



MINISTERIUM
FÜR EIN
LEBENSWEERTES
ÖSTERREICH

HBLFA RAUMBERG - GUMPENSTEIN
LANDWIRTSCHAFT

Abschlussbericht Hirse-GKS

Projekt Nr. 3633 (101043)

Einfluss von Sorte, Reifestadium und Lagerungsdauer auf Gärgaszusammensetzung und Gärungsverluste von Hirse-Ganzkornsilage

**Impact of cultivar, maturity stage and storage period
on gas composition and fermentation loss of
sorghum corn silage**

Projektleitung:

Ing. Reinhard Resch, HBLFA Raumberg-Gumpenstein

Projektmitarbeiter:

Ing. Eduard Zentner, Christian Bachler und Medardus Schweiger
HBLFA Raumberg-Gumpenstein

Ing. Rudolf Schmied und Dr. Karl Mayer, LK Steiermark
Herbert Telser, LFS Hatzendorf

Projektpartner:

Landwirtschaftskammer Steiermark
LFS Hatzendorf

Projektlaufzeit:

2015-2016

raumberg-gumpenstein.at



Impressum

Herausgeber

Höhere Bundeslehr- und Forschungsanstalt für Landwirtschaft (HBLFA)

Raumberg-Gumpenstein, A-8952 Irdning-Donnersbachtal

des Bundesministeriums für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt- und Wasserwirtschaft

Direktor

Dir. HR. Mag. Dr. Anton Hausleitner

Leiter für Forschung und Innovation

Dipl. ECBHM Dr. Johann Gasteiner

Für den Inhalt verantwortlich

die Autoren

Redaktion

Ing. Reinhard Resch

Druck, Verlag und © 2016

HBLFA Raumberg-Gumpenstein, A-8952 Irdning-Donnersbachtal

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung	3
Summary	4
1. Problem- und Fragestellung	5
2. Material und Methoden	6
2.1 Versuchsplan.....	6
2.2 Ausgangsmaterial.....	6
2.3 Transport, Wiegung und Lagerung der GKS-Versuchssilos	6
2.4 Beprobung der Versuchssiloinhalte	6
2.5 Beprobung der Praxissilos	6
2.6 Laboranalysen	8
2.7 Gärgasmessungen	7
2.8 Datenerfassung, -kontrolle und -auswertung	9
3. Ergebnisse und Diskussion	10
3.1 TM-Gehalte (TM) in Hirse-GKS	10
3.2 TM-Verluste während der Lagerung	10
3.3 Rohproteingehalt (XP).....	11
3.4 Stärkegehalt (XS).....	12
3.5 Stärke-Verluste während der Lagerung	13
3.6 Zuckergehalt	14
3.7 Gärung in Hirse-GKS	15
3.7.1 pH-Wert	15
3.7.2 Milchsäure	15
3.7.3 Essigsäure	16
3.7.4 Buttersäure	17
3.7.5 Ethanol	17
3.7.6 Ammoniakanteil (NH ₃) vom Gesamt-N	20
3.8 Gärgaszusammensetzung in Hirse-Ganzkornsilos.....	21
3.9.1 Kohlendioxid (CO ₂) – Exaktversuch	21
3.9.2 Kohlendioxid (CO ₂) – Praxissilos	22
3.9.4 Sauerstoff (O ₂) – Exaktversuch	22
3.9.5 Sauerstoff (O ₂) – Praxissilos	23
3.9.7 Methan (CH ₄) – Exaktversuch	24
3.9.8 Methan (CH ₄) – Praxissilos	24
3.9 Korrelationsanalysen	25
4. Schlussfolgerungen	26
5. Literatur	27
6. Anhang	28

Zusammenfassung

Aufgrund zunehmender Probleme mit dem Maiswurzelbohrer und damit in Verbindung stehenden Fruchtfolgeauflagen werden in Österreich Alternativkulturen zum Mais auch im Bereich der Schweinemast gesucht. Körnerhirse stellt grundsätzlich eine Möglichkeit für die Mastbetriebe dar, weil die Fütterungseignung gewährleistet werden kann. In der Praxis gibt es noch kaum Erfahrungswerte zur Feuchtkornkonservierung von Körnerhirschen in Hermetiksilos, daher wurde von der HBLFA Raumberg-Gumpenstein und der Landeslandwirtschaftskammer Steiermark das Forschungsprojekt „Hirse-GKS“ initiiert. Die GKS-Untersuchungen konzentrierten sich auf qualitative Veränderungen, Gärungsverluste und Gärgaszusammensetzung während einer elfmonatigen Lagerung. Die Körnerhirse von zwei Sorten (Targga, Baggio) wurde von Mitarbeitern der Versuchsstation LFS Hatzendorf an drei verschiedenen Erntezeitpunkten (Reifestadien) in Laborfässer gefüllt, nach Gumpenstein zur Lagerung transportiert und an drei zeitlich versetzten Öffnungszeitpunkten beprobt und analysiert.

Die Hirse-GKS Varianten unterschieden sich im TM-Gehalt und den Inhaltsstoffen (Protein, Stärke, Zucker) zwischen den Erntezeitpunkten und Sorten signifikant voneinander. Die Hirsekörner erreichten in den 50 Liter Laborfässern kein stabiles pH-Niveau, weil der pH-Wert durch die Gärung nicht unter 5,0 absank. Eine alkoholische Gärung dominierte mit 55 bis 85 % Anteil an den Stoffwechselprodukten die Gärung. Der Gärprozess kam in allen Varianten bis zur Beprobung nach elf Monaten Lagerung nicht zum Stillstand. Die mittleren TM-Verluste durch die Gärung lagen je nach TM-Gehalt und Zeitpunkt der Beprobung zwischen 0,2 und 5,2 %, Stärkeverluste beliefen sich auf bis zu 8,7 %. Je feuchter die Hirse-GKS war, umso mehr Gärprodukte wurden gebildet und umso höher fielen die Gärungsverluste aus. Der Abbau an Protein durch die Bildung von Ammoniak (NH_3) betrug bei Varianten mit geringerem TM-Gehalt maximal 4,9 % vom Gesamtstickstoff.

Die Analyse der Gärgaszusammensetzung in den Laborfässern ergab bei der CO_2 -Konzentration einen signifikanten Einfluss der Lagerungsdauer und der Sorte. Bei feuchteren Hirsekörnern nahm CO_2 im Gärgas während der Lagerungsmonate stärker ab als bei der reiferen Hirse-GKS. Sorte „Baggio“ erhöhte die CO_2 -Konzentration stärker als Sorte „Targga“. Mit der Dauer der Lagerung stieg Methan (CH_4) im Gärgas an, die Sauerstoffkonzentration veränderte sich nur zufällig.

Die Gasmessung in Praxissilos mit Hirse-GKS zeigte ein sehr differenziertes Bild im Lagerungsverlauf. Einerseits gab es Betriebe mit optimalen CO_2 -Konzentrationen über viele Lagerungsmonate. Andererseits führte Undichtheit bei einem Hermetiksilos zu baldigem CO_2 -Verlust und starkem Anstieg der Sauerstoffkonzentration.

Die Konservierung von Körnerhirse erfordert richtige Wahl von Erntezeitpunkt und Sorte, damit Kornreife und TM-Gehalt eine zufriedenstellende Gärung sowie CO_2 -Produktion ermöglichen und die Gärungsverluste ein gewisses Maß nicht überschreiten. Der Hermetiksilos muss absolut dicht sein, um CO_2 -Verluste zu unterbinden.

Schlüsselwörter: Hirse-Ganzkornsilage, GKS, Gärungsverluste, Massenbilanz, Gärgas, Kohlendioxid, Methan

Summary

Austrian pig fattening farmers look for alternative crops instead of maize, because increasing problems arise with western corn root worm and, subsequently, with governmental regulation of crop rotation. Sorghum is an appropriate crop for good feeding, but there is little experience in conservation of unbroken sorghum silage (USS) via hermetic silo. Therefore, the AREC Raumberg-Gumpenstein and the Styrian Chamber for Agriculture created the project “sorghum-GKS”. USS-analysis was determined to collect data of quality aspects, fermentation loss and gas composition during the storage period of eleven months. Corn of two different sorghum cultivars (i Targga, ii Baggio) and three maturity stages was harvested at the research station LFS Hatzendorf and filled in 50 litre laboratory barrels. For storage under equal conditions the barrels were transported to Gumpenstein, where they were sampled and analysed at three different dates of storage (after 4, 7 and 11 months).

We observed significant differences in DM-content and nutrients (protein, starch, sugar) between maturity stages as well as the cultivars. USS did not obtain stable pH-level beneath 5.0. A dominant alcoholic fermentation (55 to 85 % of metabolised products) was investigated. Consequently, fermentation process was going on during storage period. The average loss of DM was 0.2 to 5.2 % depending on DM-content and date of sampling; starch loss went up to maximal 8.7 %. Depending on increasing moisture of the sorghum corn fermentation products and fermentation loss increased, as well. Reduction of protein, depending on the production of ammonia (NH₃), lay at a maximum percentage of 4.9 % of the total N.

Analysis of gas composition in laboratory barrels showed significant effects of storage period and cultivars on carbon dioxide concentration (CO₂). Moisty corn lost more CO₂ during storage than sorghum with higher DM-contents. Cultivar “Baggio” produced more CO₂ in comparison to “Targga”. The longer the storage period was, the higher grew the concentration of methane (CH₄) in the silo of USS. Measurement of gas composition in hermetic silos of farmers showed very different results. Some silos showed an optimal CO₂-level with more than 70 volume % over months. One silo was not gastight, so CO₂ decreased beneath 30 % and oxygen (O₂) level has been increasing up to 5 % during a few weeks.

Optimal conservation of USS depends on the right DM-content (stage of maturity) resp. cultivar to get an acceptable fermentation with production of sufficient CO₂ and minimal fermentation loss. Hermetic silos must be gastight to prevent loss of CO₂.

Keywords: unbroken sorghum corn, USS, fermentation losses, fermentation gas, gas composition,

1. Problem- und Fragestellung

In der südlichen Steiermark schädigt der Maiswurzelbohrer (*Diabrotica virgifera* Le Conte) vermehrt die Maiskulturen, insbesondere in den Regionen, wo Mastschweinebetriebe angesiedelt sind. Im Rahmen der Maiswurzelbohrerverordnung (Land Steiermark, 2015) wurde die Fruchtfolge von Mais (*Zea mays* L.) in der Steiermark einschränkend geregelt, um die Ausbreitung des Schädling zu verhindern. Für Mastschweinebetriebe wäre Körnerhirse (*Sorghum bicolor*) eine alternative Kulturart zum Mais, die vom Maiswurzelbohrer kaum befallen wird und daher gut in die neue Fruchtfolgeplanung passen würde. Um die Frage der Praktiker in punkto geeigneter Hirsesorten für den Anbau beantworten zu können wurden Sortenversuche (Mayer und Schally, 2014) angelegt und ausgewertet, um für die Steiermark ertragsstarke Hirsesorten zu finden. Die Eignung von Körnerhirse für Mastschweine wurde in Fütterungsversuchen (Puntigam und Wetscherek, 2013, Wetscherek *et al.*, 2013) untersucht und bestätigt.

In den Mastschweinerationen dominiert in Österreich der Feuchtmals und das System der Ganzkornsilierung (GKS) in einem gasdichten Silo. Im Gärprozess veratmen Mikroorganismen den Restsauerstoff und bilden CO₂. Die Anreicherung von CO₂ im Silo soll schädliche Mikroorganismen in ihrer Entwicklung hemmen und die Silage stabilisieren. Durch die Anbindung eines Gassacks in der Größenordnung von rund 10% des Behältervolumens versucht man die CO₂ Reserven zu vergrößern. Untersuchungen von Mais-GKS (Resch, 2014) zeigten, dass die CO₂ Konzentration im Silo im Laufe der Lagerung abnahm. In der Praxis kommt es bei Mais-GKS in den Sommermonaten gelegentlich zu futterhygienischen Problemen durch Verhefung der Silage.

Völlig offen ist für Mastbetriebe die Frage der Silierbarkeit von Körnerhirse im GKS-Hermetiksilos und ob Hirse-GKS genügend CO₂ bilden kann, um die Stabilität der feuchten Hirsekörner über die Sommermonate zu gewährleisten. Auf massiven Wunsch der steirischen Schweinebauern und der Landwirtschaftskammer Steiermark wurde von der HBLFA Raumberg-Gumpenstein das Projekt „Hirse-GKS“ eingereicht, um harte Fakten zur Konservierung und Lagerung von Körnerhirse in einem Exaktversuch zu erarbeiten. Darüber hinaus wurden mehrere Praxissilos, zwei davon mit 100 % Körnerhirse-GKS, hinsichtlich der Gärgaszusammensetzung während der Lagerungsphase über Monate hinweg messtechnisch beobachtet.

Die HBLFA Raumberg-Gumpenstein als nachgeordnete Dienststelle des Bundesministeriums für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt- und Wasserwirtschaft (BMLFUW) ist für die Versuchsplanung, -durchführung, die statistische Datenauswertung und die Berichtlegung verantwortlich. Es wird an dieser Stelle ausdrücklich darauf hingewiesen, dass sich die im nachfolgenden Versuchsbericht beschriebenen Versuchsergebnisse und die daraus getroffenen Interpretationen ausschließlich auf die im Projekt „Hirse-GKS“ vorgelegenen Bedingungen beziehen.

2. Material und Methoden

2.1 Versuchsplan

Im exakten Silierversuch S-63 wurden vom Versuchsstandort Hatzendorf (Steiermark) insgesamt zwei Körnerhirsesorten (1 = Targga, 2 = Baggio) an drei Ernteterminen (1 = 24. Sept. 2014, 2 = 3. Okt. 2014, 3 = 10. Okt. 2014) und zu drei Beprobungsterminen (1 = 4. Feb. 2015, 2 = 4. Mai 2015, 3 = 7. Sept. 2015) untersucht.

2.2 Ausgangsmaterial

Für den Silierversuch S-63 wurden Versuchssilos (Abbildung 1) mit den geernteten Hirsekörnern angefüllt. Die Versuchssilos waren hermetisch verschließbare Weithalsfässer mit Spannringdeckel (Volumen 60 Liter). Insgesamt 3 Wiederholungen wurden je Variante bis zu der innenliegenden Markierung auf 50 Liter Volumen befüllt. Anschließend wurden die Fässer mit dem Deckel verschlossen.



Abbildung 1: Weithalsfass 60 Liter



Abbildung 2: Lagerung Versuchssilos

2.3 Transport, Wiegung und Lagerung der GKS-Versuchssilos

Die befüllten Versuchssilos wurden sofort nach Silierung zur HBLFA Raumberg-Gumpenstein transportiert und sofort nach Ankunft abgewogen, um die Gärungsverluste berechnen zu können. Für die Wiegung wurde eine elektronische Pultwaage mit einer Teilung von 10 g herangezogen. Die Lagerung der insgesamt 54 Versuchssilos erfolgte in einem Kellerraum (Abbildung 2) bei einer mittleren Raumtemperatur von 24,4 °C (Standardabweichung 2,2 °C).

2.4 Beprobung der Versuchssiloinhalte

Um die Veränderungen der chemischen Prozesse während der GKS-Lagerung verfolgen zu können wurden innerhalb eines Jahres insgesamt drei Beprobungen durchgeführt. Die Abstände

der Beprobungen wurden so gewählt, dass für jede Jahreszeit (Winter, Frühjahr, Sommer) entsprechende Messdaten zur Verfügung stehen. Unmittelbar vor der Probeziehung erfolgte die Rückwaage des Behälters für die Bilanzierung.

Die Silooberfläche wurde fotografiert, um oberflächliche mikrobiologische Veränderungen zu dokumentieren (Abbildung 3). Anschließend wurden verpilzte Anteile entfernt und deren Gewicht grammgenau erfasst (Abbildung 4). Zur Probenahme wurde der verbleibende Inhalt des jeweiligen Versuchsilos in 3 Schichten (oben/mittig/unten) aufgeteilt. Von jeder Schicht wurde der TM-Gehalt mittels Schnellbestimmung mittels NUF 1210 erhoben.



Abbildung 3: Fotodokumentation der Silageoberflächen von Hirse-GKS

Aus dem Material der drei Schichten wurde schließlich die repräsentative Probe für die jeweilige Untersuchung (Frischprobe, Trockenprobe) gezogen, mit dem entsprechenden Probenlabel versehen und anschließend gekühlt.



Abbildung 4: Entfernte Schimmelknollen



Abbildung 5: Schichtenbeprobung Hirse-GKS

2.5 Beprobung der Praxissilos

Die Hirse-GKS von 5 Praxissilos wurden von Mitarbeitern der HBLFA Raumberg-Gumpenstein gezogen. Das Probenmaterial wurde gekühlt und nach Gumpenstein zur Probenvorbereitung transportiert.

2.6 Laboranalysen

An der HBLFA Raumberg-Gumpenstein wurde von den getrockneten und vermahlenden Proben die Weender Nährstoffanalyse sowie von den Frischproben pH, Gärsäuren, Ethanol und Ammonium-N (NH_4) bestimmt. Die Korrektur der TM-Gehalte wurde nach Weißbach und Strubelt (2008) gerechnet. Die Stärke- und Zuckeranalysen wurden im Futtermittellabor Rosenau (LK Niederösterreich) in Auftrag gegeben. Sämtliche Untersuchungen wurden mittels nasschemischer Standardmethoden nach VDLUFA (1976) durchgeführt.

2.7 Gärgasmessungen

Die Messungen der Gärgaskonzentrationen in Volumenprozent erfolgten im Exaktversuch und Praxissilos mit dem DRÄGER-Messsystem X-am 7000 (Abbildung 5). Bei den Versuchssilos erfolgte die Gasmessung durch die Gärspundöffnung knapp oberhalb der GKS-Oberfläche. Nach Entfernung des Gärspundes wurde die Messung der Gärgaszusammensetzung durch die Gärspundöffnung mit einem eingeführten Schlauch durchgeführt. Mit dem DRÄGER-Messsystem wurde das Gärgas mit Messbeginn permanent in das Messgerät gesaugt, um die Konzentrationen von Kohlendioxid (CO_2), Sauerstoff (O_2) und Methan (CH_4) in Volumenprozent erfassen zu können. Für die CO_2 -Messung wurde der Dräger-Sensor „Smart IR CO_2 HC“ mit einem Messbereich von 0-100 Vol.% CO_2 verwendet. Die Messdauer von mindestens 3 Minuten wurde standardisiert eingehalten.

Damit überhaupt eine Messung der Gärgaszusammensetzung bei den Praxissilos durchgeführt werden konnte, wurde an den GKS-Betonsilos am oberseitigen Deckel jeweils ein Kugelhahnventil eingebohrt und abgedichtet (Abbildung 6). Um die Gaszusammensetzung nicht künstlich zu beeinflussen, wurde kein Kohlendioxid über Gasflaschen zugeführt. Die Messung wurde knapp unterhalb des Silodeckels und eine zweite oberhalb der GKS-Oberfläche von Christian Bachler durchgeführt.



Abbildung 6: Deckel mit Kugelhahnventil und Gärgasmessung mit DRÄGER-Messgerät

2.8 Datenerfassung, -kontrolle und –auswertung

Alle relevanten Daten wurden in einer MS-Access Datenbank eingegeben und kontrolliert. Die statistische Datenauswertung erfolgte mit der Software STATGRAFICS XV.I und SPSS 22. Mit Hilfe einer Varianzanalyse wurden die Unterschiede der Varianten in den einzelnen Qualitätsparametern bewertet. Die statistische Auswertung der Effekte der Hauptfaktoren bzw. deren Wechselwirkung wurden anhand eines GLM-Modells durchgeführt. Der multiple Mittelwertvergleich zwischen den Varianten wurde mit dem Tukey-HSD Testverfahren gerechnet. Signifikante Differenzen (p -Wert $< 0,05$) wurden in Form von Indizes dargestellt. Mit Hilfe der Varianzkomponentenschätzung wurde die Einflussgrößenordnung der drei Hauptfaktoren in Prozent (VK %) ermittelt. Schätzgleichungen für einzelne Parameter wurden mittels multipler Regressionsanalyse berechnet.

3. Ergebnisse und Diskussion

3.1 TM-Gehalt (TM) in Hirse-GKS

Der Gehalt an Trockenmasse wird in Hirsekörnern über die Kornreife beeinflusst. Der TM-Gehalt ist bekanntermaßen ein sehr starker Einflussfaktor auf den Gärprozess von Pflanzenmaterial, daher sind die TM-Differenzen der verwendeten Ausgangsmaterialien und deren Effekte auf die Gärung von entsprechend hohem Interesse für die Landwirte.

Tabelle 1: TM-Gehalt von Hirse-GKS in Abhängigkeit von Erntedatum, Sorte und Lagerung

Erntedatum	Sorte	Ausgangs- material	Termin 1 (04.02.2015) g/kg FM	Termin 2 (04.05.2015) g/kg FM	Termin 3 (07.09.2015) g/kg FM
24.Sep	Targga	668,5	668,4	653,3	652,3
24.Sep	Baggio	666,5	649,4	632,3	637,6
03.Okt	Targga	691,8	693,6	664,1	673,9
03.Okt	Baggio	685,6	689,9	662,8	672,9
10.Okt	Targga	753,0	759,2	729,1	740,5
10.Okt	Baggio	756,2	740,0	726,0	730,0

Tabelle 2: TM-Gehalt von Hirse-GKS - Faktoreffekte und Varianzkomponentenschätzung

Faktor	1	2	3	p-Wert	VK %
	g/kg FM				
Erntedatum (E)	648,9 ^a	676,2 ^b	737,5 ^c	0,000	91,0
Sorte (S)	692,7 ^b	682,3 ^a		0,000	4,2
Lagerungsdauer (L)	700,1 ^c	677,9 ^a	684,5 ^b	0,000	3,4
E x S				0,000	
E x L				0,124	
S x L				0,261	

Die durchschnittlichen TM-Gehalte der Hirse-GKS lagen allgemein zwischen 632,3 und 759,2 g/kg FM (Tabelle 1) und damit gut mit Mais-GKS vergleichbar (Resch, 2014). Den größten Einfluss auf den TM-Gehalt hatte der Erntezeitpunkt (Tabelle 2), welcher für 91 % der TM-Varianz verantwortlich war. Innerhalb von 16 Tagen nahm der TM-Gehalt der Hirsekörner um durchschnittlich 88,6 g/kg FM zu. Die TM-Gehalte nahmen vom zweiten auf den dritten Erntezeitpunkt deutlich stärker zu als zwischen den ersten beiden Ernteterminen. Der Einfluss der Hirsesorte war signifikant und betrug durchschnittlich 10 g TM/kg FM. Im Verlauf der GKS-Lagerung konnte eine signifikante Abnahme der TM-Gehalte festgestellt werden.

3.2 TM-Verluste während der Lagerung

Aus wirtschaftlicher Sicht sind für den Landwirt die Konservierungsverluste ein wichtiger Punkt für den Betriebserfolg, deshalb wurden die TM-Verluste im Exaktversuch über entsprechende Massenbilanzen ermittelt.

Bei der Gärung von Körnerhirse-GKS entstanden durchschnittliche TM-Verluste zwischen 0,1 bis 5,2 % (Tabelle 3). Der frühe Erntezeitpunkt am 24. Sept. wirkte sich durch signifikant höhere TM-Verluste negativ aus, d.h. dass Körnerhirsen mit geringeren TM-Gehalten höhere TM-Verluste aufwiesen und ein optimaler Reifezeitpunkt der Körner anzustreben wäre. Sorte Targga war in den TM-Verlusten im Durchschnitt signifikant niedriger und damit besser als Sorte Baggio. Den größten Einfluss auf die TM-Verluste ergab der Beprobungszeitpunkt (Lagerungsdauer). Die TM-Verluste stiegen insbesondere zwischen erster und zweiter Beprobung (Tabelle 4). Die Größenordnung der TM-Verluste entsprechen Mais-GKS mit vergleichbarem TM-Gehalt (Gross und Riebe, 1974, Resch, 2014).

Tabelle 3: TM-Verluste von Hirse-GKS in Abhängigkeit von Erntedatum, Sorte und Lagerung

Erntedatum	Sorte	Termin 1	Termin 2	Termin 3
		(04.02.2015)	(04.05.2015)	(07.09.2015)
		%	%	%
24.Sep	Targga	-2,3	-4,3	-4,8
24.Sep	Baggio	-2,5	-5,0	-5,2
03.Okt	Targga	-0,4	-4,7	-3,4
03.Okt	Baggio	-0,1	-4,1	-2,6
10.Okt	Targga	0,4	-3,8	-2,2
10.Okt	Baggio	-2,5	-4,5	-4,1

Tabelle 4: TM-Verluste von Hirse-GKS - Faktoreffekte und Varianzkomponentenschätzung

Faktor	1	2	3	p-Wert	VK %
	%				
Erntedatum (E)	-4,03 ^a	-2,53 ^b	-2,78 ^b	0,000	3,8
Sorte (S)	-2,83 ^b	-3,40 ^a		0,010	0,0
Lagerungsdauer (L)	-1,24 ^c	-4,39 ^a	-3,70 ^b	0,000	79,8
E x S				0,000	
E x L				0,031	
S x L				0,400	

3.3 Rohproteingehalt (XP)

Die durchschnittlichen Rohproteingehalte der einzelnen GKS-Varianten lagen im Silierversuch S-63 zwischen 82,4 und 93,1 g/kg TM (Tabelle 5) und damit etwas höher als bei Mais-GKS (Resch, 2014). Mit zunehmender Kornreife verringerte sich der Rohproteingehalt signifikant um 3,6 g/kg TM. Der Sortenunterschied war mit 4,1 g XP/kg TM signifikant und zwar zugunsten Sorte Baggio. In der Varianzkomponentenschätzung war Faktor Sorte hauptverantwortlich für die Proteinvarianz (Tabelle 6). Während der Lagerung konnten im Durchschnitt keine signifikante Veränderungen der Rohproteingehalte von Hirse-GKS festgestellt werden.

Tabelle 5: Rohproteingehalt von Hirse-GKS in Abhängigkeit von Erntedatum, Sorte und Lagerung

Erntedatum	Sorte	Ausgangs- material	Termin 1 (04.02.2015) g/kg TM	Termin 2 (04.05.2015) g/kg TM	Termin 3 (07.09.2015) g/kg TM
24.Sep	Targga	86,2	89,8	87,7	88,6
24.Sep	Baggio	94,5	88,8	93,1	92,3
03.Okt	Targga	87,4	87,7	84,6	85,0
03.Okt	Baggio	87,6	93,0	92,9	91,6
10.Okt	Targga	75,5	89,0	82,4	84,0
10.Okt	Baggio	90,3	85,5	90,6	87,5

Tabelle 6: Rohproteingehalt von Hirse-GKS - Faktoreffekte und Varianzkomponentenschätzung

Faktor	1	2	3	p-Wert	VK %
	g/kg TM				
Erntedatum (E)	90,1 ^b	89,2 ^b	86,5 ^a	0,002	0,0
Sorte (S)	86,5 ^a	90,6 ^b		0,000	45,4
Lagerungsdauer (L)	89,0 ^a	88,5 ^a	88,2 ^a	0,706	11,2
E x S				0,062	
E x L				0,634	
S x L				0,002	

3.4 Stärkegehalt (XS)

Tabelle 7: Stärkegehalt von Hirse-GKS in Abhängigkeit von Erntedatum, Sorte und Lagerung

Erntedatum	Sorte	Ausgangs- material	Termin 1 (04.02.2015) g/kg TM	Termin 3 (07.09.2015) g/kg TM
24.Sep	Targga	734	722,0	724,0
24.Sep	Baggio	748	728,0	720,7
03.Okt	Targga	743	709,7	737,3
03.Okt	Baggio	768	732,7	738,3
10.Okt	Targga	757	755,0	763,3
10.Okt	Baggio	751	772,3	768,3

Die durchschnittlichen Stärkegehalte der Körnerhirsen lagen zwischen 710 und 772 g XS/kg TM (Tabelle 7) und sind mit jenen von Mais-GKS vergleichbar (Resch, 2014). Der Einfluss des Erntedatums wirkte sich am stärksten auf den Stärkegehalt in den Hirsekörnern aus, insbesondere vom zweiten auf den dritten Erntezeitpunkt (Tabelle 8) kam es zu einem deutlichen Anstieg. Im Silierversuch konnte ein signifikanter Sorteneffekt festgestellt werden. Sorte Baggio enthielt im Durchschnitt um 8,2 g mehr Stärke als Sorte Targga. Im Verlauf der Lagerung war die Stärkedifferenz zwischen ersten und dritten Beprobungstermin nicht signifikant.

Tabelle 8: Stärkegehalt von Hirse-GKS - Faktoreffekte und Varianzkomponentenschätzung

Faktor	1	2	3	p-Wert	VK %
	g/kg TM				
Erntedatum (E)	723,7 ^a	729,5 ^a	764,8 ^b	0,000	78,8
Sorte (S)	735,2 ^a	743,4 ^b		0,005	1,0
Lagerungsdauer (L)	736,6 ^a		742,0 ^a	0,050	9,5
E x S				0,202	
E x L				0,016	
S x L				0,010	

3.5 Stärke-Verluste während der Lagerung

Im Verlauf der Lagerung gingen durchschnittlich zwischen 0,1 und 8,7 % Stärke der Hirse-GKS verloren (Tabelle 7). Gegenüber Mais-GKS (Resch, 2014) waren die Stärkeverluste etwas höher. Der Einfluss des Erntedatums wirkte sich in der Varianzkomponentenanalyse am stärksten auf die Varianz der Stärkeverluste in den Hirsekörnern aus, insbesondere die ersten beiden Termine hatten deutlich höhere Verluste an Stärke als die reiferen Körnerhirsens zum dritten Erntetermin (Tabelle 10).

Tabelle 9: Stärkeverluste von Hirse-GKS in Abhängigkeit von Erntedatum, Sorte und Lagerung

Erntedatum	Sorte	Termin 1	Termin 3
		(04.02.2015)	(07.09.2015)
		%	%
24.Sep	Targga	-3,9	-6,1
24.Sep	Baggio	-5,1	-8,7
03.Okt	Targga	-4,9	-4,1
03.Okt	Baggio	-4,7	-6,3
10.Okt	Targga	0,1	-1,4
10.Okt	Baggio	0,2	-1,9

Tabelle 10: Stärkeverluste von Hirse-GKS - Faktoreffekte und Varianzkomponentenschätzung

Faktor	1	2	3	p-Wert	VK %
	%				
Erntedatum (E)	-5,9 ^a	-5,0 ^a	-0,7 ^b	0,000	68,9
Sorte (S)	-3,4 ^b	-4,4 ^a		0,012	0,0
Lagerungsdauer (L)	-3,0 ^b		-4,7 ^b	0,000	17,4
E x S				0,224	
E x L				0,054	
S x L				0,070	

Der Sorteneffekt war signifikant, Sorte Baggio wies durchschnittlich um 1 % höhere Stärkeverluste auf als Sorte Targga. Im Verlauf der Lagerung nahmen die Stärkeverluste von 3 auf 4,7 % signifikant zu.

3.6 Zuckergehalt (XZ)

Tabelle 11: Zuckergehalte von Hirse-GKS in Abhängigkeit von Erntedatum, Sorte und Lagerung

Erntedatum	Sorte	Ausgangs- material	Termin 1 (04.02.2015) g/kg TM	Termin 3 (07.09.2015) g/kg TM
24.Sep	Targga	15	24,3	31,7
24.Sep	Baggio	16	36,0	45,3
03.Okt	Targga	9	20,3	27,3
03.Okt	Baggio	9	25,3	34,7
10.Okt	Targga	10	4,7	9,3
10.Okt	Baggio	9	8,7	13,7

Tabelle 12: Zuckergehalte von Hirse-GKS - Faktoreffekte und Varianzkomponentenschätzung

Faktor	1	2	3	p-Wert	VK %
	g/kg TM				
Erntedatum (E)	34,3 ^c	26,9 ^b	9,1 ^a	0,000	73,8
Sorte (S)	19,6 ^a	27,3 ^b		0,000	11,0
Lagerungsdauer (L)	19,9 ^a		27,0 ^b	0,000	12,2
E x S				0,001	
E x L				0,147	
S x L				0,336	

Die Zuckergehalte des Ausgangsmaterials waren im Vergleich zu den zwei untersuchten Beprobungsterminen in fast allen Fällen geringer (Tabelle 9). Diese Situation entspricht nicht der gärungstechnischer Norm, weil durch mikrobiologische Fermentation Zucker zu flüchtigen organischen Verbindungen (VOC) verstoffwechselt wird. Eine Erhöhung von wasserlöslichen Kohlenhydraten (WSC) würde einem Abbau von höher gebundenen Kohlenhydraten (Stärke) voraussetzen. Eine alkoholische Gärung könnte dafür verantwortlich sein.

Im Exaktversuch hatte der Faktor Erntedatum den stärksten Einfluss auf die Varianz der Zuckergehalte von Körnerhirse (Tabelle 12). Die durchschnittlichen Zuckergehalte lagen zwischen 5 und 45 g/kg TM (Tabelle 11). Sorte Baggio enthielt signifikant mehr Zucker als Sorte Targga. Die Lagerung führte den Messungen zufolge zu einer signifikanten Erhöhung der Zuckergehalte. Diese Ergebnisse müssen durch weitere Untersuchungen verifiziert werden, weil die Erhöhung des Zuckergehaltes in einem Gärprozess außergewöhnlich ist.

3.7 Gärung in Hirse-GKS

3.7.1 pH-Wert

Tabelle 13: pH-Wert von Hirse-GKS in Abhängigkeit von Erntedatum, Sorte und Lagerung

Erntedatum	Sorte	Termin 1	Termin 2	Termin 3
		(04.02.2015)	(04.05.2015)	(07.09.2015)
		g/kg TM	g/kg TM	g/kg TM
24.Sep	Targga	5,29	5,09	5,13
24.Sep	Baggio	5,24	5,12	5,07
03.Okt	Targga	5,47	5,19	5,31
03.Okt	Baggio	5,53	5,28	5,32
10.Okt	Targga	6,07	5,60	5,75
10.Okt	Baggio	5,76	5,27	5,42

Tabelle 14: pH-Wert von Hirse-GKS - Faktoreffekte und Varianzkomponentenschätzung

Faktor	1	2	3	p-Wert	VK %
	g/kg TM				
Erntedatum (E)	5,15 ^a	5,35 ^b	5,64 ^c	0,000	64,3
Sorte (S)	5,43 ^b	5,33 ^a		0,006	3,5
Lagerungsdauer (L)	5,56 ^b	5,26 ^a	5,33 ^a	0,000	21,4
E x S				0,000	
E x L				0,062	
S x L				0,788	

Die durchschnittlichen pH-Werte in Hirse-GKS lagen zwischen 5,1 und 6,1 (Tabelle 13) und damit allgemein etwas höher als bei Mais-GKS (Wetscherek, 2014). Der TM-Gehalt der Hirsekörner hatte den stärksten Einfluss auf die pH-Absenkung, weil früh geerntete GKS mit geringem TM-Gehalt die tiefsten pH-Werte (5,15) und der späte Erntezeitpunkt mit hohen TM-Gehalten zu den höchsten pH-Werten (5,64) führte. Sorte Targga hatte höhere TM-Gehalte, daher war auch der pH-Wert signifikant höher als bei Sorte Baggio (Tabelle 14). Die pH-Absenkung dauerte in den Laborfässern sehr lange, weil bei der ersten Beprobung der pH im Durchschnitt um 0,2 bis 0,3 pH-Einheiten höher lag als bei den späteren Probebeziehungen. In Bezug auf die Lagerungsdauer wurden die tiefsten pH-Werte bei der zweiten Beprobung festgestellt, danach kam es tendenziell zu einer leichten pH-Erhöhung.

3.7.2 Milchsäure

Die durchschnittlichen Milchsäuregehalte lagen in der Hirse-GKS zwischen 0,1 und 2,6 g/kg TM (Tabelle 15). Im Vergleich zu Mais-GKS (Resch, 2014) war die Milchsäuregärung deutlich geringer ausgeprägt bis kaum vorhanden. Der TM-Gehalt hatte auf die Milchsäuregärung einen signifikanten Einfluss (Tabelle 16), weil in den feuchteren Körner der ersten beiden Reifegruppen mehr Milchsäure gebildet wurde als in der trockeneren Hirse-GKS der dritten Reifegruppe. Bei

Milchsäure konnte kein Sorteneffekt festgestellt werden. Mit zunehmender Lagerungsdauer stiegen die Milchsäuregehalte signifikant an.

Tabelle 15: Milchsäure von Hirse-GKS in Abhängigkeit von Erntedatum, Sorte und Lagerung

Erntedatum	Sorte	Termin 1 (04.02.2015) g/kg TM	Termin 2 (04.05.2015) g/kg TM	Termin 3 (07.09.2015) g/kg TM
24.Sep	Targga	1,3	1,9	1,7
24.Sep	Baggio	1,6	1,6	2,3
03.Okt	Targga	1,2	1,6	2,6
03.Okt	Baggio	0,9	1,5	2,0
10.Okt	Targga	0,2	0,1	0,7
10.Okt	Baggio	0,4	0,2	1,3

Tabelle 16: Milchsäure von Hirse-GKS - Faktoreffekte und Varianzkomponentenschätzung

Faktor	1	2	3	p-Wert	VK %
	g/kg TM				
Erntedatum (E)	1,7 ^b	1,6 ^b	0,5 ^a	0,000	35,0
Sorte (S)	1,2 ^a	1,3 ^a		0,502	0,0
Lagerungsdauer (L)	0,9 ^a	1,1 ^a	1,8 ^b	0,000	48,6
E x S				0,029	
E x L				0,075	
S x L				0,488	

3.7.3 Essigsäure

Die Essigsäuregehalte (inkl. Propionsäure) lagen zwischen 0,9 und 3,0 g/kg TM (Tabelle 17) und damit etwas höher als die Milchsäuregehalte. Die Bildung von Essigsäure stand ähnlich wie der Milchsäuregehalt signifikant in Abhängigkeit zum TM-Gehalt und der Lagerungsdauer von Hirse-GKS. Ein Sorteneffekt konnte nicht beobachtet werden (Tabelle 18).

Tabelle 17: Essigsäure von Hirse-GKS in Abhängigkeit von Erntedatum, Sorte und Lagerung

Erntedatum	Sorte	Termin 1 (04.02.2015) g/kg TM	Termin 2 (04.05.2015) g/kg TM	Termin 3 (07.09.2015) g/kg TM
24.Sep	Targga	2,3	2,4	3,0
24.Sep	Baggio	2,4	2,7	2,6
03.Okt	Targga	1,8	1,6	2,3
03.Okt	Baggio	1,7	1,9	2,4
10.Okt	Targga	0,9	1,0	1,4
10.Okt	Baggio	1,0	1,1	1,7

Tabelle 18: Essigsäure von Hirse-GKS - Faktoreffekte und Varianzkomponentenschätzung

Faktor	1	2	3	p-Wert	VK %
	g/kg TM				
Erntedatum (E)	2,6 ^c	2,0 ^b	1,2 ^a	0,000	66,2
Sorte (S)	1,8 ^a	2,0 ^a		0,081	0,0
Lagerungsdauer (L)	1,7 ^a	1,8 ^a	2,2 ^b	0,000	22,9
E x S				0,594	
E x L				0,561	
S x L				0,357	

3.7.4 Buttersäure

Tabelle 19: Buttersäure von Hirse-GKS in Abhängigkeit von Erntedatum, Sorte und Lagerung

Erntedatum	Sorte	Termin 1	Termin 2	Termin 3
		(04.02.2015)	(04.05.2015)	(07.09.2015)
		g/kg TM		
24.Sep	Targga	0,4	0,3	0,5
24.Sep	Baggio	0,5	0,4	0,8
03.Okt	Targga	0,4	0,2	0,5
03.Okt	Baggio	0,2	0,2	0,4
10.Okt	Targga	0,0	0,0	0,0
10.Okt	Baggio	0,0	0,0	0,0

In Hirse-GKS wurden durchschnittlich zwischen 0,0 und 0,8 g Buttersäure/kg TM (Tabelle 19) gebildet. Mit späterem Erntedatum bzw. zunehmendem TM-Gehalt verringerten sich die Buttersäuregehalte signifikant gegen Null. Die Sorte hatte keinen Einfluss auf den Buttersäuregehalt. Im Verlauf der Lagerung konnte erst eine Abnahme, Richtung Herbst aber wieder eine signifikante Zunahme der Buttersäuregehalte beobachtet werden.

Tabelle 20: Buttersäure von Hirse-GKS - Faktoreffekte und Varianzkomponentenschätzung

Faktor	1	2	3	p-Wert	VK %
	g/kg TM				
Erntedatum (E)	0,5 ^c	0,3 ^b	0,0 ^a	0,000	82,9
Sorte (S)	0,3 ^a	0,3 ^a		0,125	5,3
Lagerungsdauer (L)	0,3 ^b	0,2 ^a	0,4 ^c	0,000	6,5
E x S				0,000	
E x L				0,000	
S x L				0,038	

3.7.5 Ethanol

Die durchschnittlichen Ethanolgehalte von Hirse-GKS lagen zwischen 4,9 und 16,6 g/kg TM (Tabelle 21) und nahmen damit den überwiegenden Anteil der Stoffwechselprodukte aus dem

Gärprozess ein. Ein späterer Erntedatum bzw. höherer TM-Gehalt wirkte sich signifikant verringern aus (Tabelle 22). Sorte Baggio enthielt aufgrund des geringeren TM-Gehaltes signifikant höhere Ethanolgehalte als Sorte Targga. Im Verlauf der Lagerung kam es zwischen zweiten und dritten Beprobungstermin allgemein zu einer signifikanten Erhöhung des Ethanolgehaltes in Hirse-GKS.

Tabelle 21: Ethanolgehalt von Hirse-GKS in Abhängigkeit von Erntedatum, Sorte und Lagerung

Erntedatum	Sorte	Termin 1 (04.02.2015) g/kg TM	Termin 2 (04.05.2015) g/kg TM	Termin 3 (07.09.2015) g/kg TM
24.Sep	Targga	11,4	10,3	14,6
24.Sep	Baggio	13,4	12,0	14,3
03.Okt	Targga	8,2	8,6	9,3
03.Okt	Baggio	9,0	9,5	10,0
10.Okt	Targga	4,9	6,3	7,3
10.Okt	Baggio	5,4	6,0	8,5

Tabelle 22: Ethanolgehalt von Hirse-GKS - Faktoreffekte und Varianzkomponentenschätzung

Faktor	1	2	3	p-Wert	VK %
	g/kg TM				
Erntedatum (E)	12,7 ^c	9,1 ^b	6,4 ^a	0,000	80,5
Sorte (S)	9,0 ^a	9,8 ^b		0,001	0,0
Lagerungsdauer (L)	8,7 ^a	8,8 ^a	10,7 ^b	0,000	15,3
E x S				0,487	
E x L				0,001	
S x L				0,586	

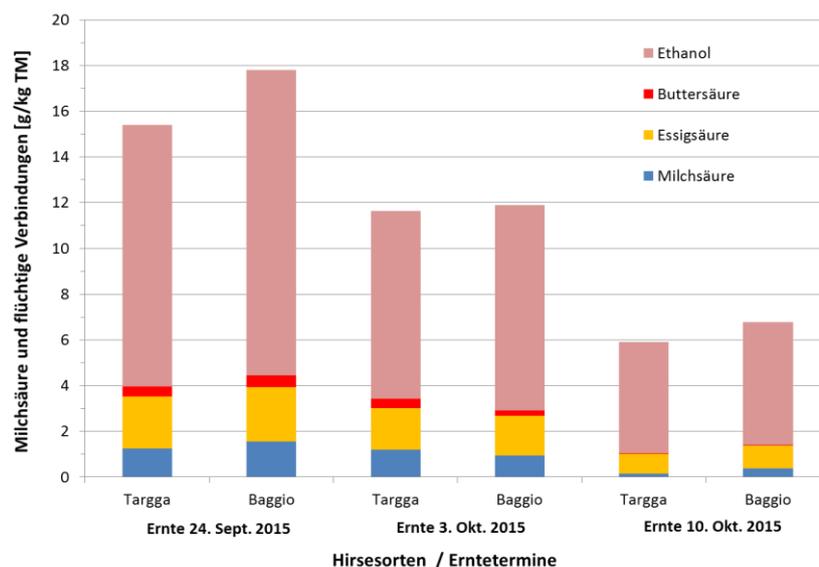


Abbildung 7: Einfluss von Erntetermin und Sorte auf den Gehalt an Gärungsprodukten in Hirse-GKS nach 4 Monaten Lagerung (Beprobung 4. Feb. 2015).

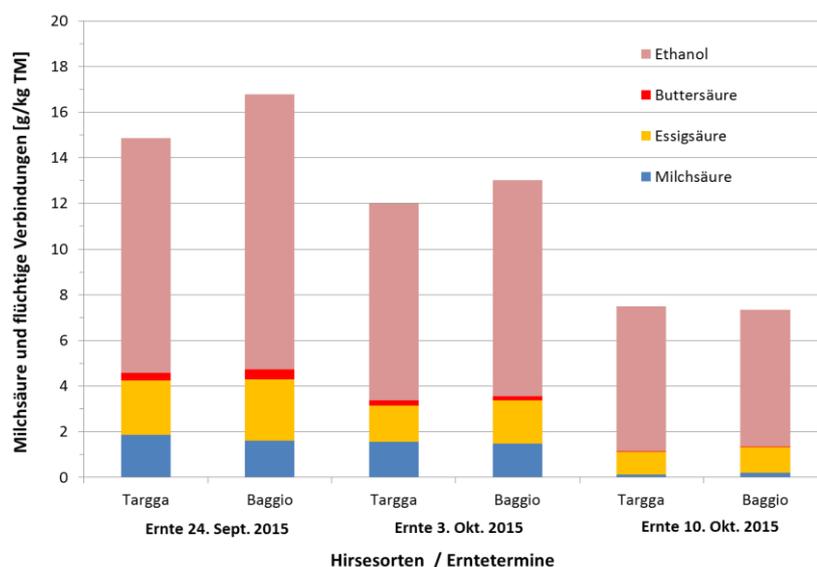


Abbildung 8: Einfluss von Erntetermin und Sorte auf den Gehalt an Gärungsprodukten in Hirse-GKS nach 7 Monaten Lagerung (Beprobung 4. Mai 2015).

Die Summe der Gärproduktgehalte zeigte einen sehr starken Zusammenhang mit dem Erntedatum, welcher den Reifegrad und TM-Gehalt der Hirsekörner beeinflusste (Abbildung 7). Je feuchter die Hirsekörner waren, umso höher wurden die Gehalte der Stoffwechselprodukte in der GKS. Innerhalb von 16 Tagen Differenz im Erntetermin wurde die stoffliche Umsetzung durch die Gärung deutlich geringer. Vergleicht man die Verhältnisse der einzelnen Gärprodukte, so zeigte sich eine überproportional ausgeprägte alkoholische Gärung. In Hirse-GKS wurden je nach Variante zwischen 55 und 85 % an Ethanol von den gesamten Gärprodukten gebildet. Diese Größenordnung übersteigt den Ethanolanteil, den Resch und Weiss (2016) in Mais-GKS beobachtet haben.

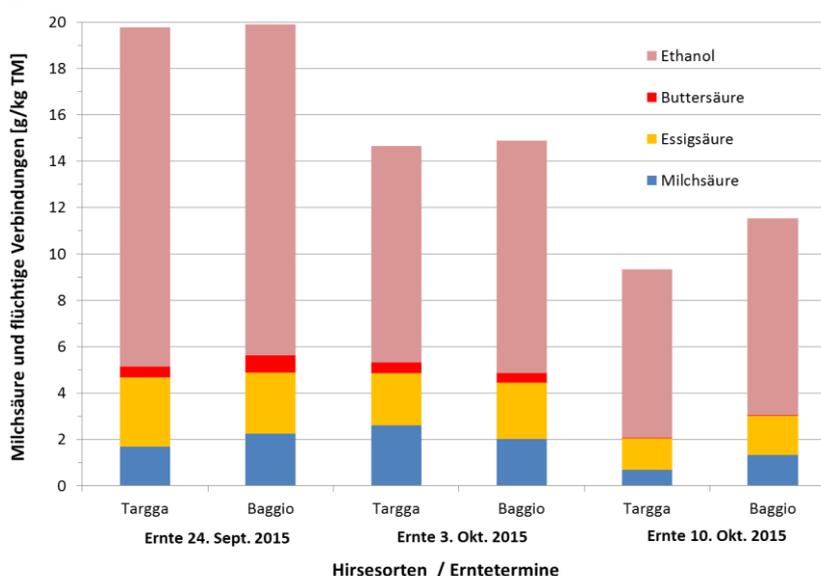


Abbildung 9: Einfluss von Erntetermin und Sorte auf den Gehalt an Gärungsprodukten in Hirse-GKS nach 11 Monaten Lagerung (Beprobung 7. Sept. 2015).

Zwischen der ersten und zweiten Beprobung waren die Unterschiede in den Gärprodukten nicht praxisrelevant, danach stiegen die Gehaltswerte in den meisten Parametern signifikant an (Abbildung 9). Unter Laborbedingungen trat keine Stabilisierung der Gärung im Laufe der elfmonatigen Lagerung ein.

3.7.6 Ammoniakanteil (NH₃) vom Gesamt-N

Tabelle 23: NH₃-Anteil vom Gesamt-N in Hirse-GKS in Abhängigkeit von Erntedatum, Sorte und Lagerung

Erntedatum	Sorte	Termin 1	Termin 2	Termin 3
		(04.02.2015) % von Ges.N	(04.05.2015) % von Ges.N	(07.09.2015) % von Ges.N
24.Sep	Targga	2,1	3,3	4,2
24.Sep	Baggio	2,5	3,9	4,9
03.Okt	Targga	1,6	2,9	3,4
03.Okt	Baggio	1,6	2,9	4,1
10.Okt	Targga	0,9	1,5	1,6
10.Okt	Baggio	0,9	1,3	1,8

Der prozentuelle Anteil von Ammoniak (NH₃-N) am Gesamtstickstoffgehalt wird in der Gärungsforschung als Maßstab für den Abbau an Protein-N zu Nichtprotein-N (NPN) herangezogen. Die durchschnittlichen Anteile von Ammoniak (NH₃-N) am Gesamtstickstoffgehalt lagen bei Hirse-GKS zwischen 0,9 und 4,9 % (Tabelle 23). Im Exaktversuch konnte ein signifikanter Einfluss des Erntedatums auf den Proteinabbau festgestellt werden, d.h. mit zunehmender Kornreife sank der Proteinabbau im GKS-Gärprozess. Den größten Effekt hinsichtlich der Ammoniak-Varianz übte die Lagerung auf Hirse-GKS aus (Tabelle 24). Zwischen der Beprobung im Februar und September kam es zu einer Verdoppelung des Anteils an NH₃-N von 1,6 auf 3,3 %.

Tabelle 24: NH₃-Anteil vom Gesamt-N in Hirse-GKS - Faktoreffekte und Varianzkomponentenschätzung

Faktor	1	2	3	p-Wert	VK %
	% von Gesamt-N				
Erntedatum (E)	3,5 ^c	2,8 ^b	1,3 ^a	0,000	29,5
Sorte (S)	2,4 ^a	2,7 ^b		0,000	0,0
Lagerungsdauer (L)	1,6 ^a	2,6 ^b	3,3 ^c	0,000	67,9
E x S				0,008	
E x L				0,000	
S x L				0,046	

3.8 Gärgaszusammensetzung in Hirse-GKS

3.8.1 Kohlendioxid (CO₂) - Exaktversuch

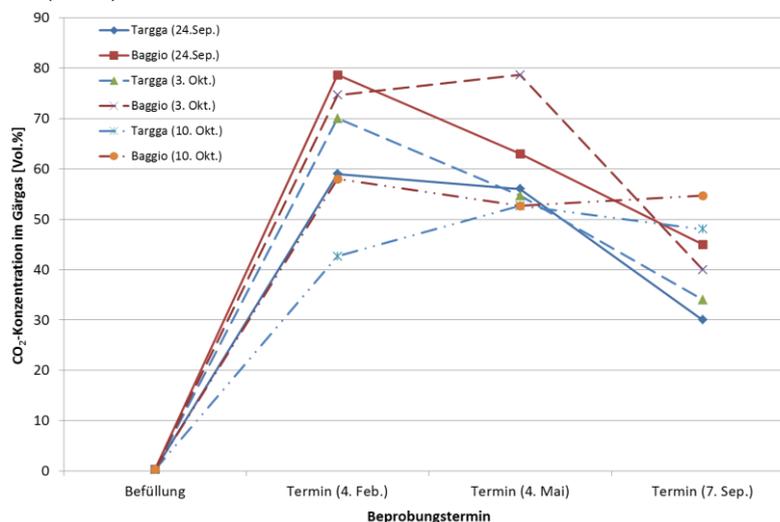


Abbildung 10: CO₂-Konzentration im Gärgas in Abhängigkeit von Erntetermin, Sorte und Lagerungsdauer

Die Konzentrationen an CO₂ schwankten im Gärgas zwischen 22 und 84 Vol.%. Die CO₂-Differenzen waren zwischen den Ernteterminen nicht signifikant (Tabelle 25). Sorte Baggio produzierte mit durchschnittlich 60,6 Vol.% signifikant mehr CO₂ als Sorte Targga mit 49,7 Vol.%. Der größte Einfluss auf die CO₂-Konzentration im Gärgas wurde durch die Lagerungsdauer ausgeübt.

Tabelle 25: CO₂-Konzentration im Gärgas von Hirse-GKS - Faktoreffekte und Varianzkomponentenschätzung

Faktor	1	2	3	p-Wert	VK %
	Vol. %				
Erntedatum (E)	55,3 ^a	58,7 ^a	51,4 ^a	0,097	0,0
Sorte (S)	49,7 ^a	60,6 ^b		0,000	0,0
Lagerungsdauer (L)	63,8 ^b	59,6 ^b	41,9 ^a	0,000	80,4
E x S				0,597	
E x L				0,000	
S x L				0,818	

Im Laufe der Lagerung konnte bei den Körnerhirsen der ersten beiden Erntetermine im Durchschnitt eine CO₂-Abnahme festgestellt werden. Die reifere Körnerhirse des dritten Erntetermines hatte bei der ersten Beprobung signifikant weniger CO₂ im Gärgas, allerdings konnte das Niveau von rund 50 Vol.% über 7 Monate bis zur letzten Beprobung gehalten werden, sodass diese Varianten zum Schluss signifikant höhere CO₂-Werte hatte als die GKS der ersten Erntetermine.

3.8.2 Kohlendioxid (CO₂) - Praxissilos

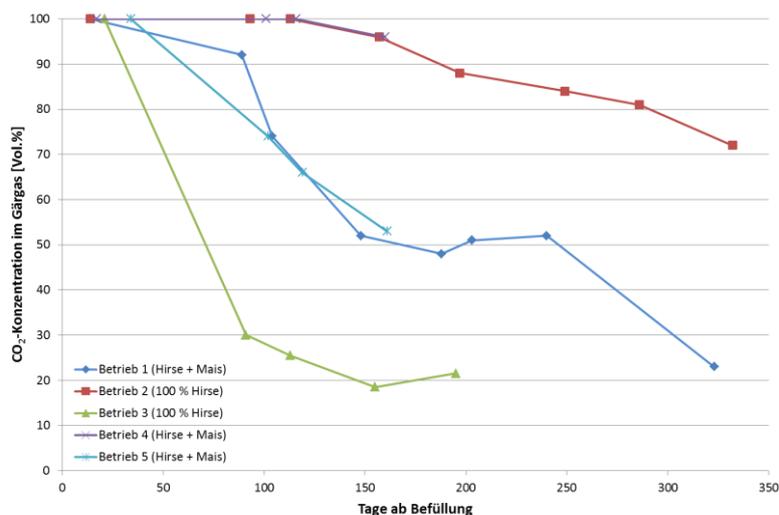


Abbildung 11: CO₂- Konzentration im Gärgas von Hirse-Praxissilos während der Lagerung

Im Gegensatz zu den Versuchssilos nahm die CO₂-Konzentration in den Praxissilos einen völlig anderen Verlauf (Abbildung 11). Es kam innerhalb weniger Tage zu einer völligen CO₂-Sättigung der Gärgasatmosphäre. Betrieb 2 mit 100 % Hirse konnte das CO₂-Niveau über mehr als 300 Tag über 70 Vol.% halten. Betrieb 3, ebenfalls mit kompletter Hirsebefüllung, hatte mit Undichtheit des Hermetiksilos zu kämpfen, daher nahm die CO₂-Konzentration nach drei Monaten Lagerung auf 30 Vol.% ab. Bei diesem Betrieb gab es entsprechende Bedenken hinsichtlich hygienischer Stabilität und es wurde nach 5 Monaten CO₂ mittels Gasflasche nachgefüllt. Die Erhöhung der CO₂-Konzentration war durch diese Maßnahme allerdings nicht stark ausgeprägt. (Abbildung 11). Bei den drei Betrieben mit Hirse/Mais Befüllung war Betrieb 4 mit sehr gutem CO₂-Verlauf, die beiden übrigen Betriebe hatten durch die laufende Entnahme eine CO₂-Reduktion von rund 10 % je Monat zu verzeichnen.

3.8.3 Sauerstoff (O₂) – Exaktversuch

Tabelle 26: O₂-Konzentration im Gärgas von Hirse-GKS - Faktoreffekte und Varianzkomponentenschätzung

Faktor	1	2	3	p-Wert	VK %
	Vol. %				
Erntedatum (E)	1,2 ^a	2,0 ^a	3,7 ^b	0,000	21,8
Sorte (S)	2,6 ^a	2,0 ^a		0,148	0,0
Lagerungsdauer (L)	2,6 ^a	2,6 ^a	2,8 ^a	0,079	2,2
E x S				0,385	
E x L				0,122	
S x L				0,934	

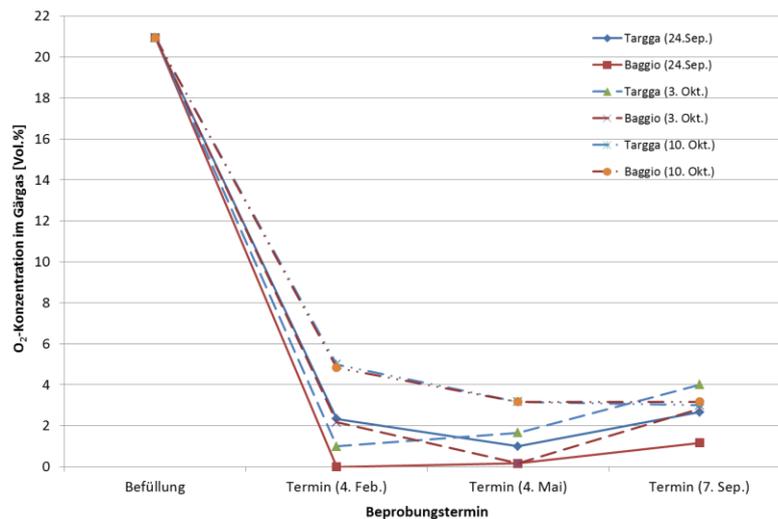


Abbildung 12: O₂-Konzentration im Gärgas in Abhängigkeit von Erntetermin, Sorte und Lagerungsdauer

Die Sauerstoff-Konzentrationen lagen in den untersuchten Gärgasen durchschnittlich zwischen 0 und 5 Vol.%. Das Erntedatum hatte einen signifikanten Einfluss auf die O₂-Konzentration, weil spät geerntete Körnerhirse im Durchschnitt mehr O₂ enthielt als die Hirsen aus den beiden ersten Ernteterminen. Zwischen den Sorten konnte keine signifikante Differenz in der O₂-Konzentration festgestellt werden. Während der GKS-Lagerung kam es in den bei Ernteterminen 1 und 2 zu einer leichten O₂-Zunahme, bei den Hirsen mit höherem TM-Gehalt nahm O₂ leicht ab.

3.8.4 Sauerstoff (O₂) - Praxissilos

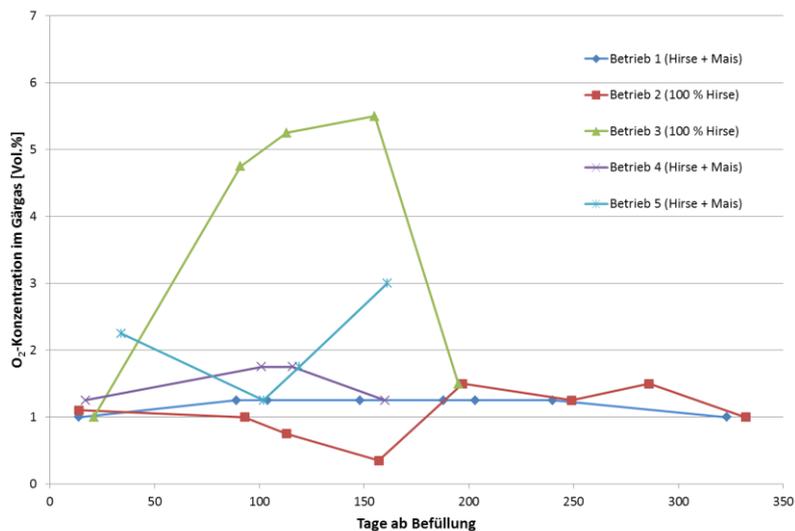


Abbildung 13: O₂-Konzentration im Gärgas von Hirse-Praxissilos während der Lagerung

In den Praxissilos war Betrieb 3 in punkto O₂-Konzentration in der Gärgasatmosphäre auffällig, weil durch die Undichtheit des Hermetiksilos O₂ beim zweiten Messtermin, drei Monate nach Befüllung, stark anstieg (Abbildung 13). Das O₂-Niveau stieg danach sogar noch weiter, bis eine

CO₂-Einspeisung mittels Flaschengas die Situation normalisierte. In den übrigen Praxisbetrieben war die O₂-Konzentration meist zwischen 0,5 und 1,5 Vol.%.

3.8.5 Methan (CH₄) - Exaktversuch

Tabelle 27: CH₄-Konzentration im Gärgas von Hirse-GKS - Faktoreffekte und Varianzkomponentenschätzung

Faktor	1	2	3	p-Wert	VK %
	Vol.%				
Erntedatum (E)	2,2 ^b	1,4 ^a	2,1 ^b	0,000	0,0
Sorte (S)	1,8 ^a	2,0 ^a		0,208	0,0
Lagerungsdauer (L)	0,9 ^a	2,3 ^b	2,4 ^b	0,000	89,9
E x S				0,295	
E x L				0,025	
S x L				0,796	

Die Luft hat einen durchschnittlichen Gehalt an Methan von 1,75 ppm bzw. 0,00018 Vol.%. Im Exaktversuch lagen die Methan-Konzentrationen im Gärgas auf einem durchschnittlichen Niveau zwischen 0,8 und 3,0 Vol.%. Die Höhe der CH₄-Konzentrationen in Hirse-GKS waren gut mit den Untersuchungen von Resch (2014) in Mais-GKS vergleichbar. In Hirse-GKS kam es zwischen erster und zweiter Beprobung in den Laborfässern zu einem deutlichen CH₄-Anstieg und im Verlauf der nächsten Lagerungsmonate zu einer CH₄-Stabilisierung.

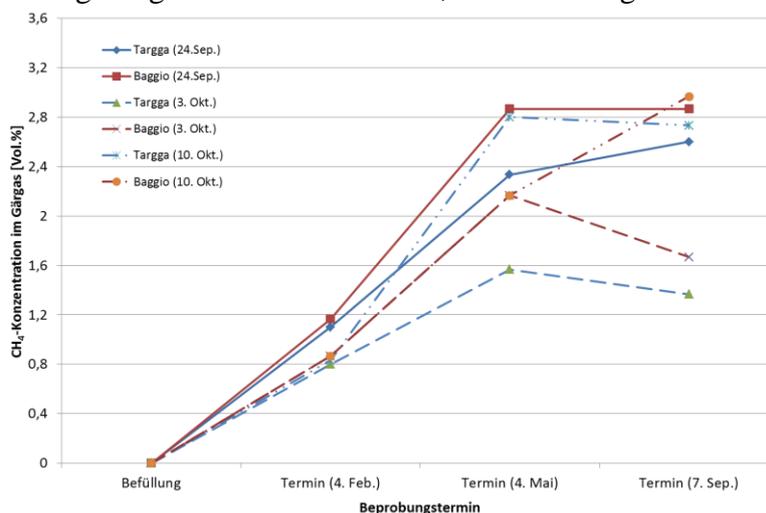


Abbildung 14: CH₄-Konzentration im Gärgas in Abhängigkeit von Erntetermin, Sorte und Lagerungsdauer

3.8.6 Methan (CH₄) – Praxissilos

Die Methan-Konzentrationen lagen den Praxissilos bis zum 6. Lagerungsmonat unter 1 Vol.%. In den Sommermonaten wurde nur auf zwei Betrieben weitergemessen. In dieser Phase kam es zu einer deutlichen CH₄-Erhöhung auf über 2,0 Vol.% (Abbildung 15).

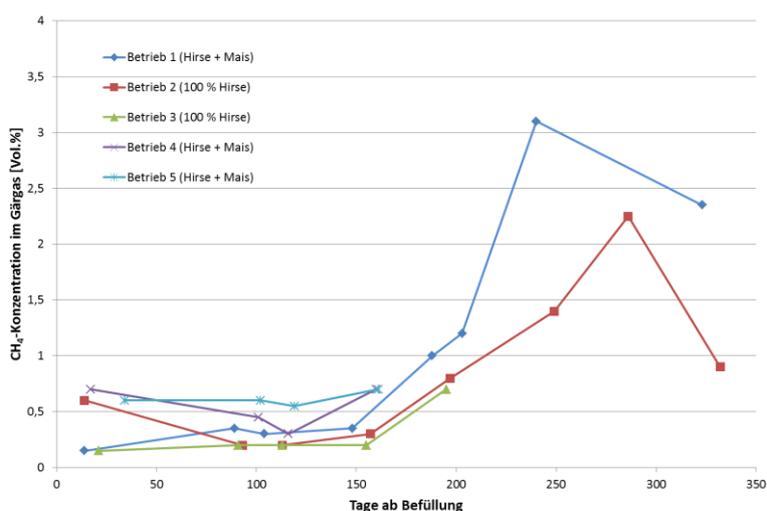


Abbildung 15: CH₄-Konzentration im Gärgas von Hirse-Praxissilos während der Lagerung

3.9 Korrelationsanalysen

Um die Beziehung von tatsächlich gemessenen TM-Gehalten der Körnerhirsen bzw. die tatsächliche Lagerungsdauer in Tagen zu verschiedenen Parametern auszuwerten multiple Regressionsanalysen durchgeführt (Tabelle 28) und Schätzgleichungen abgeleitet.

Tabelle 28: Korrelation zwischen Parametern in Hirse-GKS und TM-Gehalt bzw. Lagertage

Parameter	Einheit	TM-Gehalt korrigiert		Lagerungsdauer		R ²	Schätzformel für Parameter	Beispiel TM 687 g, 100 Tage
		p-Wert	Korrelation	p-Wert	Korrelation			
pH		0,000	0,811	0,030	-0,289	68,8	1,57916 + 0,005733*TM - 0,00063084*Lagertage	5,45
Milchsäure	g/kg TM	0,000	-0,746	0,000	0,463	68,5	9,89937 - 0,0136598*TM + 0,00350444*Lagertage	0,87
Essigsäure	g/kg TM	0,000	-0,853	0,001	0,352	78,1	10,9304 - 0,0137616*TM + 0,00193301*Lagertage	1,48
Buttersäure	g/kg TM	0,000	-0,851	0,545	0,166	72,6	3,53742 - 0,00477589*TM + 0,00012529*Lagertage	0,26
Ethanol	g/kg TM	0,000	-0,863	0,014	0,291	77,4	50,7825 - 0,0621897*TM + 0,00620225*Lagertage	8,68
NH ₃ -N von Gesamt-N	%	0,000	-0,841	0,000	0,570	91,3	17,4515 - 0,0239294*TM + 0,00694914*Lagertage	1,71
Kohlendioxid (CO ₂)	Vol. %	0,055	-0,129	0,000	-0,584	38,7	142,228 - 0,0878351*TM - 0,12196*Lagertage	69,7
Sauerstoff (O ₂)	Vol. %	0,000	0,558	0,170	0,077	33,6	-19,5359 + 0,0304546*TM + 0,00412356*Lagertage	1,8
Methan (CH ₄)	Vol. %	0,584	-0,149	0,000	0,618	38,6	1,34456 - 0,00138323*TM + 0,0067604*Lagertage	1,1
Rohprotein	g/kg TM	0,006	-0,356	0,312	-0,080	14,4	116,25 - 0,0381347*TM - 0,00667184*Lagertage	90,0
Rohfaser	g/kg TM	0,508	-0,078	0,447	-0,094	1,7	26,3868 - 0,00384153*TM - 0,00216297*Lagertage	23,5
Rohfett	g/kg TM	0,009	-0,363	0,784	0,088	13,3	45,0826 - 0,0156511*TM + 0,000780351*Lagertage	34,4
Rohasche	g/kg TM	0,061	-0,199	0,010	-0,314	15,9	23,7924 - 0,00579166*TM - 0,00398045*Lagertage	19,4
Stärke	g/kg TM	0,000	0,759	0,008	0,129	65,7	424,214 + 0,434758*TM + 0,0626677*Lagertage	723,0
Zucker	g/kg TM	0,000	-0,952	0,044	0,293	91,7	220,505 - 0,289013*TM + 0,0134615*Lagertage	23,3

Es zeigte sich, dass der TM-Gehalt insbesondere zu den Gärparametern sowie zu Stärke- und Zuckergehalt starke bis sehr starke Korrelationen, zu verschiedenen Gärgasen eine schwache und zu den Weender-Inhaltsstoffen eine sehr schwache Beziehung aufwies. Der Faktor Lagerungsdauer wirkte sich bei den Parametern NH₃-N zu Gesamt-N, Kohlendioxid und Methan am deutlichsten mit mittelstarken Korrelationen aus. Die Datenvarianz konnte über die multiple Regression von sehr gering bis sehr gut mit R² erklärt werden (Tabelle 28).

4. Schlussfolgerungen

TM-Gehalt und Nährstoffe

Erntezeitpunkt und damit die Reife der Körnerhirsen waren maßgeblich für den TM-Gehalt und die Inhaltsstoffe verantwortlich. Mit späterer Ernte stiegen die TM-Gehalte der Hirsekörner auf bis zu 760 g/kg FM und die Stärkegehalte auf 768 g/kg TM. Die beiden getesteten Sorten unterschieden sich signifikant voneinander, wobei Sorte Targga im TM-Gehalt höher lag, mehr Stärke einlagerte und dadurch weniger Proteingehalt aufwies als Sorte Baggio. Während der Lagerung veränderten sich die Inhaltsstoffe kaum, der TM-Gehalt nahm signifikant ab.

Massenverluste

Im Rahmen der gewichtsmäßigen Bilanzierung konnte festgestellt werden, dass der letzte Erntetermin (10. Oktober 2015) hinsichtlich TM- und Stärkeverlusten am günstigsten abschnitt, weil insbesondere sehr wenig Stärke (kleiner 1 %) abgebaut wurde. Bei früher Ernte lagen die TM-Verluste bei 4 % und die Stärkeverluste bei 6 %. Sorte Baggio hatte durch den geringeren TM-Gehalt signifikant höhere Massenverluste als Sorte Targga. Die Lagerungsdauer erhöhte die Massenverluste allgemein, weil keine Stabilisierung des Gärprozesses eintrat und deshalb ein permanenter Abbau stattfand.

Gärung

In den Körnerhirse-Varianten konnte allgemein eine dominierende alkoholische Gärung beobachtet werden, die zwischen 55 und 85 % Anteil an den Gärprodukten ausmachte. Die Milchsäuregärung war minimal ausgeprägt, die Essigsäuregehalte nur geringfügig höher. Der TM-Unterschied zwischen den Sorten sorgte dafür, dass Sorte Baggio etwas intensiver gäerte als Sorte Targga. Während der Lagerung der Hirse-GKS kam es in den Laborfässern zu geringfügigen bis signifikanten Veränderungen des pH-Wertes bzw. der Gärprodukte, d.h. die Gärung kam nicht zum Stillstand.

Gärgas

Unter Laborbedingungen erhöhte sich die CO₂-Konzentration im Silo auf max. 80 Vol.% und sank im Laufe der Lagerung meist unter 50 Vol.% ab. Sorte Baggio produzierte mehr CO₂ als Sorte Targga. Die Sauerstoffkonzentration war in den trockeneren Hirsekörnern des letzten Erntetermins mit durchschnittlich 3,7 Vol.% signifikant höher. Die Methankonzentration stieg in den ersten Lagerungsmonaten signifikant an und stabilisierte sich gegen Lagerungsende auf 2,4 Vol.%.

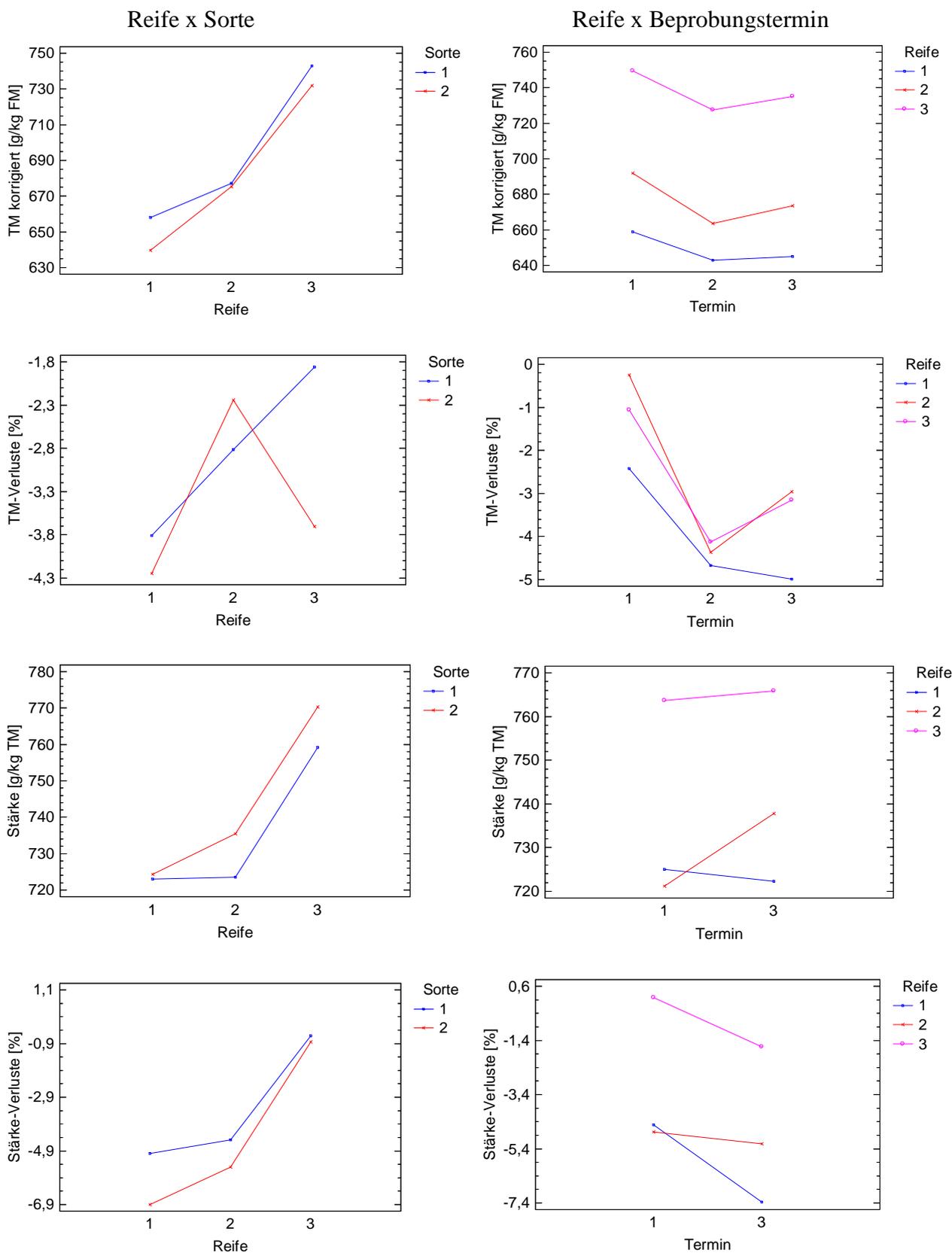
In den Praxissilos mit 100 % Körnerhirse wurden zwei Betriebe mit stark differierenden Gasverhältnissen während der Lagerungsphase beobachtet. Bei einem Betrieb war das System optimal, weil die CO₂-Konzentrationen fast ein Jahr lang über 70 Vol.% lag. Der zweite Betrieb hatte durch Undichtheit des Hermetiksilos bald Probleme mit massivem CO₂-Verlust und Anstieg der Sauerstoffkonzentration auf 5 Vol.%, sodass über Flaschengas künstlich CO₂ eingeblasen

werden musste. In allen Praxissilos stieg die CO₂-Konzentration innerhalb von drei Wochen auf 100 % an und sank dann bedingt durch die ständige Futterentnahme um durchschnittlich 10 % je Lagerungsmonat.

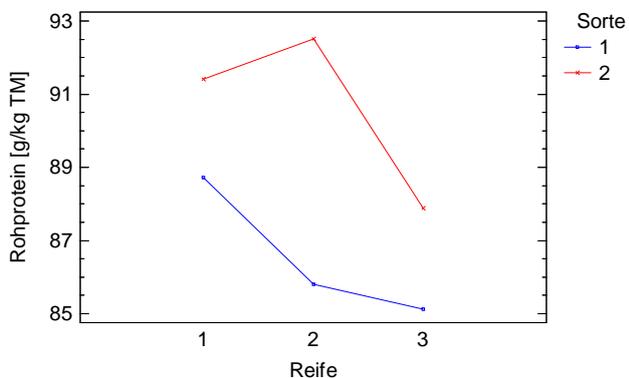
5. Literatur

- Gross, F. und Riebe, K. (1974): Gärfutter - Betriebswirtschaft, Erzeugung, Verfütterung, *Verlag Eugen Ulmer*, Stuttgart, 283 S.
- Land Steiermark (2015): Steiermärkische Maiswurzelbohrrverordnung. LGBl. Nr. 22/2015, *Landesregierung Steiermark*, Graz, 3.
- Mayer, K. und Schally, H. (2014): Hirse - Hohe Erträge mit der richtigen Sorte. *Der fortschrittliche Landwirt* 3, 2014, 36-37.
- Puntigam, R. und Wetscherek, W. (2013): Einfluss von Körnerhirse auf die Mast- und Schlachtleistung sowie die Fettbeschaffenheit beim Mastschwein. ALVA-Jahrestagung 2013 zum Thema "Pflanzenschutz als Beitrag zur Ernährungssicherung", LFZ für Wein- und Obstbau, Klosterneuburg, 23. und 24. Mai 2013, 183-185.
- Resch, R. (2014): Einfluss der Lagerungsbedingungen von Mais-Ganzkornsilage (GKS) auf Gärgaszusammensetzung und Gärungsverluste, Abschlussbericht Projekt "GKS", Nr. 2395 (DaFNE 100885), HBLFA Raumberg-Gumpenstein, 33 S.
- Resch, R. und Weiss, K. (2016): Alkohole und Ester in Mais-Ganzkornsilagen. 71. ALVA-Tagung zum Thema "Eiweißpflanzen – Strategien und Chancen für Landwirtschaft und Industrie", Bildungshaus Schloss Krastowitz, Klagenfurt, ALVA, 30.-31. Mai 2016, 311-313.
- VDLUFA (1976): Methodenbuch Band III - Die chemische Untersuchung von Futtermitteln, inkl. Ergänzungsblätter 1983, 1988, 1993, 1997, *VDLUFA-Verlag*, Darmstadt.
- Weißbach, F. und Strubelt, C. (2008): Die Korrektur des Trockensubstanzgehaltes von Maissilagen als Substrat für Biogasanlagen. *LANDTECHNIK-Agricultural Engineering* 63 (2), 82-83.
- Wetscherek, W. (2014): Einfluss der Lagerungsbedingungen von Mais-Ganzkornsilage (GKS) auf Gärgaszusammensetzung und Gärungsverluste, Endbericht Forschungsprojekt 100882, Universität für Bodenkultur, Institut Tierische Lebensmittel und Ernährungsphysiologie, Wien, 48 S.
- Wetscherek, W.; Telsler, H. und Schmied, R. (2013): Körnerhirse: Eine Alternative zu Mais in der Schweinemast. *Der fortschrittliche Landwirt* 20, 2013, 22-23.

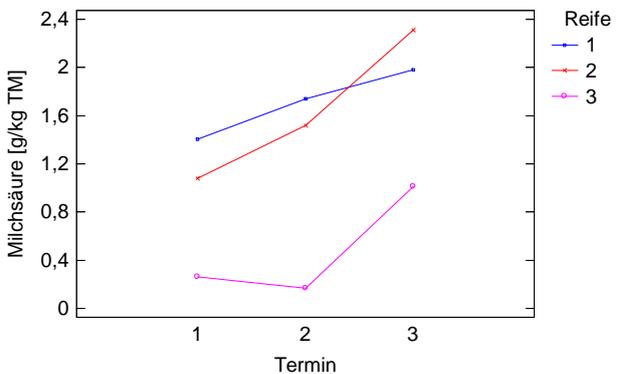
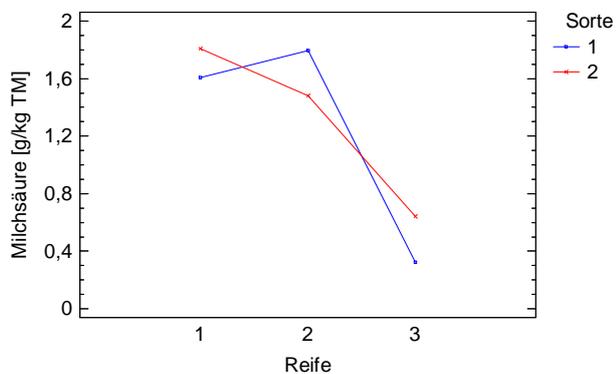
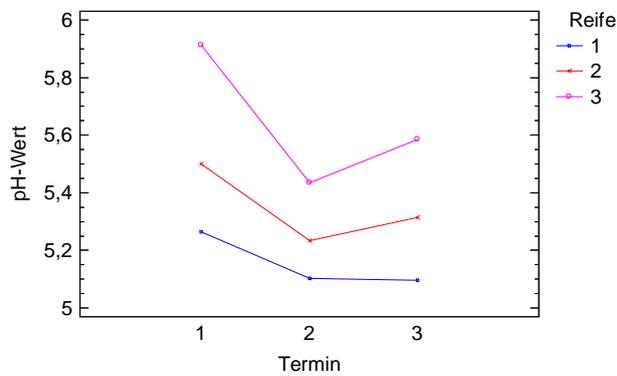
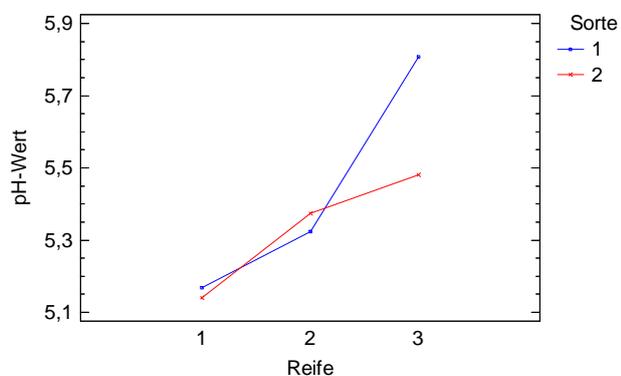
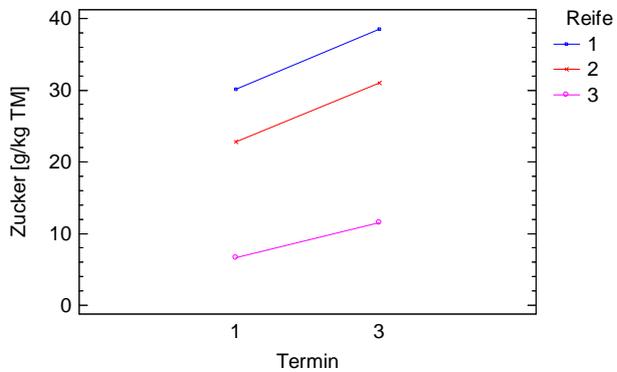
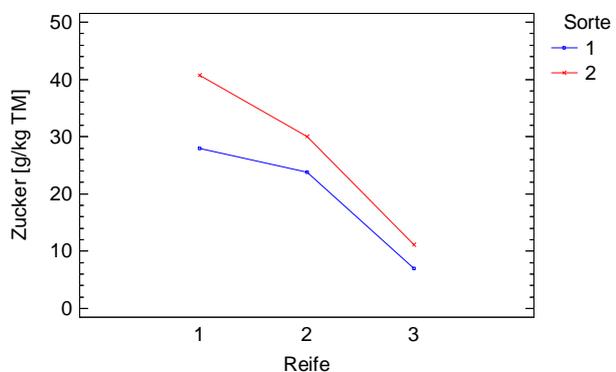
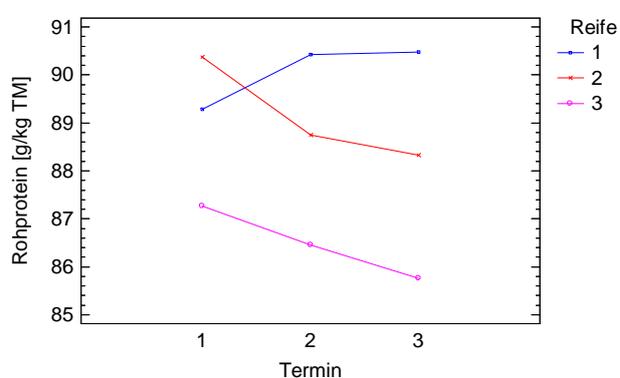
6. Anhang - Wechselwirkungsdiagramme



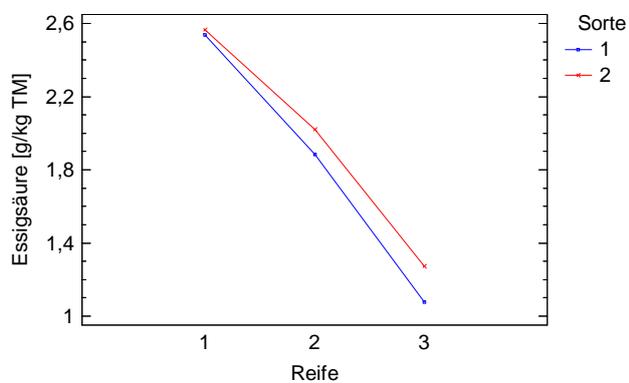
Reife x Sorte



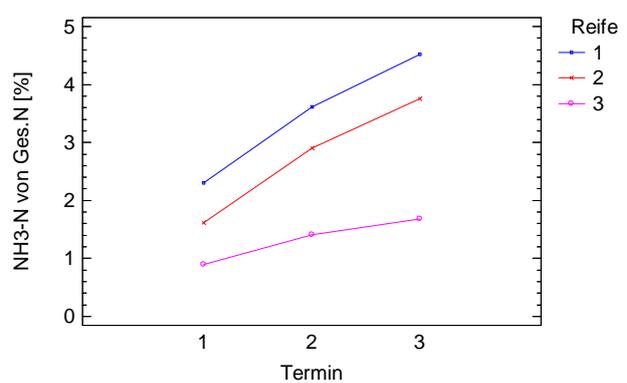
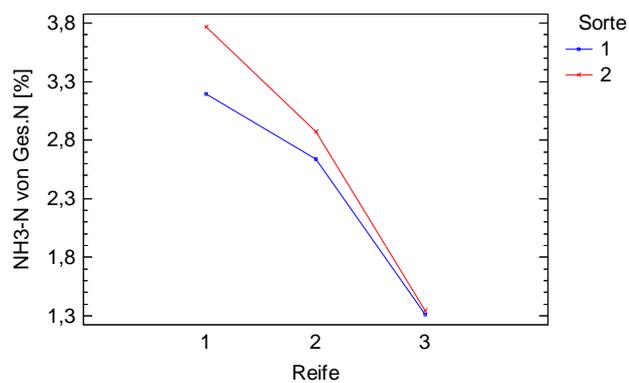
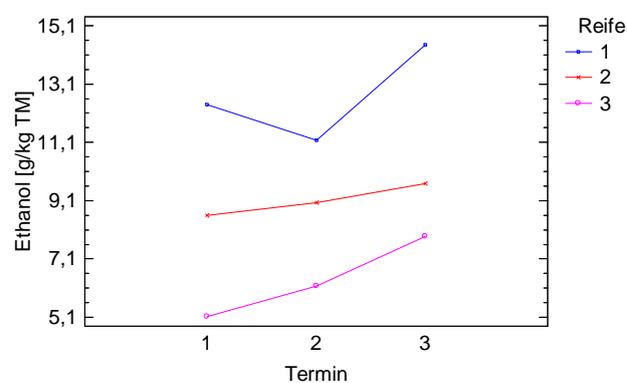
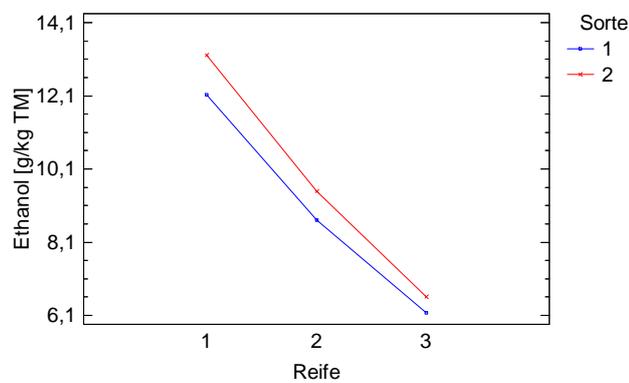
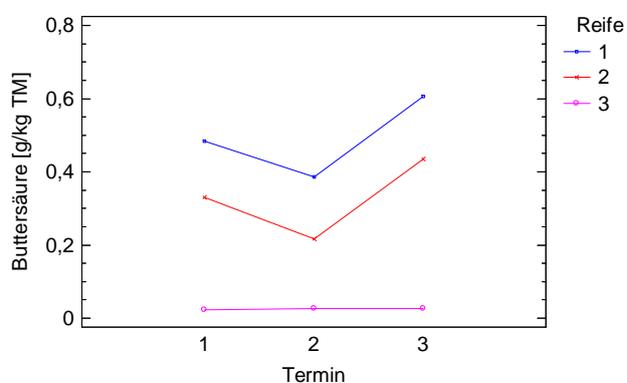
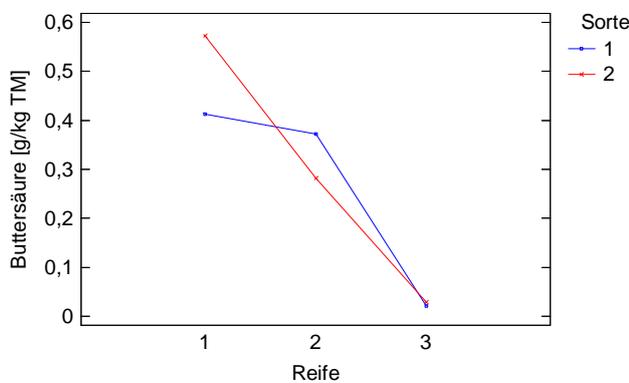
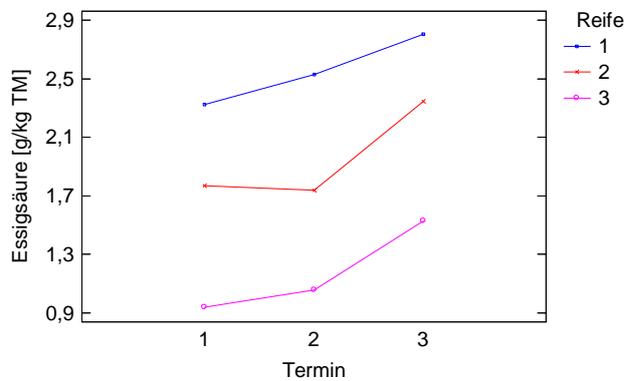
Reife x Beprobungstermin



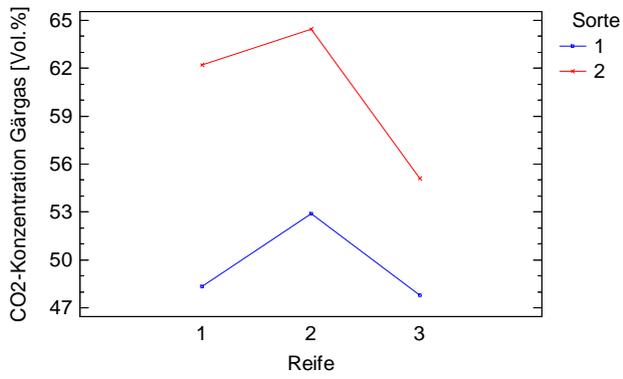
Reife x Sorte



Reife x Beprobungstermin



Reife x Sorte



Reife x Beprobungstermin

