | | | | | 61,5 | 31,5 | | | | |
| 1 | 113 | 32 | 85,5 | 53,5 | 54 | 40,5 | 1,929 | 1,446 | 71 | 39 | 38,375 | 26,125 | 1,476 | 1,005 |
| 2 | | 33 | 88 | 55 | | | | | 74 | 41 | | | | |
| 3 | | 31 | 84 | 53 | | | | | 65 | 34 | | | | |
| 4 | | 31,5 | 86 | 54,5 | | | | | 71 | 39,5 | | | | |
| 1 | 114 | 31 | 85,5 | 54,5 | 54,375 | 40,875 | 1,942 | 1,460 | 63 | 32 | 32,375 | 20,125 | 1,245 | 0,774 |
| 2 | | 31 | 85 | 54 | | | | | 63,5 | 32,5 | | | | |
| 3 | | 31 | 84,5 | 53,5 | | | | | 63 | 32 | | | | |
| 4 | | 31,5 | 87 | 55,5 | | | | | 64,5 | 33 | | | | |
| 1 | 115 | 35 | 95 | 60 | 51,875 | 38,375 | 1,853 | 1,371 | 79 | 44 | 43,375 | 31,125 | 1,668 | 1,197 |
| 2 | | 30 | 78 | 48 | | | | | 73 | 43 | | | | |
| 3 | | 29 | 78 | 49 | | | | | 73 | 44 | | | | |
| 4 | | 32 | 82,5 | 50,5 | | | | | 74,5 | 42,5 | | | | |
| 1 | 116 | 31 | 80,5 | 49,5 | 49,375 | 35,875 | 1,763 | 1,281 | 69 | 38 | 38,125 | 25,875 | 1,466 | 0,995 |
| 2 | | 32 | 81 | 49 | | | | | 70 | 38 | | | | |
| 3 | | 35 | 86 | 51 | | | | | 74 | 39 | | | | |
| 4 | | 30 | 78 | 48 | | | | | 67,5 | 37,5 | | | | |
| 1 | 117 | 31 | 85 | 54 | 53,125 | 39,625 | 1,897 | 1,415 | 63,5 | 32,5 | 31,5 | 19,25 | 1,212 | 0,740 |
| 2 | | 31 | 84 | 53 | | | | | 62 | 31 | | | | |
| 3 | | 30 | 82,5 | 52,5 | | | | | 61 | 31 | | | | |
| 4 | | 30 | 83 | 53 | | | | | 61,5 | 31,5 | | | | |
| 1 | 118 | 31 | 81,5 | 50,5 | 50,125 | 36,625 | 1,790 | 1,308 | 76,5 | 45,5 | 44,375 | 32,125 | 1,707 | 1,236 |
| 2 | | 30 | 83 | 53 | | | | | 75 | 45 | | | | |
| 3 | | 31,5 | 82 | 50,5 | | | | | 75 | 43,5 | | | | |
| 4 | | 30 | 76,5 | 46,5 | | | | | 73,5 | 43,5 | | | | |
| 1 | 120 | 30 | 85 | 55 | 55,125 | 41,625 | 1,969 | 1,487 | 69 | 39 | 38,25 | 26 | 1,471 | 1,000 |
| 2 | | 32 | 88 | 56 | | | | | 69,5 | 37,5 | | | | |
| 3 | | 30 | 85,5 | 55,5 | | | | | 69 | 39 | | | | |
| 4 | | 30 | 84 | 54 | | | | | 67,5 | 37,5 | | | | |
| 1 | 121 | 30,5 | 82 | 51,5 | 52,375 | 38,875 | 1,871 | 1,388 | 65 | 34,5 | 34,5 | 22,25 | 1,327 | 0,856 |
| 2 | | 34 | 87 | 53 | | | | | 67,5 | 33,5 | | | | |
| 3 | | 30 | 82 | 52 | | | | | 64,5 | 34,5 | | | | |
| 4 | | 29 | 82 | 53 | | | | | 64,5 | 35,5 | | | | |
| Leer 1 | | | 44 | 14 | 13,5 | | 0,482 | | 43 | 13 | 12,25 | | 0,471 | |
| Leer 2 | | | 43 | 13 | | | | | 41,5 | 11,5 | | | | |
| Leer 3 | | konz | 42 | | | | | | 40 | | | | | |
| Leer 4 | | konz | 41 | | | | | | 41 | | | | | |

Anhangstabelle 8.1(c): Gesamtdaten zweiter Versuchsdurchlauf der Messtage (ml bzw. ml h⁻¹)

| Wdh | Variante | 12.6. 38h | Bereinigt | Mittelwert | Mittelwert ber. | Mittelwert / h | Mittelwert / h ber. | 14.6. 48h | Bereinigt | Mittelwert | Mittelwert ber. | Mittelwert / h | Mittelwert / h ber. |
|--------|----------|-----------|-----------|------------|-----------------|----------------|---------------------|-----------|-----------|------------|-----------------|----------------|---------------------|
| 1 | 101 | 65 | 33 | 34,125 | 19,375 | 0,898 | 0,510 | 71 | 39 | 39,5 | 25,25 | 0,823 | 0,526 |
| 2 | | 70 | 36 | | | | | 75 | 41 | | | | |
| 3 | | 63 | 33 | | | | | 68 | 38 | | | | |
| 4 | | 64,5 | 34,5 | | | | | 70 | 40 | | | | |
| 1 | 102 | 70 | 36 | 33,25 | 18,5 | 0,875 | 0,487 | 75 | 41 | 38,5 | 24,25 | 0,802 | 0,505 |
| 2 | | 64 | 32 | | | | | 70 | 38 | | | | |
| 3 | | 63 | 32,5 | | | | | 68 | 37,5 | | | | |
| 4 | | 64 | 32,5 | | | | | 69 | 37,5 | | | | |
| 1 | 103 | 60,5 | 29,5 | 30 | 15,25 | 0,789 | 0,401 | 68 | 37 | 37,5 | 23,25 | 0,781 | 0,484 |
| 2 | | 64 | 32 | | | | | 70,5 | 38,5 | | | | |
| 3 | | 57 | 28 | | | | | 65 | 36 | | | | |
| 4 | | 60,5 | 30,5 | | | | | 68,5 | 38,5 | | | | |
| 1 | 113 | 73,5 | 41,5 | 41,75 | 27 | 1,099 | 0,711 | 82 | 50 | 49,5 | 35,25 | 1,031 | 0,734 |
| 2 | | 75 | 42 | | | | | 83 | 50 | | | | |
| 3 | | 72 | 41 | | | | | 80,5 | 49,5 | | | | |
| 4 | | 74 | 42,5 | | | | | 80 | 48,5 | | | | |
| 1 | 114 | 70 | 39 | 38,125 | 23,375 | 1,003 | 0,615 | 80,5 | 49,5 | 47,875 | 33,625 | 0,997 | 0,701 |
| 2 | | 69 | 38 | | | | | 78,5 | 47,5 | | | | |
| 3 | | 68 | 37 | | | | | 77 | 46 | | | | |
| 4 | | 70 | 38,5 | | | | | 80 | 48,5 | | | | |
| 1 | 115 | 75 | 40 | 37,375 | 22,625 | 0,984 | 0,595 | 86,5 | 51,5 | 44,375 | 30,125 | 0,924 | 0,628 |
| 2 | | 66,5 | 36,5 | | | | | 72,5 | 42,5 | | | | |
| 3 | | 67 | 38 | | | | | 70,5 | 41,5 | | | | |
| 4 | | 67 | 35 | | | | | 74 | 42 | | | | |
| 1 | 116 | 70 | 39 | 39,375 | 24,625 | 1,036 | 0,648 | 73,5 | 42,5 | 43,25 | 29 | 0,901 | 0,604 |
| 2 | | 71 | 39 | | | | | 75 | 43 | | | | |
| 3 | | 76 | 41 | | | | | 79,5 | 44,5 | | | | |
| 4 | | 68,5 | 38,5 | | | | | 73 | 43 | | | | |
| 1 | 117 | 70,5 | 39,5 | 38,25 | 23,5 | 1,007 | 0,618 | 81 | 50 | 48,5 | 34,25 | 1,010 | 0,714 |
| 2 | | 69 | 38 | | | | | 79 | 48 | | | | |
| 3 | | 67 | 37 | | | | | 78 | 48 | | | | |
| 4 | | 68,5 | 38,5 | | | | | 78 | 48 | | | | |
| 1 | 118 | 67 | 36 | 35,875 | 21,125 | 0,944 | 0,556 | 76 | 45 | 44,25 | 30 | 0,922 | 0,625 |
| 2 | | 67 | 37 | | | | | 77 | 47 | | | | |
| 3 | | 67 | 35,5 | | | | | 75 | 43,5 | | | | |
| 4 | | 65 | 35 | | | | | 71,5 | 41,5 | | | | |
| 1 | 120 | 70 | 40 | 40,5 | 25,75 | 1,066 | 0,678 | 80 | 50 | 50,625 | 36,375 | 1,055 | 0,758 |
| 2 | | 73 | 41 | | | | | 82 | 50 | | | | |
| 3 | | 71 | 41 | | | | | 81,5 | 51,5 | | | | |
| 4 | | 70 | 40 | | | | | 81 | 51 | | | | |
| 1 | 121 | 70,5 | 40 | 40,125 | 25,375 | 1,056 | 0,668 | 81 | 50,5 | 49,625 | 35,375 | 1,034 | 0,737 |
| 2 | | 73,5 | 39,5 | | | | | 82 | 48 | | | | |
| 3 | | 70 | 40 | | | | | 80 | 50 | | | | |
| 4 | | 70 | 41 | | | | | 79 | 50 | | | | |
| Leer 1 | | 45,5 | 15,5 | 14,75 | | 0,388 | | 45 | 15 | 14,25 | | 0,297 | |
| Leer 2 | | 44 | 14 | | | | | 43,5 | 13,5 | | | | |
| Leer 3 | konz | 44 | | | | | | n.n. | | | | | |
| Leer 4 | konz | 44 | | | | | | 51 | | | | | |

Anhangstabelle 8.1(d): Gesamtdaten zweiter Versuchsdurchlauf der Messtage (ml bzw. ml h⁻¹)

| Wdh | Variante | NettoVol 16.6. | 16.6 58h | Bereinigt | Mittelwert | Mittelwert ber. | Mittelwert / h | Mittelwert / h ber. | 19.6. 60h | Bereinigt | Mittelwert | Mittelwert ber. | Mittelwert / h | Mittelwert / h ber. |
|--------|----------|----------------|----------|-----------|------------|-----------------|----------------|---------------------|-----------|-----------|------------|-----------------|----------------|---------------------|
| 1 | 101 | 31 | 70,5 | 39,5 | 38 | 25,5 | 0,655 | 0,440 | 54,5 | 23,5 | 21 | 11 | 0,350 | 0,183 |
| 2 | | 33 | 72 | 39 | | | | | 52,5 | 19,5 | | | | |
| 3 | | 30 | 66 | 36 | | | | | 51,5 | 21,5 | | | | |
| 4 | | 30 | 67,5 | 37,5 | | | | | 49,5 | 19,5 | | | | |
| 1 | 102 | 34 | 72 | 38 | 36,875 | 24,375 | 0,636 | 0,420 | 60 | 26 | 22,875 | 12,875 | 0,381 | 0,215 |
| 2 | | 31,5 | 69 | 37,5 | | | | | 55 | 23,5 | | | | |
| 3 | | 30 | 66 | 36 | | | | | 50 | 20 | | | | |
| 4 | | 31 | 67 | 36 | | | | | 53 | 22 | | | | |
| 1 | 103 | 30 | 67,5 | 37,5 | 38,75 | 26,25 | 0,668 | 0,453 | 56 | 26 | 26,625 | 16,625 | 0,444 | 0,277 |
| 2 | | 32 | 71 | 39 | | | | | 59 | 27 | | | | |
| 3 | | 28,5 | 67 | 38,5 | | | | | 57 | 28,5 | | | | |
| 4 | | 29 | 69 | 40 | | | | | 54 | 25 | | | | |
| 1 | 113 | 30 | 73 | 43 | 43,375 | 30,875 | 0,748 | 0,532 | 52 | 22 | 23 | 13 | 0,383 | 0,217 |
| 2 | | 32 | 75 | 43 | | | | | 55 | 23 | | | | |
| 3 | | 30 | 75 | 45 | | | | | 55 | 25 | | | | |
| 4 | | 31 | 73,5 | 42,5 | | | | | 53 | 22 | | | | |
| 1 | 114 | 30 | 80 | 50 | 49,125 | 36,625 | 0,847 | 0,631 | 63 | 33 | 32,375 | 22,375 | 0,540 | 0,373 |
| 2 | | 30 | 80 | 50 | | | | | 63 | 33 | | | | |
| 3 | | 30 | 77 | 47 | | | | | 62,5 | 32,5 | | | | |
| 4 | | 31 | 80,5 | 49,5 | | | | | 62 | 31 | | | | |
| 1 | 115 | 34,5 | 82,5 | 48 | 50 | 37,5 | 0,862 | 0,647 | 62,5 | 28 | 34,25 | 24,25 | 0,571 | 0,404 |
| 2 | | 29 | 79,5 | 50,5 | | | | | 68 | 39 | | | | |
| 3 | | 29 | 81 | 52 | | | | | 69 | 40 | | | | |
| 4 | | 30 | 79,5 | 49,5 | | | | | 60 | 30 | | | | |
| 1 | 116 | 30 | 68 | 38 | 38,25 | 25,75 | 0,659 | 0,444 | 49 | 19 | 19 | 9 | 0,317 | 0,150 |
| 2 | | 31 | 70 | 39 | | | | | 50,5 | 19,5 | | | | |
| 3 | | 34,5 | 73 | 38,5 | | | | | 54 | 19,5 | | | | |
| 4 | | 29 | 66,5 | 37,5 | | | | | 47 | 18 | | | | |
| 1 | 117 | 30 | 81 | 51 | 50,25 | 37,75 | 0,866 | 0,651 | 60,5 | 30,5 | 32,25 | 22,25 | 0,538 | 0,371 |
| 2 | | 30 | 80 | 50 | | | | | 60 | 30 | | | | |
| 3 | | 29 | 80 | 51 | | | | | 63,5 | 34,5 | | | | |
| 4 | | 29 | 78 | 49 | | | | | 63 | 34 | | | | |
| 1 | 118 | 30 | 85 | 55 | 53,625 | 41,125 | 0,925 | 0,709 | 71 | 41 | 39,875 | 29,875 | 0,665 | 0,498 |
| 2 | | 30 | 83 | 53 | | | | | 67,5 | 37,5 | | | | |
| 3 | | 31 | 85 | 54 | | | | | 71 | 40 | | | | |
| 4 | | 29 | 81,5 | 52,5 | | | | | 70 | 41 | | | | |
| 1 | 120 | 29 | 79,5 | 50,5 | 51,625 | 39,125 | 0,890 | 0,675 | 65 | 36 | 35,125 | 25,125 | 0,585 | 0,419 |
| 2 | | 26,5 | 81 | 54,5 | | | | | 65 | 38,5 | | | | |
| 3 | | 29 | 80 | 51 | | | | | 62 | 33 | | | | |
| 4 | | 28 | 78,5 | 50,5 | | | | | 61 | 33 | | | | |
| 1 | 121 | 30 | 79,5 | 49,5 | 50 | 37,5 | 0,862 | 0,647 | 65,5 | 35,5 | 35,25 | 25,25 | 0,588 | 0,421 |
| 2 | | 32 | 85 | 53 | | | | | 70 | 38 | | | | |
| 3 | | 29,5 | 80 | 50,5 | | | | | 65 | 35,5 | | | | |
| 4 | | 29 | 76 | 47 | | | | | 61 | 32 | | | | |
| Leer 1 | | 30 | 43 | 13 | 12,5 | | 0,216 | | 40 | 10 | 10 | | 0,167 | |
| Leer 2 | | 29 | 41 | 12 | | | | | 39 | 10 | | | | |
| Leer 3 | konz | 26 | 50 | | | | | | 48 | | | | | |
| Leer 4 | konz | 30 | 57 | | | | | | 55 | | | | | |

Anhangstabelle 8.1(e): Gesamtdaten zweiter Versuchsdurchlauf der Messtage (ml bzw. ml h⁻¹)

Anhangstabelle 8.2: Vorbereitung Versuchsdurchlauf

| Wdh | Variante | 27.6. 194h | Bereinigt | Mittelwert | Mittelwert ber. | Mittelwert / h | Mittelwert / h ber. |
|--------|----------|------------|-----------|------------|-----------------|----------------|---------------------|
| 1 | 101 | 59 | 28 | 28,833 | 2,333 | 0,149 | 0,012 |
| 2 | | 62,5 | 29,5 | | | | |
| 3 | | 59 | 29 | | | | |
| 4 | | 39 offen | 9 | | | | |
| 1 | 102 | 66 | 32 | 33,500 | 7,000 | 0,173 | 0,036 |
| 2 | | 65,5 | 34 | | | | |
| 3 | | 63 | 33 | | | | |
| 4 | | 66 | 35 | | | | |
| 1 | 103 | 60,5 | 30,5 | 30,125 | 3,625 | 0,155 | 0,019 |
| 2 | | 63 | 31 | | | | |
| 3 | | 57 | 28,5 | | | | |
| 4 | | 59,5 | 30,5 | | | | |
| 1 | 113 | 66,5 | 36,5 | 31,875 | 5,375 | 0,164 | 0,028 |
| 2 | | 66 | 34 | | | | |
| 3 | | 58 | 28 | | | | |
| 4 | | 60 | 29 | | | | |
| 1 | 114 | 59 | 29 | 31,250 | 4,750 | 0,161 | 0,024 |
| 2 | | 67 | 37 | | | | |
| 3 | | 60 | 30 | | | | |
| 4 | | 60 | 29 | | | | |
| 1 | 115 | 69 | 34,5 | 31,000 | 4,500 | 0,160 | 0,023 |
| 2 | | 61 | 32 | | | | |
| 3 | | 60,5 | 31,5 | | | | |
| 4 | | 56 | 26 | | | | |
| 1 | 116 | 59 | 29 | 29,625 | 3,125 | 0,153 | 0,016 |
| 2 | | 55 | 24 | | | | |
| 3 | | 68 | 33,5 | | | | |
| 4 | | 61 | 32 | | | | |
| 1 | 117 | 61 | 31 | 28,125 | 1,625 | 0,145 | 0,008 |
| 2 | | 50,5 | 20,5 | | | | |
| 3 | | 59 | 30 | | | | |
| 4 | | 60 | 31 | | | | |
| 1 | 118 | 63 | 33 | 32,250 | 5,750 | 0,166 | 0,030 |
| 2 | | 60 | 30 | | | | |
| 3 | | 63 | 32 | | | | |
| 4 | | 63 | 34 | | | | |
| 1 | 120 | 58 | 29 | 31,167 | 4,667 | 0,161 | 0,024 |
| 2 | | 63 | 36,5 | | | | |
| 3 | | 57 | 28 | | | | |
| 4 | | 47 offen | 19 | | | | |
| 1 | 121 | 61 | 31 | 32,500 | 6,000 | 0,168 | 0,031 |
| 2 | | 68 | 36 | | | | |
| 3 | | 62 | 32,5 | | | | |
| 4 | | 59,5 | 30,5 | | | | |
| Leer 1 | | 57 | 27 | 26,500 | | 0,137 | |
| Leer 2 | | 55 | 26 | | | | |
| Leer 3 | konz | 63 | | | | | |
| Leer 4 | konz | 74 | | | | | |

| Wdh | Variante | Gewicht [g] | EinfüllNr |
|--------|----------|-------------|-----------|
| 1 | 101 | 0.5001 | 38 |
| 2 | | 0.5000 | 30 |
| 3 | | 0.5000 | 46 |
| 4 | | 0.4999 | 11 |
| 1 | 102 | 0.5000 | 12 |
| 2 | | 0.5000 | 34 |
| 3 | | 0.5000 | 32 |
| 4 | | 0.5001 | 29 |
| 1 | 103 | 0.5000 | 21 |
| 2 | | 0.5000 | 24 |
| 3 | | 0.5001 | 41 |
| 4 | | 0.5001 | 9 |
| 1 | 113 | 0.5000 | 2 |
| 2 | | 0.5001 | 23 |
| 3 | | 0.5001 | 13 |
| 4 | | 0.5001 | 22 |
| 1 | 114 | 0.4999 | 8 |
| 2 | | 0.5001 | 33 |
| 3 | | 0.4999 | 40 |
| 4 | | 0.5000 | 28 |
| 1 | 115 | 0.5001 | 19 |
| 2 | | 0.4999 | 4 |
| 3 | | 0.5000 | 18 |
| 4 | | 0.5000 | 17 |
| 1 | 116 | 0.4999 | 25 |
| 2 | | 0.5000 | 44 |
| 3 | | 0.5000 | 39 |
| 4 | | 0.5000 | 15 |
| 1 | 117 | 0.4999 | 3 |
| 2 | | 0.5000 | 37 |
| 3 | | 0.5000 | 36 |
| 4 | | 0.5001 | 27 |
| 1 | 118 | 0.5001 | 5 |
| 2 | | 0.5000 | 14 |
| 3 | | 0.4999 | 43 |
| 4 | | 0.4999 | 20 |
| 1 | 120 | 0.5000 | 35 |
| 2 | | 0.5001 | 31 |
| 3 | | 0.4999 | 16 |
| 4 | | 0.5000 | 45 |
| 1 | 121 | 0.5000 | 10 |
| 2 | | 0.5000 | 42 |
| 3 | | 0.5000 | 1 |
| 4 | | 0.5001 | 6 |
| Leer 1 | | | 7 |
| Leer 2 | | | 26 |
| Leer 3 | konz | | |
| Leer 4 | konz | | |

Anhangstabelle 8.3: Summe bereinigter Mittelwerte pro Stunde der 9 Messtage

| Substrat | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
|---------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| Trifolium pratense | 1,402777778 | 3,103864734 | 4,26457902 | 5,048232866 | 5,558101287 | 6,084142954 | 6,523798126 | 6,70713146 | 6,719158951 |
| Medicago sativa | 1,37962963 | 3,183977456 | 4,425048884 | 5,074087346 | 5,560929451 | 6,066137784 | 6,486396405 | 6,700979738 | 6,737062213 |
| Lotus corniculatus | 1,203703704 | 2,839573269 | 4,00475184 | 4,725905687 | 5,127221476 | 5,611596476 | 6,064182683 | 6,341266016 | 6,359951583 |
| HZG+Trifolium prat. | 1,509259259 | 3,313607085 | 4,760035657 | 5,764843349 | 6,475369665 | 7,209744665 | 7,742072251 | 7,958738918 | 7,986445103 |
| HZG+Medicago sat. | 1,5 | 3,217391304 | 4,677212733 | 5,451251194 | 6,066382773 | 6,766903607 | 7,398369124 | 7,771285791 | 7,795770327 |
| HZG+Lotus corn. | 0,430555556 | 2,115338164 | 3,485873879 | 4,682989263 | 5,278384 | 5,905988167 | 6,552539891 | 6,956706557 | 6,979902434 |
| Lolium p.+Trifolium prat. | 1,189814815 | 2,896336554 | 4,177586554 | 5,172778862 | 5,820805177 | 6,424971844 | 6,868937361 | 7,018937361 | 7,035045609 |
| Lolium p.+Medicago sat. | 1,37962963 | 2,993760064 | 4,408938636 | 5,149323251 | 5,767744304 | 6,481285971 | 7,132148039 | 7,502981373 | 7,511357661 |
| Lolium p.+Lotus corn. | 0,37037037 | 1,82689211 | 3,134927824 | 4,370504747 | 4,926425799 | 5,551425799 | 6,260477524 | 6,75839419 | 6,788033366 |
| HZG | 1,550925926 | 3,072665056 | 4,559272199 | 5,559272199 | 6,236903778 | 6,994716278 | 7,669285244 | 8,088035244 | 8,112090227 |
| Lolium perenne | 1,319444444 | 2,70531401 | 4,093706867 | 4,949476098 | 5,617239255 | 6,354218422 | 7,000770146 | 7,42160348 | 7,452531315 |

Anhangstabelle 8.4: Summe bereinigter Mittelwerte der 9 Messtage

| Substrat | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
|---------------------------|--------|--------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|-------------|
| Trifolium pratense | 37,875 | 77 | 109,5 | 129,875 | 149,25 | 174,5 | 200 | 211 | 213,3333333 |
| Medicago sativa | 37,25 | 78,75 | 113,5 | 130,375 | 148,875 | 173,125 | 197,5 | 210,375 | 217,375 |
| Lotus corniculatus | 32,5 | 70,125 | 102,75 | 121,5 | 136,75 | 160 | 186,25 | 202,875 | 206,5 |
| HZG+Trifolium prat. | 40,75 | 82,25 | 122,75 | 148,875 | 175,875 | 211,125 | 242 | 255 | 260,375 |
| HZG+Medicago sat. | 40,5 | 80 | 120,875 | 141 | 164,375 | 198 | 234,625 | 257 | 261,75 |
| HZG+Lotus corn. | 11,625 | 50,375 | 88,75 | 119,875 | 142,5 | 172,625 | 210,125 | 234,375 | 238,875 |
| Lolium p.+Trifolium prat. | 32,125 | 71,375 | 107,25 | 133,125 | 157,75 | 186,75 | 212,5 | 221,5 | 224,625 |
| Lolium p.+Medicago sat. | 37,25 | 74,375 | 114 | 133,25 | 156,75 | 191 | 228,75 | 251 | 252,625 |
| Lolium p.+Lotus corn. | 10 | 43,5 | 80,125 | 112,25 | 133,375 | 163,375 | 204,5 | 234,375 | 240,125 |
| HZG | 41,875 | 76,875 | 118,5 | 144,5 | 170,25 | 206,625 | 245,75 | 270,875 | 275,5416667 |
| Lolium perenne | 35,625 | 67,5 | 106,375 | 128,625 | 154 | 189,375 | 226,875 | 252,125 | 258,125 |

Anhangstabelle 8.5: Korrelationen

| | | Korrelationen | | | | |
|-------------|--------------------------|---------------|-----------|-----------|-----------|-------------|
| | | Gesamtgas | N | C_N | wKFrish | ELOS frisch |
| Gesamtgas | Korrelation nach Pearson | 1 | -,643(*) | ,627(*) | ,903(**) | ,850(**) |
| | Signifikanz (2-seitig) | | ,033 | ,039 | ,000 | ,001 |
| | N | 11 | 11 | 11 | 11 | 11 |
| N | Korrelation nach Pearson | -,643(*) | 1 | -,985(**) | -,740(**) | -,384 |
| | Signifikanz (2-seitig) | ,033 | | ,000 | ,009 | ,243 |
| | N | 11 | 11 | 11 | 11 | 11 |
| C_N | Korrelation nach Pearson | ,627(*) | -,985(**) | 1 | ,753(**) | ,372 |
| | Signifikanz (2-seitig) | ,039 | ,000 | | ,008 | ,260 |
| | N | 11 | 11 | 11 | 11 | 11 |
| wKFrish | Korrelation nach Pearson | ,903(**) | -,740(**) | ,753(**) | 1 | ,769(**) |
| | Signifikanz (2-seitig) | ,000 | ,009 | ,008 | | ,006 |
| | N | 11 | 11 | 11 | 11 | 11 |
| ELOS frisch | Korrelation nach Pearson | ,850(**) | -,384 | ,372 | ,769(**) | 1 |
| | Signifikanz (2-seitig) | ,001 | ,243 | ,260 | ,006 | |
| | N | 11 | 11 | 11 | 11 | 11 |

* Die Korrelation ist auf dem Niveau von 0,05 (2-seitig) signifikant.

** Die Korrelation ist auf dem Niveau von 0,01 (2-seitig) signifikant.

Anhangstabelle 8.6: Oneway Anova

| | | ONEWAY ANOVA | | | | |
|-------|-----------------------|--------------|----|---------------------|--------|-------------|
| | | Quadratsumme | df | Mittel der Quadrate | F | Signifikanz |
| T1 | Zwischen den Gruppen | 4948,636 | 10 | 494,864 | 95,500 | ,000 |
| | Innerhalb der Gruppen | 171,000 | 33 | 5,182 | | |
| | Gesamt | 5119,636 | 43 | | | |
| T 2 | Zwischen den Gruppen | 386,045 | 10 | 38,605 | 9,647 | ,000 |
| | Innerhalb der Gruppen | 132,063 | 33 | 4,002 | | |
| | Gesamt | 518,108 | 43 | | | |
| T 3 | Zwischen den Gruppen | 417,227 | 10 | 41,723 | 8,460 | ,000 |
| | Innerhalb der Gruppen | 162,750 | 33 | 4,932 | | |
| | Gesamt | 579,977 | 43 | | | |
| T 4 | Zwischen den Gruppen | 1037,352 | 10 | 103,735 | 72,259 | ,000 |
| | Innerhalb der Gruppen | 47,375 | 33 | 1,436 | | |
| | Gesamt | 1084,727 | 43 | | | |
| T 6 | Zwischen den Gruppen | 505,102 | 10 | 50,510 | 31,339 | ,000 |
| | Innerhalb der Gruppen | 53,188 | 33 | 1,612 | | |
| | Gesamt | 558,290 | 43 | | | |
| T 8 | Zwischen den Gruppen | 912,684 | 10 | 91,268 | 24,909 | ,000 |
| | Innerhalb der Gruppen | 120,917 | 33 | 3,664 | | |
| | Gesamt | 1033,601 | 43 | | | |
| T 10 | Zwischen den Gruppen | 1642,097 | 10 | 164,210 | 78,134 | ,000 |
| | Innerhalb der Gruppen | 69,354 | 33 | 2,102 | | |
| | Gesamt | 1711,451 | 43 | | | |
| T 13 | Zwischen den Gruppen | 1915,511 | 10 | 191,551 | 28,643 | ,000 |
| | Innerhalb der Gruppen | 220,688 | 33 | 6,688 | | |
| | Gesamt | 2136,199 | 43 | | | |
| T 21 | Zwischen den Gruppen | 105,934 | 10 | 10,593 | 1,017 | ,450 |
| | Innerhalb der Gruppen | 343,583 | 33 | 10,412 | | |
| | Gesamt | 449,518 | 43 | | | |
| Summe | Zwischen den Gruppen | 21024,949 | 10 | 2102,495 | 19,687 | ,000 |
| | Innerhalb der Gruppen | 3524,250 | 33 | 106,795 | | |
| | Gesamt | 24549,199 | 43 | | | |

Anhangstabelle 8.7: Ausschnitt Varianzanalyse

Mehrfachvergleiche

| LSD | | | | | | | |
|---------------------------|--------------|--------------|-----------------------------|--------------------|-------------|------------------------|-------------|
| Abhängig e Variable | (I) Variante | (J) Variante | Mittlere Differenz (I-J) | Standardfeh ler | Signifikanz | 95%-Konfidenzintervall | |
| | | | Untergrenze | Obergrenze | Untergrenze | Obergrenze | Untergrenze |
| T1 | 101 | 102 | -,2500 | 1,6096 | ,878 | -3,525 | 3,025 |
| | | 103 | 4,5000(*) | 1,6096 | ,009 | 1,225 | 7,775 |
| | | 113 | -3,7500(*) | 1,6096 | ,026 | -7,025 | -,475 |
| | | 114 | -3,5000(*) | 1,6096 | ,037 | -6,775 | -,225 |
| | | 115 | 25,3750(*) | 1,6096 | ,000 | 22,100 | 28,650 |
| | | 116 | 4,8750(*) | 1,6096 | ,005 | 1,600 | 8,150 |
| | | 117 | -,2500 | 1,6096 | ,878 | -3,525 | 3,025 |
| | | 118 | 27,0000(*) | 1,6096 | ,000 | 23,725 | 30,275 |
| | | 120 | -4,8750(*) | 1,6096 | ,005 | -8,150 | -1,600 |
| | | 121 | 1,3750 | 1,6096 | ,399 | -1,900 | 4,650 |
| | | 102 | 101 | ,2500 | 1,6096 | ,878 | -3,025 |
| | 103 | 103 | 4,7500(*) | 1,6096 | ,006 | 1,475 | 8,025 |
| | 113 | 113 | -3,5000(*) | 1,6096 | ,037 | -6,775 | -,225 |
| | 114 | 114 | -3,2500 | 1,6096 | ,052 | -6,525 | ,025 |
| | 115 | 115 | 25,6250(*) | 1,6096 | ,000 | 22,350 | 28,900 |
| | 116 | 116 | 5,1250(*) | 1,6096 | ,003 | 1,850 | 8,400 |
| | 117 | 117 | ,0000 | 1,6096 | 1,000 | -3,275 | 3,275 |
| | 118 | 118 | 27,2500(*) | 1,6096 | ,000 | 23,975 | 30,525 |
| | 120 | 120 | -4,6250(*) | 1,6096 | ,007 | -7,900 | -1,350 |
| | 121 | 121 | 1,6250 | 1,6096 | ,320 | -1,650 | 4,900 |
| | 103 | 101 | -4,5000(*) | 1,6096 | ,009 | -7,775 | -1,225 |
| | 102 | 102 | -4,7500(*) | 1,6096 | ,006 | -8,025 | -1,475 |
| | 113 | 113 | -8,2500(*) | 1,6096 | ,000 | -11,525 | -4,975 |
| | 114 | 114 | -8,0000(*) | 1,6096 | ,000 | -11,275 | -4,725 |
| | 115 | 115 | 20,8750(*) | 1,6096 | ,000 | 17,600 | 24,150 |
| | 116 | 116 | ,3750 | 1,6096 | ,817 | -2,900 | 3,650 |
| | 117 | 117 | -4,7500(*) | 1,6096 | ,006 | -8,025 | -1,475 |
| | 118 | 118 | 22,5000(*) | 1,6096 | ,000 | 19,225 | 25,775 |
| | 120 | 120 | -9,3750(*) | 1,6096 | ,000 | -12,650 | -6,100 |
| | 121 | 121 | -3,1250 | 1,6096 | ,061 | -6,400 | ,150 |
| | 113 | 101 | 3,7500(*) | 1,6096 | ,026 | ,475 | 7,025 |
| | 102 | 102 | 3,5000(*) | 1,6096 | ,037 | ,225 | 6,775 |
| | 103 | 103 | 8,2500(*) | 1,6096 | ,000 | 4,975 | 11,525 |
| | 114 | 114 | ,2500 | 1,6096 | ,878 | -3,025 | 3,525 |
| | 115 | 115 | 29,1250(*) | 1,6096 | ,000 | 25,850 | 32,400 |
| | 116 | 116 | 8,6250(*) | 1,6096 | ,000 | 5,350 | 11,900 |
| | 117 | 117 | 3,5000(*) | 1,6096 | ,037 | ,225 | 6,775 |
| | 118 | 118 | 30,7500(*) | 1,6096 | ,000 | 27,475 | 34,025 |
| | 120 | 120 | -1,1250 | 1,6096 | ,490 | -4,400 | 2,150 |
| | 121 | 121 | 5,1250(*) | 1,6096 | ,003 | 1,850 | 8,400 |
| | 114 | 101 | 3,5000(*) | 1,6096 | ,037 | ,225 | 6,775 |
| | 102 | 102 | 3,2500 | 1,6096 | ,052 | -,025 | 6,525 |
| 103 | 103 | 8,0000(*) | 1,6096 | ,000 | 4,725 | 11,275 | |
| 113 | 113 | -,2500 | 1,6096 | ,878 | -3,525 | 3,025 | |
| 115 | 115 | 28,8750(*) | 1,6096 | ,000 | 25,600 | 32,150 | |
| 116 | 116 | 8,3750(*) | 1,6096 | ,000 | 5,100 | 11,650 | |
| 117 | 117 | 3,2500 | 1,6096 | ,052 | -,025 | 6,525 | |
| 118 | 118 | 30,5000(*) | 1,6096 | ,000 | 27,225 | 33,775 | |
| 120 | 120 | -1,3750 | 1,6096 | ,399 | -4,650 | 1,900 | |

| | | | | | | | |
|-----|--|-----|-------------|--------|-------|---------|---------|
| | | 121 | 4,8750(*) | 1,6096 | ,005 | 1,600 | 8,150 |
| 115 | | 101 | -25,3750(*) | 1,6096 | ,000 | -28,650 | -22,100 |
| | | 102 | -25,6250(*) | 1,6096 | ,000 | -28,900 | -22,350 |
| | | 103 | -20,8750(*) | 1,6096 | ,000 | -24,150 | -17,600 |
| | | 113 | -29,1250(*) | 1,6096 | ,000 | -32,400 | -25,850 |
| | | 114 | -28,8750(*) | 1,6096 | ,000 | -32,150 | -25,600 |
| | | 116 | -20,5000(*) | 1,6096 | ,000 | -23,775 | -17,225 |
| | | 117 | -25,6250(*) | 1,6096 | ,000 | -28,900 | -22,350 |
| | | 118 | 1,6250 | 1,6096 | ,320 | -1,650 | 4,900 |
| | | 120 | -30,2500(*) | 1,6096 | ,000 | -33,525 | -26,975 |
| 116 | | 121 | -24,0000(*) | 1,6096 | ,000 | -27,275 | -20,725 |
| | | 101 | -4,8750(*) | 1,6096 | ,005 | -8,150 | -1,600 |
| | | 102 | -5,1250(*) | 1,6096 | ,003 | -8,400 | -1,850 |
| | | 103 | -,3750 | 1,6096 | ,817 | -3,650 | 2,900 |
| | | 113 | -8,6250(*) | 1,6096 | ,000 | -11,900 | -5,350 |
| | | 114 | -8,3750(*) | 1,6096 | ,000 | -11,650 | -5,100 |
| | | 115 | 20,5000(*) | 1,6096 | ,000 | 17,225 | 23,775 |
| | | 117 | -5,1250(*) | 1,6096 | ,003 | -8,400 | -1,850 |
| | | 118 | 22,1250(*) | 1,6096 | ,000 | 18,850 | 25,400 |
| | | 120 | -9,7500(*) | 1,6096 | ,000 | -13,025 | -6,475 |
| 117 | | 121 | -3,5000(*) | 1,6096 | ,037 | -6,775 | -,225 |
| | | 101 | ,2500 | 1,6096 | ,878 | -3,025 | 3,525 |
| | | 102 | ,0000 | 1,6096 | 1,000 | -3,275 | 3,275 |
| | | 103 | 4,7500(*) | 1,6096 | ,006 | 1,475 | 8,025 |
| | | 113 | -3,5000(*) | 1,6096 | ,037 | -6,775 | -,225 |
| | | 114 | -3,2500 | 1,6096 | ,052 | -6,525 | ,025 |
| | | 115 | 25,6250(*) | 1,6096 | ,000 | 22,350 | 28,900 |
| | | 116 | 5,1250(*) | 1,6096 | ,003 | 1,850 | 8,400 |
| | | 118 | 27,2500(*) | 1,6096 | ,000 | 23,975 | 30,525 |
| | | 120 | -4,6250(*) | 1,6096 | ,007 | -7,900 | -1,350 |
| 118 | | 121 | 1,6250 | 1,6096 | ,320 | -1,650 | 4,900 |
| | | 101 | -27,0000(*) | 1,6096 | ,000 | -30,275 | -23,725 |
| | | 102 | -27,2500(*) | 1,6096 | ,000 | -30,525 | -23,975 |
| | | 103 | -22,5000(*) | 1,6096 | ,000 | -25,775 | -19,225 |
| | | 113 | -30,7500(*) | 1,6096 | ,000 | -34,025 | -27,475 |
| | | 114 | -30,5000(*) | 1,6096 | ,000 | -33,775 | -27,225 |
| | | 115 | -1,6250 | 1,6096 | ,320 | -4,900 | 1,650 |
| | | 116 | -22,1250(*) | 1,6096 | ,000 | -25,400 | -18,850 |
| | | 117 | -27,2500(*) | 1,6096 | ,000 | -30,525 | -23,975 |
| | | 120 | -31,8750(*) | 1,6096 | ,000 | -35,150 | -28,600 |
| 120 | | 121 | -25,6250(*) | 1,6096 | ,000 | -28,900 | -22,350 |
| | | 101 | 4,8750(*) | 1,6096 | ,005 | 1,600 | 8,150 |
| | | 102 | 4,6250(*) | 1,6096 | ,007 | 1,350 | 7,900 |
| | | 103 | 9,3750(*) | 1,6096 | ,000 | 6,100 | 12,650 |
| | | 113 | 1,1250 | 1,6096 | ,490 | -2,150 | 4,400 |
| | | 114 | 1,3750 | 1,6096 | ,399 | -1,900 | 4,650 |
| | | 115 | 30,2500(*) | 1,6096 | ,000 | 26,975 | 33,525 |
| | | 116 | 9,7500(*) | 1,6096 | ,000 | 6,475 | 13,025 |
| | | 117 | 4,6250(*) | 1,6096 | ,007 | 1,350 | 7,900 |
| | | 118 | 31,8750(*) | 1,6096 | ,000 | 28,600 | 35,150 |
| 121 | | 121 | 6,2500(*) | 1,6096 | ,000 | 2,975 | 9,525 |
| | | 101 | -1,3750 | 1,6096 | ,399 | -4,650 | 1,900 |
| | | 102 | -1,6250 | 1,6096 | ,320 | -4,900 | 1,650 |
| | | 103 | 3,1250 | 1,6096 | ,061 | -,150 | 6,400 |
| | | 113 | -5,1250(*) | 1,6096 | ,003 | -8,400 | -1,850 |
| | | 114 | -4,8750(*) | 1,6096 | ,005 | -8,150 | -1,600 |
| | | 115 | 24,0000(*) | 1,6096 | ,000 | 20,725 | 27,275 |
| | | 116 | 3,5000(*) | 1,6096 | ,037 | ,225 | 6,775 |
| | | 117 | -1,6250 | 1,6096 | ,320 | -4,900 | 1,650 |

| | | | | | | | |
|-----|-----|-----|------------|--------|-------|--------|--------|
| | | 118 | 25,6250(*) | 1,6096 | ,000 | 22,350 | 28,900 |
| | | 120 | -6,2500(*) | 1,6096 | ,000 | -9,525 | -2,975 |
| T 2 | 101 | 102 | -2,5000 | 1,4145 | ,086 | -5,378 | ,378 |
| | | 103 | 1,3750 | 1,4145 | ,338 | -1,503 | 4,253 |
| | | 113 | -2,5000 | 1,4145 | ,086 | -5,378 | ,378 |
| | | 114 | -5,0000 | 1,4145 | ,726 | -3,378 | 2,378 |
| | | 115 | ,2500 | 1,4145 | ,861 | -2,628 | 3,128 |
| | | 116 | -,2500 | 1,4145 | ,861 | -3,128 | 2,628 |
| | | 117 | 1,8750 | 1,4145 | ,194 | -1,003 | 4,753 |
| | | 118 | 5,5000(*) | 1,4145 | ,000 | 2,622 | 8,378 |
| | | 120 | 4,0000(*) | 1,4145 | ,008 | 1,122 | 6,878 |
| | | 121 | 7,1250(*) | 1,4145 | ,000 | 4,247 | 10,003 |
| | 102 | 101 | 2,5000 | 1,4145 | ,086 | -,378 | 5,378 |
| | | 103 | 3,8750(*) | 1,4145 | ,010 | ,997 | 6,753 |
| | | 113 | ,0000 | 1,4145 | 1,000 | -2,878 | 2,878 |
| | | 114 | 2,0000 | 1,4145 | ,167 | -,878 | 4,878 |
| | | 115 | 2,7500 | 1,4145 | ,060 | -,128 | 5,628 |
| | | 116 | 2,2500 | 1,4145 | ,121 | -,628 | 5,128 |
| | | 117 | 4,3750(*) | 1,4145 | ,004 | 1,497 | 7,253 |
| | | 118 | 8,0000(*) | 1,4145 | ,000 | 5,122 | 10,878 |
| | | 120 | 6,5000(*) | 1,4145 | ,000 | 3,622 | 9,378 |
| | | 121 | 9,6250(*) | 1,4145 | ,000 | 6,747 | 12,503 |
| | 103 | 101 | -1,3750 | 1,4145 | ,338 | -4,253 | 1,503 |
| | | 102 | -3,8750(*) | 1,4145 | ,010 | -6,753 | -,997 |
| | | 113 | -3,8750(*) | 1,4145 | ,010 | -6,753 | -,997 |
| | | 114 | -1,8750 | 1,4145 | ,194 | -4,753 | 1,003 |
| | | 115 | -1,1250 | 1,4145 | ,432 | -4,003 | 1,753 |
| | | 116 | -1,6250 | 1,4145 | ,259 | -4,503 | 1,253 |
| | | 117 | ,5000 | 1,4145 | ,726 | -2,378 | 3,378 |
| | | 118 | 4,1250(*) | 1,4145 | ,006 | 1,247 | 7,003 |
| | | 120 | 2,6250 | 1,4145 | ,072 | -,253 | 5,503 |
| | | 121 | 5,7500(*) | 1,4145 | ,000 | 2,872 | 8,628 |
| | 113 | 101 | 2,5000 | 1,4145 | ,086 | -,378 | 5,378 |
| | | 102 | ,0000 | 1,4145 | 1,000 | -2,878 | 2,878 |
| | | 103 | 3,8750(*) | 1,4145 | ,010 | ,997 | 6,753 |
| | | 114 | 2,0000 | 1,4145 | ,167 | -,878 | 4,878 |
| | | 115 | 2,7500 | 1,4145 | ,060 | -,128 | 5,628 |
| | | 116 | 2,2500 | 1,4145 | ,121 | -,628 | 5,128 |
| | | 117 | 4,3750(*) | 1,4145 | ,004 | 1,497 | 7,253 |
| | | 118 | 8,0000(*) | 1,4145 | ,000 | 5,122 | 10,878 |
| | | 120 | 6,5000(*) | 1,4145 | ,000 | 3,622 | 9,378 |
| | | 121 | 9,6250(*) | 1,4145 | ,000 | 6,747 | 12,503 |
| | 114 | 101 | ,5000 | 1,4145 | ,726 | -2,378 | 3,378 |
| | | 102 | -2,0000 | 1,4145 | ,167 | -4,878 | ,878 |
| | | 103 | 1,8750 | 1,4145 | ,194 | -1,003 | 4,753 |
| | | 113 | -2,0000 | 1,4145 | ,167 | -4,878 | ,878 |
| | | 115 | ,7500 | 1,4145 | ,600 | -2,128 | 3,628 |
| | | 116 | ,2500 | 1,4145 | ,861 | -2,628 | 3,128 |
| | | 117 | 2,3750 | 1,4145 | ,103 | -,503 | 5,253 |
| | | 118 | 6,0000(*) | 1,4145 | ,000 | 3,122 | 8,878 |
| | | 120 | 4,5000(*) | 1,4145 | ,003 | 1,622 | 7,378 |
| | | 121 | 7,6250(*) | 1,4145 | ,000 | 4,747 | 10,503 |
| | 115 | 101 | -,2500 | 1,4145 | ,861 | -3,128 | 2,628 |
| | | 102 | -2,7500 | 1,4145 | ,060 | -5,628 | ,128 |
| | | 103 | 1,1250 | 1,4145 | ,432 | -1,753 | 4,003 |
| | | 113 | -2,7500 | 1,4145 | ,060 | -5,628 | ,128 |
| | | 114 | -,7500 | 1,4145 | ,600 | -3,628 | 2,128 |
| | | 116 | -,5000 | 1,4145 | ,726 | -3,378 | 2,378 |
| | | 117 | 1,6250 | 1,4145 | ,259 | -1,253 | 4,503 |

| | | | | | | | |
|-----|-----|-----|------------|--------|------|---------|--------|
| | | 118 | 5,2500(*) | 1,4145 | ,001 | 2,372 | 8,128 |
| | | 120 | 3,7500(*) | 1,4145 | ,012 | ,872 | 6,628 |
| | | 121 | 6,8750(*) | 1,4145 | ,000 | 3,997 | 9,753 |
| 116 | | 101 | ,2500 | 1,4145 | ,861 | -2,628 | 3,128 |
| | | 102 | -2,2500 | 1,4145 | ,121 | -5,128 | ,628 |
| | | 103 | 1,6250 | 1,4145 | ,259 | -1,253 | 4,503 |
| | | 113 | -2,2500 | 1,4145 | ,121 | -5,128 | ,628 |
| | | 114 | -,2500 | 1,4145 | ,861 | -3,128 | 2,628 |
| | | 115 | ,5000 | 1,4145 | ,726 | -2,378 | 3,378 |
| | | 117 | 2,1250 | 1,4145 | ,143 | -,753 | 5,003 |
| | | 118 | 5,7500(*) | 1,4145 | ,000 | 2,872 | 8,628 |
| | | 120 | 4,2500(*) | 1,4145 | ,005 | 1,372 | 7,128 |
| | | 121 | 7,3750(*) | 1,4145 | ,000 | 4,497 | 10,253 |
| 117 | | 101 | -1,8750 | 1,4145 | ,194 | -4,753 | 1,003 |
| | | 102 | -4,3750(*) | 1,4145 | ,004 | -7,253 | -1,497 |
| | | 103 | -,5000 | 1,4145 | ,726 | -3,378 | 2,378 |
| | | 113 | -4,3750(*) | 1,4145 | ,004 | -7,253 | -1,497 |
| | | 114 | -2,3750 | 1,4145 | ,103 | -5,253 | ,503 |
| | | 115 | -1,6250 | 1,4145 | ,259 | -4,503 | 1,253 |
| | | 116 | -2,1250 | 1,4145 | ,143 | -5,003 | ,753 |
| | | 118 | 3,6250(*) | 1,4145 | ,015 | ,747 | 6,503 |
| | | 120 | 2,1250 | 1,4145 | ,143 | -,753 | 5,003 |
| | | 121 | 5,2500(*) | 1,4145 | ,001 | 2,372 | 8,128 |
| 118 | | 101 | -5,5000(*) | 1,4145 | ,000 | -8,378 | -2,622 |
| | | 102 | -8,0000(*) | 1,4145 | ,000 | -10,878 | -5,122 |
| | | 103 | -4,1250(*) | 1,4145 | ,006 | -7,003 | -1,247 |
| | | 113 | -8,0000(*) | 1,4145 | ,000 | -10,878 | -5,122 |
| | | 114 | -6,0000(*) | 1,4145 | ,000 | -8,878 | -3,122 |
| | | 115 | -5,2500(*) | 1,4145 | ,001 | -8,128 | -2,372 |
| | | 116 | -5,7500(*) | 1,4145 | ,000 | -8,628 | -2,872 |
| | | 117 | -3,6250(*) | 1,4145 | ,015 | -6,503 | -,747 |
| | | 120 | -1,5000 | 1,4145 | ,297 | -4,378 | 1,378 |
| | | 121 | 1,6250 | 1,4145 | ,259 | -1,253 | 4,503 |
| 120 | | 101 | -4,0000(*) | 1,4145 | ,008 | -6,878 | -1,122 |
| | | 102 | -6,5000(*) | 1,4145 | ,000 | -9,378 | -3,622 |
| | | 103 | -2,6250 | 1,4145 | ,072 | -5,503 | ,253 |
| | | 113 | -6,5000(*) | 1,4145 | ,000 | -9,378 | -3,622 |
| | | 114 | -4,5000(*) | 1,4145 | ,003 | -7,378 | -1,622 |
| | | 115 | -3,7500(*) | 1,4145 | ,012 | -6,628 | -,872 |
| | | 116 | -4,2500(*) | 1,4145 | ,005 | -7,128 | -1,372 |
| | | 117 | -2,1250 | 1,4145 | ,143 | -5,003 | ,753 |
| | | 118 | 1,5000 | 1,4145 | ,297 | -1,378 | 4,378 |
| | | 121 | 3,1250(*) | 1,4145 | ,034 | ,247 | 6,003 |
| 121 | | 101 | -7,1250(*) | 1,4145 | ,000 | -10,003 | -4,247 |
| | | 102 | -9,6250(*) | 1,4145 | ,000 | -12,503 | -6,747 |
| | | 103 | -5,7500(*) | 1,4145 | ,000 | -8,628 | -2,872 |
| | | 113 | -9,6250(*) | 1,4145 | ,000 | -12,503 | -6,747 |
| | | 114 | -7,6250(*) | 1,4145 | ,000 | -10,503 | -4,747 |
| | | 115 | -6,8750(*) | 1,4145 | ,000 | -9,753 | -3,997 |
| | | 116 | -7,3750(*) | 1,4145 | ,000 | -10,253 | -4,497 |
| | | 117 | -5,2500(*) | 1,4145 | ,001 | -8,128 | -2,372 |
| | | 118 | -1,6250 | 1,4145 | ,259 | -4,503 | 1,253 |
| | | 120 | -3,1250(*) | 1,4145 | ,034 | -6,003 | -,247 |
| T 3 | 101 | 102 | -2,250 | 1,570 | ,161 | -5,44 | ,94 |
| | | 103 | -,125 | 1,570 | ,937 | -3,32 | 3,07 |
| | | 113 | -8,000(*) | 1,570 | ,000 | -11,19 | -4,81 |
| | | 114 | -8,375(*) | 1,570 | ,000 | -11,57 | -5,18 |
| | | 115 | -5,875(*) | 1,570 | ,001 | -9,07 | -2,68 |
| | | 116 | -3,375(*) | 1,570 | ,039 | -6,57 | -,18 |

| | | | | | | |
|-----|-----|-----------|-------|------|--------|-------|
| | 117 | -7,125(*) | 1,570 | ,000 | -10,32 | -3,93 |
| | 118 | -4,125(*) | 1,570 | ,013 | -7,32 | -,93 |
| | 120 | -9,125(*) | 1,570 | ,000 | -12,32 | -5,93 |
| | 121 | -6,375(*) | 1,570 | ,000 | -9,57 | -3,18 |
| 102 | 101 | 2,250 | 1,570 | ,161 | -,94 | 5,44 |
| | 103 | 2,125 | 1,570 | ,185 | -1,07 | 5,32 |
| | 113 | -5,750(*) | 1,570 | ,001 | -8,94 | -2,56 |
| | 114 | -6,125(*) | 1,570 | ,000 | -9,32 | -2,93 |
| | 115 | -3,625(*) | 1,570 | ,027 | -6,82 | -,43 |
| | 116 | -1,125 | 1,570 | ,479 | -4,32 | 2,07 |
| | 117 | -4,875(*) | 1,570 | ,004 | -8,07 | -1,68 |
| | 118 | -1,875 | 1,570 | ,241 | -5,07 | 1,32 |
| | 120 | -6,875(*) | 1,570 | ,000 | -10,07 | -3,68 |
| | 121 | -4,125(*) | 1,570 | ,013 | -7,32 | -,93 |
| 103 | 101 | ,125 | 1,570 | ,937 | -3,07 | 3,32 |
| | 102 | -2,125 | 1,570 | ,185 | -5,32 | 1,07 |
| | 113 | -7,875(*) | 1,570 | ,000 | -11,07 | -4,68 |
| | 114 | -8,250(*) | 1,570 | ,000 | -11,44 | -5,06 |
| | 115 | -5,750(*) | 1,570 | ,001 | -8,94 | -2,56 |
| | 116 | -3,250(*) | 1,570 | ,046 | -6,44 | -,06 |
| | 117 | -7,000(*) | 1,570 | ,000 | -10,19 | -3,81 |
| | 118 | -4,000(*) | 1,570 | ,016 | -7,19 | -,81 |
| | 120 | -9,000(*) | 1,570 | ,000 | -12,19 | -5,81 |
| | 121 | -6,250(*) | 1,570 | ,000 | -9,44 | -3,06 |
| 113 | 101 | 8,000(*) | 1,570 | ,000 | 4,81 | 11,19 |
| | 102 | 5,750(*) | 1,570 | ,001 | 2,56 | 8,94 |
| | 103 | 7,875(*) | 1,570 | ,000 | 4,68 | 11,07 |
| | 114 | -,375 | 1,570 | ,813 | -3,57 | 2,82 |
| | 115 | 2,125 | 1,570 | ,185 | -1,07 | 5,32 |
| | 116 | 4,625(*) | 1,570 | ,006 | 1,43 | 7,82 |
| | 117 | ,875 | 1,570 | ,581 | -2,32 | 4,07 |
| | 118 | 3,875(*) | 1,570 | ,019 | ,68 | 7,07 |
| | 120 | -1,125 | 1,570 | ,479 | -4,32 | 2,07 |
| | 121 | 1,625 | 1,570 | ,308 | -1,57 | 4,82 |
| 114 | 101 | 8,375(*) | 1,570 | ,000 | 5,18 | 11,57 |
| | 102 | 6,125(*) | 1,570 | ,000 | 2,93 | 9,32 |
| | 103 | 8,250(*) | 1,570 | ,000 | 5,06 | 11,44 |
| | 113 | ,375 | 1,570 | ,813 | -2,82 | 3,57 |
| | 115 | 2,500 | 1,570 | ,121 | -,69 | 5,69 |
| | 116 | 5,000(*) | 1,570 | ,003 | 1,81 | 8,19 |
| | 117 | 1,250 | 1,570 | ,432 | -1,94 | 4,44 |
| | 118 | 4,250(*) | 1,570 | ,011 | 1,06 | 7,44 |
| | 120 | -,750 | 1,570 | ,636 | -3,94 | 2,44 |
| | 121 | 2,000 | 1,570 | ,212 | -1,19 | 5,19 |
| 115 | 101 | 5,875(*) | 1,570 | ,001 | 2,68 | 9,07 |
| | 102 | 3,625(*) | 1,570 | ,027 | ,43 | 6,82 |
| | 103 | 5,750(*) | 1,570 | ,001 | 2,56 | 8,94 |
| | 113 | -2,125 | 1,570 | ,185 | -5,32 | 1,07 |
| | 114 | -2,500 | 1,570 | ,121 | -5,69 | ,69 |
| | 116 | 2,500 | 1,570 | ,121 | -,69 | 5,69 |
| | 117 | -1,250 | 1,570 | ,432 | -4,44 | 1,94 |
| | 118 | 1,750 | 1,570 | ,273 | -1,44 | 4,94 |
| | 120 | -3,250(*) | 1,570 | ,046 | -6,44 | -,06 |
| | 121 | -,500 | 1,570 | ,752 | -3,69 | 2,69 |
| 116 | 101 | 3,375(*) | 1,570 | ,039 | ,18 | 6,57 |
| | 102 | 1,125 | 1,570 | ,479 | -2,07 | 4,32 |
| | 103 | 3,250(*) | 1,570 | ,046 | ,06 | 6,44 |
| | 113 | -4,625(*) | 1,570 | ,006 | -7,82 | -1,43 |
| | 114 | -5,000(*) | 1,570 | ,003 | -8,19 | -1,81 |

| | | | | | | | |
|-----|-----|-----|------------|-------|------|--------|--------|
| | | 115 | -2,500 | 1,570 | ,121 | -5,69 | ,69 |
| | | 117 | -3,750(*) | 1,570 | ,023 | -6,94 | -,56 |
| | | 118 | -,750 | 1,570 | ,636 | -3,94 | 2,44 |
| | | 120 | -5,750(*) | 1,570 | ,001 | -8,94 | -2,56 |
| | | 121 | -3,000 | 1,570 | ,065 | -6,19 | ,19 |
| | 117 | 101 | 7,125(*) | 1,570 | ,000 | 3,93 | 10,32 |
| | | 102 | 4,875(*) | 1,570 | ,004 | 1,68 | 8,07 |
| | | 103 | 7,000(*) | 1,570 | ,000 | 3,81 | 10,19 |
| | | 113 | -,875 | 1,570 | ,581 | -4,07 | 2,32 |
| | | 114 | -1,250 | 1,570 | ,432 | -4,44 | 1,94 |
| | | 115 | 1,250 | 1,570 | ,432 | -1,94 | 4,44 |
| | | 116 | 3,750(*) | 1,570 | ,023 | ,56 | 6,94 |
| | | 118 | 3,000 | 1,570 | ,065 | -,19 | 6,19 |
| | | 120 | -2,000 | 1,570 | ,212 | -5,19 | 1,19 |
| | | 121 | ,750 | 1,570 | ,636 | -2,44 | 3,94 |
| | 118 | 101 | 4,125(*) | 1,570 | ,013 | ,93 | 7,32 |
| | | 102 | 1,875 | 1,570 | ,241 | -1,32 | 5,07 |
| | | 103 | 4,000(*) | 1,570 | ,016 | ,81 | 7,19 |
| | | 113 | -3,875(*) | 1,570 | ,019 | -7,07 | -,68 |
| | | 114 | -4,250(*) | 1,570 | ,011 | -7,44 | -1,06 |
| | | 115 | -1,750 | 1,570 | ,273 | -4,94 | 1,44 |
| | | 116 | ,750 | 1,570 | ,636 | -2,44 | 3,94 |
| | | 117 | -3,000 | 1,570 | ,065 | -6,19 | ,19 |
| | | 120 | -5,000(*) | 1,570 | ,003 | -8,19 | -1,81 |
| | | 121 | -2,250 | 1,570 | ,161 | -5,44 | ,94 |
| | 120 | 101 | 9,125(*) | 1,570 | ,000 | 5,93 | 12,32 |
| | | 102 | 6,875(*) | 1,570 | ,000 | 3,68 | 10,07 |
| | | 103 | 9,000(*) | 1,570 | ,000 | 5,81 | 12,19 |
| | | 113 | 1,125 | 1,570 | ,479 | -2,07 | 4,32 |
| | | 114 | ,750 | 1,570 | ,636 | -2,44 | 3,94 |
| | | 115 | 3,250(*) | 1,570 | ,046 | ,06 | 6,44 |
| | | 116 | 5,750(*) | 1,570 | ,001 | 2,56 | 8,94 |
| | | 117 | 2,000 | 1,570 | ,212 | -1,19 | 5,19 |
| | | 118 | 5,000(*) | 1,570 | ,003 | 1,81 | 8,19 |
| | | 121 | 2,750 | 1,570 | ,089 | -,44 | 5,94 |
| | 121 | 101 | 6,375(*) | 1,570 | ,000 | 3,18 | 9,57 |
| | | 102 | 4,125(*) | 1,570 | ,013 | ,93 | 7,32 |
| | | 103 | 6,250(*) | 1,570 | ,000 | 3,06 | 9,44 |
| | | 113 | -1,625 | 1,570 | ,308 | -4,82 | 1,57 |
| | | 114 | -2,000 | 1,570 | ,212 | -5,19 | 1,19 |
| | | 115 | ,500 | 1,570 | ,752 | -2,69 | 3,69 |
| | | 116 | 3,000 | 1,570 | ,065 | -,19 | 6,19 |
| | | 117 | -,750 | 1,570 | ,636 | -3,94 | 2,44 |
| | | 118 | 2,250 | 1,570 | ,161 | -,94 | 5,44 |
| | | 120 | -2,750 | 1,570 | ,089 | -5,94 | ,44 |
| T 4 | 101 | 102 | 3,375(*) | ,847 | ,000 | 1,65 | 5,10 |
| | | 103 | 1,500 | ,847 | ,086 | -,22 | 3,22 |
| | | 113 | -5,875(*) | ,847 | ,000 | -7,60 | -4,15 |
| | | 114 | ,125 | ,847 | ,884 | -1,60 | 1,85 |
| | | 115 | -10,875(*) | ,847 | ,000 | -12,60 | -9,15 |
| | | 116 | -5,625(*) | ,847 | ,000 | -7,35 | -3,90 |
| | | 117 | 1,000 | ,847 | ,246 | -,72 | 2,72 |
| | | 118 | -11,875(*) | ,847 | ,000 | -13,60 | -10,15 |
| | | 120 | -5,750(*) | ,847 | ,000 | -7,47 | -4,03 |
| | | 121 | -2,000(*) | ,847 | ,024 | -3,72 | -,28 |
| | 102 | 101 | -3,375(*) | ,847 | ,000 | -5,10 | -1,65 |
| | | 103 | -1,875(*) | ,847 | ,034 | -3,60 | -,15 |
| | | 113 | -9,250(*) | ,847 | ,000 | -10,97 | -7,53 |
| | | 114 | -3,250(*) | ,847 | ,001 | -4,97 | -1,53 |

| | | | | | | |
|-----|-----|------------|------|------|--------|--------|
| | 115 | -14,250(*) | ,847 | ,000 | -15,97 | -12,53 |
| | 116 | -9,000(*) | ,847 | ,000 | -10,72 | -7,28 |
| | 117 | -2,375(*) | ,847 | ,008 | -4,10 | -,65 |
| | 118 | -15,250(*) | ,847 | ,000 | -16,97 | -13,53 |
| | 120 | -9,125(*) | ,847 | ,000 | -10,85 | -7,40 |
| | 121 | -5,375(*) | ,847 | ,000 | -7,10 | -3,65 |
| 103 | 101 | -1,500 | ,847 | ,086 | -3,22 | ,22 |
| | 102 | 1,875(*) | ,847 | ,034 | ,15 | 3,60 |
| | 113 | -7,375(*) | ,847 | ,000 | -9,10 | -5,65 |
| | 114 | -1,375 | ,847 | ,114 | -3,10 | ,35 |
| | 115 | -12,375(*) | ,847 | ,000 | -14,10 | -10,65 |
| | 116 | -7,125(*) | ,847 | ,000 | -8,85 | -5,40 |
| | 117 | -,500 | ,847 | ,559 | -2,22 | 1,22 |
| | 118 | -13,375(*) | ,847 | ,000 | -15,10 | -11,65 |
| | 120 | -7,250(*) | ,847 | ,000 | -8,97 | -5,53 |
| | 121 | -3,500(*) | ,847 | ,000 | -5,22 | -1,78 |
| 113 | 101 | 5,875(*) | ,847 | ,000 | 4,15 | 7,60 |
| | 102 | 9,250(*) | ,847 | ,000 | 7,53 | 10,97 |
| | 103 | 7,375(*) | ,847 | ,000 | 5,65 | 9,10 |
| | 114 | 6,000(*) | ,847 | ,000 | 4,28 | 7,72 |
| | 115 | -5,000(*) | ,847 | ,000 | -6,72 | -3,28 |
| | 116 | ,250 | ,847 | ,770 | -1,47 | 1,97 |
| | 117 | 6,875(*) | ,847 | ,000 | 5,15 | 8,60 |
| | 118 | -6,000(*) | ,847 | ,000 | -7,72 | -4,28 |
| | 120 | ,125 | ,847 | ,884 | -1,60 | 1,85 |
| | 121 | 3,875(*) | ,847 | ,000 | 2,15 | 5,60 |
| 114 | 101 | -,125 | ,847 | ,884 | -1,85 | 1,60 |
| | 102 | 3,250(*) | ,847 | ,001 | 1,53 | 4,97 |
| | 103 | 1,375 | ,847 | ,114 | -,35 | 3,10 |
| | 113 | -6,000(*) | ,847 | ,000 | -7,72 | -4,28 |
| | 115 | -11,000(*) | ,847 | ,000 | -12,72 | -9,28 |
| | 116 | -5,750(*) | ,847 | ,000 | -7,47 | -4,03 |
| | 117 | ,875 | ,847 | ,309 | -,85 | 2,60 |
| | 118 | -12,000(*) | ,847 | ,000 | -13,72 | -10,28 |
| | 120 | -5,875(*) | ,847 | ,000 | -7,60 | -4,15 |
| | 121 | -2,125(*) | ,847 | ,017 | -3,85 | -,40 |
| 115 | 101 | 10,875(*) | ,847 | ,000 | 9,15 | 12,60 |
| | 102 | 14,250(*) | ,847 | ,000 | 12,53 | 15,97 |
| | 103 | 12,375(*) | ,847 | ,000 | 10,65 | 14,10 |
| | 113 | 5,000(*) | ,847 | ,000 | 3,28 | 6,72 |
| | 114 | 11,000(*) | ,847 | ,000 | 9,28 | 12,72 |
| | 116 | 5,250(*) | ,847 | ,000 | 3,53 | 6,97 |
| | 117 | 11,875(*) | ,847 | ,000 | 10,15 | 13,60 |
| | 118 | -1,000 | ,847 | ,246 | -2,72 | ,72 |
| | 120 | 5,125(*) | ,847 | ,000 | 3,40 | 6,85 |
| | 121 | 8,875(*) | ,847 | ,000 | 7,15 | 10,60 |
| 116 | 101 | 5,625(*) | ,847 | ,000 | 3,90 | 7,35 |
| | 102 | 9,000(*) | ,847 | ,000 | 7,28 | 10,72 |
| | 103 | 7,125(*) | ,847 | ,000 | 5,40 | 8,85 |
| | 113 | -,250 | ,847 | ,770 | -1,97 | 1,47 |
| | 114 | 5,750(*) | ,847 | ,000 | 4,03 | 7,47 |
| | 115 | -5,250(*) | ,847 | ,000 | -6,97 | -3,53 |
| | 117 | 6,625(*) | ,847 | ,000 | 4,90 | 8,35 |
| | 118 | -6,250(*) | ,847 | ,000 | -7,97 | -4,53 |
| | 120 | -,125 | ,847 | ,884 | -1,85 | 1,60 |
| | 121 | 3,625(*) | ,847 | ,000 | 1,90 | 5,35 |
| 117 | 101 | -1,000 | ,847 | ,246 | -2,72 | ,72 |
| | 102 | 2,375(*) | ,847 | ,008 | ,65 | 4,10 |
| | 103 | ,500 | ,847 | ,559 | -1,22 | 2,22 |

| | | | | | | | |
|------|-----|-----|------------|-------|------|--------|--------|
| | | 113 | -6,875(*) | ,847 | ,000 | -8,60 | -5,15 |
| | | 114 | -,875 | ,847 | ,309 | -2,60 | ,85 |
| | | 115 | -11,875(*) | ,847 | ,000 | -13,60 | -10,15 |
| | | 116 | -6,625(*) | ,847 | ,000 | -8,35 | -4,90 |
| | | 118 | -12,875(*) | ,847 | ,000 | -14,60 | -11,15 |
| | | 120 | -6,750(*) | ,847 | ,000 | -8,47 | -5,03 |
| | | 121 | -3,000(*) | ,847 | ,001 | -4,72 | -1,28 |
| | 118 | 101 | 11,875(*) | ,847 | ,000 | 10,15 | 13,60 |
| | | 102 | 15,250(*) | ,847 | ,000 | 13,53 | 16,97 |
| | | 103 | 13,375(*) | ,847 | ,000 | 11,65 | 15,10 |
| | | 113 | 6,000(*) | ,847 | ,000 | 4,28 | 7,72 |
| | | 114 | 12,000(*) | ,847 | ,000 | 10,28 | 13,72 |
| | | 115 | 1,000 | ,847 | ,246 | -,72 | 2,72 |
| | | 116 | 6,250(*) | ,847 | ,000 | 4,53 | 7,97 |
| | | 117 | 12,875(*) | ,847 | ,000 | 11,15 | 14,60 |
| | | 120 | 6,125(*) | ,847 | ,000 | 4,40 | 7,85 |
| | | 121 | 9,875(*) | ,847 | ,000 | 8,15 | 11,60 |
| | 120 | 101 | 5,750(*) | ,847 | ,000 | 4,03 | 7,47 |
| | | 102 | 9,125(*) | ,847 | ,000 | 7,40 | 10,85 |
| | | 103 | 7,250(*) | ,847 | ,000 | 5,53 | 8,97 |
| | | 113 | -,125 | ,847 | ,884 | -1,85 | 1,60 |
| | | 114 | 5,875(*) | ,847 | ,000 | 4,15 | 7,60 |
| | | 115 | -5,125(*) | ,847 | ,000 | -6,85 | -3,40 |
| | | 116 | ,125 | ,847 | ,884 | -1,60 | 1,85 |
| | | 117 | 6,750(*) | ,847 | ,000 | 5,03 | 8,47 |
| | | 118 | -6,125(*) | ,847 | ,000 | -7,85 | -4,40 |
| | | 121 | 3,750(*) | ,847 | ,000 | 2,03 | 5,47 |
| | 121 | 101 | 2,000(*) | ,847 | ,024 | ,28 | 3,72 |
| | | 102 | 5,375(*) | ,847 | ,000 | 3,65 | 7,10 |
| | | 103 | 3,500(*) | ,847 | ,000 | 1,78 | 5,22 |
| | | 113 | -3,875(*) | ,847 | ,000 | -5,60 | -2,15 |
| | | 114 | 2,125(*) | ,847 | ,017 | ,40 | 3,85 |
| | | 115 | -8,875(*) | ,847 | ,000 | -10,60 | -7,15 |
| | | 116 | -3,625(*) | ,847 | ,000 | -5,35 | -1,90 |
| | | 117 | 3,000(*) | ,847 | ,001 | 1,28 | 4,72 |
| | | 118 | -9,875(*) | ,847 | ,000 | -11,60 | -8,15 |
| | | 120 | -3,750(*) | ,847 | ,000 | -5,47 | -2,03 |
| T 21 | 101 | 102 | -4,667(*) | 2,282 | ,049 | -9,31 | -,02 |
| | | 103 | -1,292 | 2,282 | ,575 | -5,93 | 3,35 |
| | | 113 | -3,042 | 2,282 | ,192 | -7,68 | 1,60 |
| | | 114 | -2,417 | 2,282 | ,297 | -7,06 | 2,23 |
| | | 115 | -2,167 | 2,282 | ,349 | -6,81 | 2,48 |
| | | 116 | -,792 | 2,282 | ,731 | -5,43 | 3,85 |
| | | 117 | ,708 | 2,282 | ,758 | -3,93 | 5,35 |
| | | 118 | -3,417 | 2,282 | ,144 | -8,06 | 1,23 |
| | | 120 | -2,333 | 2,282 | ,314 | -6,98 | 2,31 |
| | | 121 | -3,667 | 2,282 | ,118 | -8,31 | ,98 |
| | 102 | 101 | 4,667(*) | 2,282 | ,049 | ,02 | 9,31 |
| | | 103 | 3,375 | 2,282 | ,149 | -1,27 | 8,02 |
| | | 113 | 1,625 | 2,282 | ,481 | -3,02 | 6,27 |
| | | 114 | 2,250 | 2,282 | ,331 | -2,39 | 6,89 |
| | | 115 | 2,500 | 2,282 | ,281 | -2,14 | 7,14 |
| | | 116 | 3,875 | 2,282 | ,099 | -,77 | 8,52 |
| | | 117 | 5,375(*) | 2,282 | ,025 | ,73 | 10,02 |
| | | 118 | 1,250 | 2,282 | ,587 | -3,39 | 5,89 |
| | | 120 | 2,333 | 2,282 | ,314 | -2,31 | 6,98 |
| | | 121 | 1,000 | 2,282 | ,664 | -3,64 | 5,64 |
| | 103 | 101 | 1,292 | 2,282 | ,575 | -3,35 | 5,93 |
| | | 102 | -3,375 | 2,282 | ,149 | -8,02 | 1,27 |

| | | | | | | |
|-----|-----|-----------|-------|------|--------|------|
| | 113 | -1,750 | 2,282 | ,449 | -6,39 | 2,89 |
| | 114 | -1,125 | 2,282 | ,625 | -5,77 | 3,52 |
| | 115 | -,875 | 2,282 | ,704 | -5,52 | 3,77 |
| | 116 | ,500 | 2,282 | ,828 | -4,14 | 5,14 |
| | 117 | 2,000 | 2,282 | ,387 | -2,64 | 6,64 |
| | 118 | -2,125 | 2,282 | ,358 | -6,77 | 2,52 |
| | 120 | -1,042 | 2,282 | ,651 | -5,68 | 3,60 |
| | 121 | -2,375 | 2,282 | ,305 | -7,02 | 2,27 |
| 113 | 101 | 3,042 | 2,282 | ,192 | -1,60 | 7,68 |
| | 102 | -1,625 | 2,282 | ,481 | -6,27 | 3,02 |
| | 103 | 1,750 | 2,282 | ,449 | -2,89 | 6,39 |
| | 114 | ,625 | 2,282 | ,786 | -4,02 | 5,27 |
| | 115 | ,875 | 2,282 | ,704 | -3,77 | 5,52 |
| | 116 | 2,250 | 2,282 | ,331 | -2,39 | 6,89 |
| | 117 | 3,750 | 2,282 | ,110 | -,89 | 8,39 |
| | 118 | -,375 | 2,282 | ,870 | -5,02 | 4,27 |
| | 120 | ,708 | 2,282 | ,758 | -3,93 | 5,35 |
| | 121 | -,625 | 2,282 | ,786 | -5,27 | 4,02 |
| 114 | 101 | 2,417 | 2,282 | ,297 | -2,23 | 7,06 |
| | 102 | -2,250 | 2,282 | ,331 | -6,89 | 2,39 |
| | 103 | 1,125 | 2,282 | ,625 | -3,52 | 5,77 |
| | 113 | -,625 | 2,282 | ,786 | -5,27 | 4,02 |
| | 115 | ,250 | 2,282 | ,913 | -4,39 | 4,89 |
| | 116 | 1,625 | 2,282 | ,481 | -3,02 | 6,27 |
| | 117 | 3,125 | 2,282 | ,180 | -1,52 | 7,77 |
| | 118 | -1,000 | 2,282 | ,664 | -5,64 | 3,64 |
| | 120 | ,083 | 2,282 | ,971 | -4,56 | 4,73 |
| | 121 | -1,250 | 2,282 | ,587 | -5,89 | 3,39 |
| 115 | 101 | 2,167 | 2,282 | ,349 | -2,48 | 6,81 |
| | 102 | -2,500 | 2,282 | ,281 | -7,14 | 2,14 |
| | 103 | ,875 | 2,282 | ,704 | -3,77 | 5,52 |
| | 113 | -,875 | 2,282 | ,704 | -5,52 | 3,77 |
| | 114 | -,250 | 2,282 | ,913 | -4,89 | 4,39 |
| | 116 | 1,375 | 2,282 | ,551 | -3,27 | 6,02 |
| | 117 | 2,875 | 2,282 | ,216 | -1,77 | 7,52 |
| | 118 | -1,250 | 2,282 | ,587 | -5,89 | 3,39 |
| | 120 | -,167 | 2,282 | ,942 | -4,81 | 4,48 |
| | 121 | -1,500 | 2,282 | ,515 | -6,14 | 3,14 |
| 116 | 101 | ,792 | 2,282 | ,731 | -3,85 | 5,43 |
| | 102 | -3,875 | 2,282 | ,099 | -8,52 | ,77 |
| | 103 | -,500 | 2,282 | ,828 | -5,14 | 4,14 |
| | 113 | -2,250 | 2,282 | ,331 | -6,89 | 2,39 |
| | 114 | -1,625 | 2,282 | ,481 | -6,27 | 3,02 |
| | 115 | -1,375 | 2,282 | ,551 | -6,02 | 3,27 |
| | 117 | 1,500 | 2,282 | ,515 | -3,14 | 6,14 |
| | 118 | -2,625 | 2,282 | ,258 | -7,27 | 2,02 |
| | 120 | -1,542 | 2,282 | ,504 | -6,18 | 3,10 |
| | 121 | -2,875 | 2,282 | ,216 | -7,52 | 1,77 |
| 117 | 101 | -,708 | 2,282 | ,758 | -5,35 | 3,93 |
| | 102 | -5,375(*) | 2,282 | ,025 | -10,02 | -,73 |
| | 103 | -2,000 | 2,282 | ,387 | -6,64 | 2,64 |
| | 113 | -3,750 | 2,282 | ,110 | -8,39 | ,89 |
| | 114 | -3,125 | 2,282 | ,180 | -7,77 | 1,52 |
| | 115 | -2,875 | 2,282 | ,216 | -7,52 | 1,77 |
| | 116 | -1,500 | 2,282 | ,515 | -6,14 | 3,14 |
| | 118 | -4,125 | 2,282 | ,080 | -8,77 | ,52 |
| | 120 | -3,042 | 2,282 | ,192 | -7,68 | 1,60 |
| | 121 | -4,375 | 2,282 | ,064 | -9,02 | ,27 |
| 118 | 101 | 3,417 | 2,282 | ,144 | -1,23 | 8,06 |

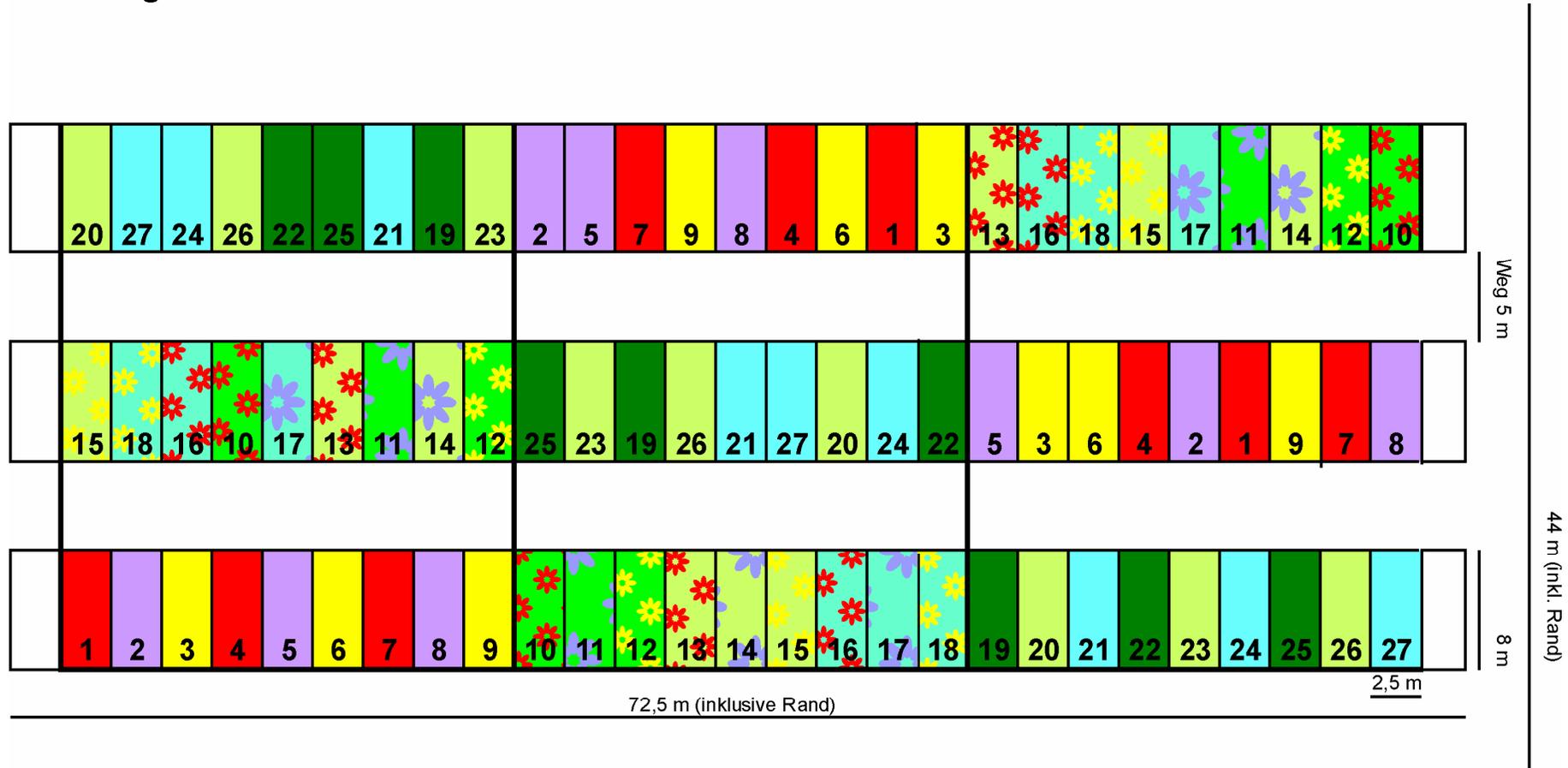
| | | | | | | | |
|-------|-----|-----|------------|-------|------|--------|--------|
| | | 102 | -1,250 | 2,282 | ,587 | -5,89 | 3,39 |
| | | 103 | 2,125 | 2,282 | ,358 | -2,52 | 6,77 |
| | | 113 | ,375 | 2,282 | ,870 | -4,27 | 5,02 |
| | | 114 | 1,000 | 2,282 | ,664 | -3,64 | 5,64 |
| | | 115 | 1,250 | 2,282 | ,587 | -3,39 | 5,89 |
| | | 116 | 2,625 | 2,282 | ,258 | -2,02 | 7,27 |
| | | 117 | 4,125 | 2,282 | ,080 | -,52 | 8,77 |
| | | 120 | 1,083 | 2,282 | ,638 | -3,56 | 5,73 |
| | | 121 | -,250 | 2,282 | ,913 | -4,89 | 4,39 |
| 120 | | 101 | 2,333 | 2,282 | ,314 | -2,31 | 6,98 |
| | | 102 | -2,333 | 2,282 | ,314 | -6,98 | 2,31 |
| | | 103 | 1,042 | 2,282 | ,651 | -3,60 | 5,68 |
| | | 113 | -,708 | 2,282 | ,758 | -5,35 | 3,93 |
| | | 114 | -,083 | 2,282 | ,971 | -4,73 | 4,56 |
| | | 115 | ,167 | 2,282 | ,942 | -4,48 | 4,81 |
| | | 116 | 1,542 | 2,282 | ,504 | -3,10 | 6,18 |
| | | 117 | 3,042 | 2,282 | ,192 | -1,60 | 7,68 |
| | | 118 | -1,083 | 2,282 | ,638 | -5,73 | 3,56 |
| | | 121 | -1,333 | 2,282 | ,563 | -5,98 | 3,31 |
| 121 | | 101 | 3,667 | 2,282 | ,118 | -,98 | 8,31 |
| | | 102 | -1,000 | 2,282 | ,664 | -5,64 | 3,64 |
| | | 103 | 2,375 | 2,282 | ,305 | -2,27 | 7,02 |
| | | 113 | ,625 | 2,282 | ,786 | -4,02 | 5,27 |
| | | 114 | 1,250 | 2,282 | ,587 | -3,39 | 5,89 |
| | | 115 | 1,500 | 2,282 | ,515 | -3,14 | 6,14 |
| | | 116 | 2,875 | 2,282 | ,216 | -1,77 | 7,52 |
| | | 117 | 4,375 | 2,282 | ,064 | -,27 | 9,02 |
| | | 118 | ,250 | 2,282 | ,913 | -4,39 | 4,89 |
| | | 120 | 1,333 | 2,282 | ,563 | -3,31 | 5,98 |
| Summe | 101 | 102 | -4,792 | 7,307 | ,517 | -19,66 | 10,08 |
| | | 103 | 6,083 | 7,307 | ,411 | -8,78 | 20,95 |
| | | 113 | -47,792(*) | 7,307 | ,000 | -62,66 | -32,92 |
| | | 114 | -49,167(*) | 7,307 | ,000 | -64,03 | -34,30 |
| | | 115 | -26,292(*) | 7,307 | ,001 | -41,16 | -11,42 |
| | | 116 | -12,042 | 7,307 | ,109 | -26,91 | 2,83 |
| | | 117 | -40,042(*) | 7,307 | ,000 | -54,91 | -25,17 |
| | | 118 | -27,542(*) | 7,307 | ,001 | -42,41 | -12,67 |
| | | 120 | -62,958(*) | 7,307 | ,000 | -77,83 | -48,09 |
| | | 121 | -45,542(*) | 7,307 | ,000 | -60,41 | -30,67 |
| 102 | | 101 | 4,792 | 7,307 | ,517 | -10,08 | 19,66 |
| | | 103 | 10,875 | 7,307 | ,146 | -3,99 | 25,74 |
| | | 113 | -43,000(*) | 7,307 | ,000 | -57,87 | -28,13 |
| | | 114 | -44,375(*) | 7,307 | ,000 | -59,24 | -29,51 |
| | | 115 | -21,500(*) | 7,307 | ,006 | -36,37 | -6,63 |
| | | 116 | -7,250 | 7,307 | ,328 | -22,12 | 7,62 |
| | | 117 | -35,250(*) | 7,307 | ,000 | -50,12 | -20,38 |
| | | 118 | -22,750(*) | 7,307 | ,004 | -37,62 | -7,88 |
| | | 120 | -58,167(*) | 7,307 | ,000 | -73,03 | -43,30 |
| | | 121 | -40,750(*) | 7,307 | ,000 | -55,62 | -25,88 |
| 103 | | 101 | -6,083 | 7,307 | ,411 | -20,95 | 8,78 |
| | | 102 | -10,875 | 7,307 | ,146 | -25,74 | 3,99 |
| | | 113 | -53,875(*) | 7,307 | ,000 | -68,74 | -39,01 |
| | | 114 | -55,250(*) | 7,307 | ,000 | -70,12 | -40,38 |
| | | 115 | -32,375(*) | 7,307 | ,000 | -47,24 | -17,51 |
| | | 116 | -18,125(*) | 7,307 | ,018 | -32,99 | -3,26 |
| | | 117 | -46,125(*) | 7,307 | ,000 | -60,99 | -31,26 |
| | | 118 | -33,625(*) | 7,307 | ,000 | -48,49 | -18,76 |
| | | 120 | -69,042(*) | 7,307 | ,000 | -83,91 | -54,17 |
| | | 121 | -51,625(*) | 7,307 | ,000 | -66,49 | -36,76 |

| | | | | | | | |
|-----|-----|------------|-----------|-------|--------|--------|-------|
| 113 | 101 | 47,792(*) | 7,307 | ,000 | 32,92 | 62,66 | |
| | 102 | 43,000(*) | 7,307 | ,000 | 28,13 | 57,87 | |
| | 103 | 53,875(*) | 7,307 | ,000 | 39,01 | 68,74 | |
| | 114 | -1,375 | 7,307 | ,852 | -16,24 | 13,49 | |
| | 115 | 21,500(*) | 7,307 | ,006 | 6,63 | 36,37 | |
| | 116 | 35,750(*) | 7,307 | ,000 | 20,88 | 50,62 | |
| | 117 | 7,750 | 7,307 | ,297 | -7,12 | 22,62 | |
| | 118 | 20,250(*) | 7,307 | ,009 | 5,38 | 35,12 | |
| | 120 | -15,167(*) | 7,307 | ,046 | -30,03 | -,30 | |
| | 121 | 2,250 | 7,307 | ,760 | -12,62 | 17,12 | |
| | 114 | 101 | 49,167(*) | 7,307 | ,000 | 34,30 | 64,03 |
| | | 102 | 44,375(*) | 7,307 | ,000 | 29,51 | 59,24 |
| 103 | | 55,250(*) | 7,307 | ,000 | 40,38 | 70,12 | |
| 113 | | 1,375 | 7,307 | ,852 | -13,49 | 16,24 | |
| 115 | | 22,875(*) | 7,307 | ,004 | 8,01 | 37,74 | |
| 116 | | 37,125(*) | 7,307 | ,000 | 22,26 | 51,99 | |
| 117 | | 9,125 | 7,307 | ,221 | -5,74 | 23,99 | |
| 118 | | 21,625(*) | 7,307 | ,006 | 6,76 | 36,49 | |
| 120 | | -13,792 | 7,307 | ,068 | -28,66 | 1,08 | |
| 121 | | 3,625 | 7,307 | ,623 | -11,24 | 18,49 | |
| 115 | | 101 | 26,292(*) | 7,307 | ,001 | 11,42 | 41,16 |
| | | 102 | 21,500(*) | 7,307 | ,006 | 6,63 | 36,37 |
| | 103 | 32,375(*) | 7,307 | ,000 | 17,51 | 47,24 | |
| | 113 | -21,500(*) | 7,307 | ,006 | -36,37 | -6,63 | |
| | 114 | -22,875(*) | 7,307 | ,004 | -37,74 | -8,01 | |
| | 116 | 14,250 | 7,307 | ,060 | -,62 | 29,12 | |
| | 117 | -13,750 | 7,307 | ,069 | -28,62 | 1,12 | |
| | 118 | -1,250 | 7,307 | ,865 | -16,12 | 13,62 | |
| | 120 | -36,667(*) | 7,307 | ,000 | -51,53 | -21,80 | |
| | 121 | -19,250(*) | 7,307 | ,013 | -34,12 | -4,38 | |
| | 116 | 101 | 12,042 | 7,307 | ,109 | -2,83 | 26,91 |
| | | 102 | 7,250 | 7,307 | ,328 | -7,62 | 22,12 |
| 103 | | 18,125(*) | 7,307 | ,018 | 3,26 | 32,99 | |
| 113 | | -35,750(*) | 7,307 | ,000 | -50,62 | -20,88 | |
| 114 | | -37,125(*) | 7,307 | ,000 | -51,99 | -22,26 | |
| 115 | | -14,250 | 7,307 | ,060 | -29,12 | ,62 | |
| 117 | | -28,000(*) | 7,307 | ,001 | -42,87 | -13,13 | |
| 118 | | -15,500(*) | 7,307 | ,042 | -30,37 | -,63 | |
| 120 | | -50,917(*) | 7,307 | ,000 | -65,78 | -36,05 | |
| 121 | | -33,500(*) | 7,307 | ,000 | -48,37 | -18,63 | |
| 117 | | 101 | 40,042(*) | 7,307 | ,000 | 25,17 | 54,91 |
| | | 102 | 35,250(*) | 7,307 | ,000 | 20,38 | 50,12 |
| | 103 | 46,125(*) | 7,307 | ,000 | 31,26 | 60,99 | |
| | 113 | -7,750 | 7,307 | ,297 | -22,62 | 7,12 | |
| | 114 | -9,125 | 7,307 | ,221 | -23,99 | 5,74 | |
| | 115 | 13,750 | 7,307 | ,069 | -1,12 | 28,62 | |
| | 116 | 28,000(*) | 7,307 | ,001 | 13,13 | 42,87 | |
| | 118 | 12,500 | 7,307 | ,097 | -2,37 | 27,37 | |
| | 120 | -22,917(*) | 7,307 | ,004 | -37,78 | -8,05 | |
| | 121 | -5,500 | 7,307 | ,457 | -20,37 | 9,37 | |
| | 118 | 101 | 27,542(*) | 7,307 | ,001 | 12,67 | 42,41 |
| | | 102 | 22,750(*) | 7,307 | ,004 | 7,88 | 37,62 |
| 103 | | 33,625(*) | 7,307 | ,000 | 18,76 | 48,49 | |
| 113 | | -20,250(*) | 7,307 | ,009 | -35,12 | -5,38 | |
| 114 | | -21,625(*) | 7,307 | ,006 | -36,49 | -6,76 | |
| 115 | | 1,250 | 7,307 | ,865 | -13,62 | 16,12 | |
| 116 | | 15,500(*) | 7,307 | ,042 | ,63 | 30,37 | |
| 117 | | -12,500 | 7,307 | ,097 | -27,37 | 2,37 | |
| 120 | | -35,417(*) | 7,307 | ,000 | -50,28 | -20,55 | |

| | | | | | | | |
|--|-----|-----|------------|-------|------|--------|-------|
| | | 121 | -18,000(*) | 7,307 | ,019 | -32,87 | -3,13 |
| | 120 | 101 | 62,958(*) | 7,307 | ,000 | 48,09 | 77,83 |
| | | 102 | 58,167(*) | 7,307 | ,000 | 43,30 | 73,03 |
| | | 103 | 69,042(*) | 7,307 | ,000 | 54,17 | 83,91 |
| | | 113 | 15,167(*) | 7,307 | ,046 | ,30 | 30,03 |
| | | 114 | 13,792 | 7,307 | ,068 | -1,08 | 28,66 |
| | | 115 | 36,667(*) | 7,307 | ,000 | 21,80 | 51,53 |
| | | 116 | 50,917(*) | 7,307 | ,000 | 36,05 | 65,78 |
| | | 117 | 22,917(*) | 7,307 | ,004 | 8,05 | 37,78 |
| | | 118 | 35,417(*) | 7,307 | ,000 | 20,55 | 50,28 |
| | | 121 | 17,417(*) | 7,307 | ,023 | 2,55 | 32,28 |
| | 121 | 101 | 45,542(*) | 7,307 | ,000 | 30,67 | 60,41 |
| | | 102 | 40,750(*) | 7,307 | ,000 | 25,88 | 55,62 |
| | | 103 | 51,625(*) | 7,307 | ,000 | 36,76 | 66,49 |
| | | 113 | -2,250 | 7,307 | ,760 | -17,12 | 12,62 |
| | | 114 | -3,625 | 7,307 | ,623 | -18,49 | 11,24 |
| | | 115 | 19,250(*) | 7,307 | ,013 | 4,38 | 34,12 |
| | | 116 | 33,500(*) | 7,307 | ,000 | 18,63 | 48,37 |
| | | 117 | 5,500 | 7,307 | ,457 | -9,37 | 20,37 |
| | | 118 | 18,000(*) | 7,307 | ,019 | 3,13 | 32,87 |
| | | 120 | -17,417(*) | 7,307 | ,023 | -32,28 | -2,55 |

* Die Differenz der Mittelwerte ist auf dem Niveau .05 signifikant.

Leguminosen/Gräserversuch



-  *Trifolium pratense*
-  *Lolium multiflorum*
-  *Medicago sativa*
-  *Lolium perenne* (Hochzuckersorte)
-  Mischung Gras/Leguminose
-  *Lotus corniculatus*
-  *Lolium perenne* (Vergleichssorte)

Anhangsabbildung 8.1: Parzellenanordnung des Leguminosen/Gräserversuches

Eidesstattliche Erklärung

Hiermit versichere ich, dass ich die vorliegende Bachelorarbeit selbständig verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel verwendet habe. Die Arbeit hat in gleicher oder ähnlicher Form noch in keiner anderen Prüfungsbehörde vorgelegen.

Wetzlar, den 24.08.2008

Danksagung

Mein Dank gilt in erster Linie Herrn Privatdozent Dr. Harald Laser, der mir das Thema zur Bearbeitung überlies und mich über den gesamten Zeitraum in netter Form fachlich betreute.

Ich danke Herrn Prof. Dr. Dr. h.c. W. Opitz von Boberfeld für die Übernahme der Zweitkorrektur und den Mitarbeitern der Professur für organischen Landbau, insbesondere Frau Maria Nägele und Herrn Walter Stinner, für die freundliche Unterstützung.

Weiterer Dank gilt:

- den Biogasanlagenbetreibern Thilo Wünschmann und Andreas Meuth für die kooperative Zusammenarbeit;

- meiner Oberschwester.