

Lehr- und Forschungszentrum
Landwirtschaft
www.raumberg-gumpenstein.at

Abschlussbericht

GKS

Forschungsprojekt Nr. 2395 (DaFNE100885)

Einfluss der Lagerungsbedingungen von Mais-Ganzkornsilage (GKS) auf Gärgas- zusammensetzung und Gärungsverluste Impact of storage conditions on gas-composition and fermentation-losses of cornsilage (GKS)

gum

Projektleitung:

Ing. Reinhard Resch, LFZ Raumberg-Gumpenstein

Projektpartner:

Ing. Eduard Zentner, LFZ Raumberg-Gumpenstein
Prof. Wolfgang Wetscherek, Universität für Bodenkultur, Wien
Landwirtschaftskammer Oberösterreich
Landwirtschaftskammer Steiermark

Projektlaufzeit:

2012-2014



lebensministerium.at

www.raumberg-gumpenstein.at

Impressum

Herausgeber
Lehr- und Forschungszentrum für Landwirtschaft
Raumberg-Gumpenstein, A-8952 Irdning
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 © 2014
Lehr- und Forschungszentrum für Landwirtschaft Raumberg-Gumpenstein, A-8952 Irdning

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung	3
Summary.....	4
1. Problem- und Fragestellung	5
2. Material und Methoden.....	6
2.1 Versuchsplan.....	6
2.2 Ausgangsmaterial.....	7
2.3 Transport, Wiegung und Lagerung der GKS-Versuchssilos	7
2.4 Beprobung der Versuchssilos im Exaktversuch	8
2.5 Beprobung der Praxissilos	9
2.6 Laboranalysen	9
2.7 Sensorische Bewertung der Gärqualität.....	9
2.8 Datenerfassung, -kontrolle und -auswertung	10
3. Ergebnisse.....	11
3.1 TM-Gehalte in Ganzkornsilagen (GKS).....	11
3.1.1 TM-Gehalte im GKS-Exaktversuch	11
3.1.2 TM-Gehalte in GKS-Praxissilos	12
3.1.3 TM-Gehalte in GKS – Analyse Exaktversuch vs. Praxissilos.....	13
3.2 TM-Verluste von GKS während der Lagerung	14
3.3 Rohprotein-Gehalte im GKS-Exaktversuch	15
3.4 Stärkegehalte im GKS-Exaktversuch	17
3.5 Stärke-Verluste im GKS-Exaktversuch	18
3.6 Zuckergehalte im GKS-Exaktversuch	19
3.7 Zucker-Verluste im GKS-Exaktversuch	20
3.8 Gärgaszusammensetzung in Mais-Ganzkornsilos	21
3.8.1 Kohlendioxid (CO ₂) im GKS-Exaktversuch.....	21
3.8.2 Kohlendioxid (CO ₂) in GKS-Praxissilos	22
3.8.3 Kohlendioxid (CO ₂) in GKS – Analyse Exaktversuch vs. Praxissilos	23
3.8.4 Sauerstoff (O ₂) im GKS-Exaktversuch.....	25
3.8.5 Sauerstoff (O ₂) in GKS-Praxissilos	26
3.8.6 Sauerstoff (O ₂) in GKS – Analyse Exaktversuch vs. Praxissilos	27
3.8.7 Methan (CH ₄) im GKS-Exaktversuch	28
3.8.8 Methan (CH ₄) in GKS-Praxissilos	30
3.8.9 Methan (CH ₄) in GKS – Analyse Exaktversuch vs. Praxissilos.....	31
4. Schlussfolgerungen	32
5. Literatur	33

Zusammenfassung

In Österreich stellt die Konservierung von ganzen Feuchtmaiskörnern ein bedeutendes System für die Schweinemast dar. Ein Forschungsprojekt wurde von der Universität für Bodenkultur Wien und dem LFZ Raumberg-Gumpenstein unter Projektmitarbeit der Landwirtschaftskammern Oberösterreich und Steiermark mit vergleichbaren Silosystemen initiiert, weil in der Praxis fallweise hygienische Qualitätsprobleme bei Ganzkornsilage „GKS“ während der Lagerung speziell in den Sommermonaten auftreten. Die GKS-Untersuchungen konzentrierten sich auf qualitative Veränderungen, Gärungsverluste und Gärgaszusammensetzung während der elfmonatigen Lagerung. GKS-Material von sechs oberösterreichischen und sechs steirischen Praxisbetrieben wurde in den Betonsilos auf den Betrieben und in einem Exaktversuch am LFZ Raumberg-Gumpenstein analysiert.

Durch Bildung von Milchsäure, Essigsäure und Kohlendioxid konnten alle GKS-Varianten ein stabiles Niveau unterhalb von pH 5,0 erreichen. Bei feuchterer GKS wurde mehr Säure gebildet und die pH-Werte tiefer abgesenkt als bei trockeneren Maiskörnern. Die mittleren TM-Verluste lagen je nach TM-Gehalt und Zeitpunkt der Beprobung zwischen 1,5 und 4,8 %, Zuckerverluste beliefen sich auf 70 %. Es ist anzunehmen, dass durch die etwas intensivere Gärung in den Praxissilos die TM- und Energieverluste höher anzusetzen sein werden als in den Laborsilos.

Die Analyse der Gärgaszusammensetzung ergab deutliche Unterschiede zwischen Praxis- und Laborsilos, insbesondere bei Kohlendioxid und Sauerstoff. In den Praxissilos mit durchschnittlich 500 m³ GKS-Inhalt erhöhte sich CO₂ innerhalb von drei Monaten in allen Silos auf nahezu 100 Vol.%. Aufgrund der kontinuierlichen GKS-Entnahme für die Fütterung strömte nach Verbrauch der Gassackreserven Luft über das Unterdruckventil in die Silos nach und senkte das CO₂-Niveau im Laufe der elfmonatigen Lagerung bis auf durchschnittlich 54 Vol.%. Der Sauerstoffgehalt lag in den Praxissilos im Mittel unter 1,5 Vol.%, wobei die O₂-Konzentrationen mit zunehmender Lagerungsdauer geringer wurden. Diese O₂-Absenkung während der Lagerphase lässt sich durch erneute mikrobiologische Aktivitäten, wie pH-Erhöhung, Essig- und Methanbildung, erklären.

Unter Laborbedingungen erhöhte sich die CO₂-Konzentration in der Gärgasatmosphäre im Laufe der Lagerung auf maximal 28 Volumenprozent, während der Sauerstoffgehalt bis zur letzten Probenahme auf 6 Vol.% abnahm. Diese suboptimaleren Bedingungen in den Laborsilos riefen punktuell in nur einem Fall erhöhte Schimmelpilzkeimzahl und Mykotoxingehalte, in zwei Fällen bedenkliche Hefenkeimzahlen hervor.

Nach anfänglich guter Stabilität mit optimalem Schutz durch Kohlendioxid, kann die Situation in den Sommermonaten durchaus labiler werden, insbesondere wenn das CO₂-Niveau deutlich sinkt, Säuren aufgezehrt, der pH angehoben und der Restzucker verbraucht wird. Ergebnisse zu den Qualitätsparametern (Nährstoffe, Gärqualität, Mikrobiologie, Mykotoxine und Aminosäuren) sind im Endbericht zum DaFNE-Projekt 100882 veröffentlicht (WETSCHEREK, 2014).

Schlüsselwörter: Mais-Ganzkornsilage, GKS, Gärungsverluste, Gärgas, Gaszusammensetzung

Summary

Conservation of unbroken maize-corn, also referred as GKS, is a very popular system for pig-fattening in Austria. Sometimes there are hygienic problems in GKS-practice, but no results or recommendations for GKS-farmers are available. Concerning those problems University Bodenkultur (Vienna) and AREC Raumberg-Gumpenstein carried out a project under partnership of agricultural chamber Upper Austria and Styria and twelve farmers with comparable silo-systems. Measurements take care of quality-changes, fermentation-losses and composition of gas atmosphere in GKS-silos during storage period of eleven month. GKS-material was ensiled in concrete-silos of twelve farmers and equal material for an exact trial at AREC.

Fermentation of twelve different GKS was successful in every case in practice conditions, because enough acid and carbon dioxide was produced to stabilize GKS. Approx. 70 % of sugar fermented to milky and acetic acid. The amount of produced acid was high enough to decrease pH value under a stable level of 5.0. If DM-content of GKS was low more acid was produced and pH-values fell to a lower level. DM-losses were observed between 1.5 and 4.8 %. Losses depended on DM-content and date of sampling.

Analysis of fermentation gas showed significant differences between GKS in concrete-silos and laboratory-barrels, especially carbon dioxide and oxygen. In practice-silos (average cubage 500 m³) CO₂ raised in three month up to nearly 100 vol.%. Continued GKS-take for feeding caused fresh air input via vacuum valve. In consequence CO₂-level decreased during storage period to 54 vol.% after eleven month. In the same time oxygen-level was always under 1.5 vol.%, falling tendency to last measurement. Decrease of oxygen-level could be interpreted by microbial activity (pH-increase, acetic acid and methane production).

Under laboratory environment CO₂-level increased during storage period only up to 28 vol.%, but oxygen fell to 6 vol.%. These suboptimal gas-conditions caused a few hygienic problems. In one case mold-count resp. mycotoxins (DON, ZON) were increased over orientation-level. In two cases critical yeast-counts and higher losses of dry matter, starch and sugar were found.

During months after ensiling optimal stability was secured of high carbon dioxide level in practice-experiment, but GKS-stability could fall especially in summertime, if CO₂-, acid- and sugar-level decrease and pH increase. Results of quality parameters (nutrients, fermentation quality, microbiology, mycotoxins and amino-acids) are published in the final report of DaFNE-project 100882 (WETSCHEREK, 2014).

Keywords: unbroken maize-corn, GKS, fermentation losses, fermentation gas, gas composition,

1. Problem- und Fragestellung

In Österreich ist Feuchtmais die dominierende Frucht im Futter für Mastschweine. Man unterscheidet das Verfahren der Maiskornsilierung und das System der Ganzkornkonservierung. Bei der Maiskornsilierung werden gemahlene Maiskörner in Hoch- oder Fahrsiloanlagen eingebracht und luftdicht verschlossen. Der Silierprozess beginnt, Milchsäurebakterien vermehren sich, produzieren Milchsäure und senken den pH Wert auf rund 4,0. Nach 4 Wochen ist der Silierprozess abgeschlossen, der Silo kann geöffnet und die Silage verfüttert werden. Bei Einhaltung einer ausreichenden Abräummenge von 5 bis 10 cm Silage täglich, bleibt diese im jahreszeitlichen Verlauf stabil und verdirbt nicht.

Beim neueren System der Ganzkornkonservierung, werden ganze Körner in einem gasdichten Silo eingelagert. Mikroorganismen veratmen den Restsauerstoff zu CO₂. Es findet eine eingeschränkte Silierung statt. Durch die Anreicherung von CO₂ in der Siloanlage, bleiben schädliche Mikroorganismen in ihrer Entwicklung gehemmt und die Silage bleibt stabil. Durch die Anbindung eines Gassacks in der Größenordnung von rund 10% des Behältervolumens versucht man die CO₂ Reserven zu vergrößern (STRASSER, 2007).

Kohlendioxid ist schwerer als Luft und bildet daher einen Gasee über den Maiskörnern. Die Siloanlage ist durch ein Druckregelventil mit der Außenluft verbunden. Aus statischen Gründen lässt das Ventil nur geringe Druckunterschiede zu. Druckausgleich und somit Gasaustausch wird bei größeren Temperaturschwankungen aber auch bei der Entleerung erfolgen. Es ist anzunehmen, dass die CO₂ Konzentration im Silo schwankt. Futteruntersuchungen zeigen eine Verschlechterung der mikrobiologischen Qualität von Ganzkornsilage im jahreszeitlichen Verlauf, besonders der Hefekeimgehalt steigt (STRASSER, 2012). Der Wissenstand über die Vorgänge im Ganzkornsilosilo ist niedrig, daher ist die Erarbeitung einer gesicherten Wissensgrundlage für die Betriebe von großer Bedeutung.

Vorteile der Ganzkornkonservierung:

- Enorme Schlagkraft bei der Ernte, weil die Vermahlung entfällt. Es können moderne schlagkräftige Mähdrescher eingesetzt werden.
- Es besteht keine Anforderung an eine Mindestabräummenge, was die Flexibilität bei der Mast erhöht (Betriebs-Rein Raus; Produktionsunterbrechungen möglich...)
- Kosteneinsparung bei größeren Anlagen, weil nur eine große Siloanlage notwendig ist. (Maiskornsilosiloanlagen meist 2-4 Behälter).
- Arbeitswirtschaftliche Vorteile und Unfallvorbeuge, weil durch die Untenentnahme mit Förderschnecke, das gefährliche Umbauen der Fräsanlagen entfällt.
- Ganzkornsilage kommt auch bei tiefen Temperaturen ungefroren in die Fütterungsanlage.

Ziele des Forschungsprojektes:

- Verbesserung des Wissensstandes über den Einfluss der Lagerungsdauer auf die Menge und Zusammensetzung des Gärgases

In der Praxis wird versucht, das in der Anfangsphase der Gärung entstehende Kohlendioxid (CO₂) mittels Gassack zu speichern, um es im Laufe der Siloentnahme wieder als konservierendes Gas in den Silo rückzuführen. Es gibt momentan keine Untersuchungen über Gasmenge und Gaszusammensetzung während der Lagerung von GKS, daher ist es unbekannt welche Wirkung das Gas auf die GKS-Qualität ausübt.

- Erfassung der Silierverluste in einem Exaktversuch

Aus wirtschaftlicher Hinsicht ist die Futterkonservierung dann erfolgreich, wenn die Verluste an wertvollen Inhaltsstoffen (TM, Stärke, Zucker) so gering wie möglich bleiben. Es liegen keine wissenschaftlichen Arbeiten über die Gärungsverluste von GKS vor. Der exakte Silierversuch unter gleichen Lagerungsbedingungen hat den Vorteil, dass Massenbilanzen über den gesamten Lagerungszeitraum erhoben werden können.

Mit dem Projektantrag wird dem massiven Wunsch der österreichischen Schweinebauern entsprochen, den Unsicherheiten in der Praxis mit exakten Ergebnissen entgegen treten zu können. Das LFZ 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 Berichterlegung dieses Projektteiles 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 „GKS“ vorgelegenen Bedingungen beziehen.

2. Material und Methoden

2.1 Versuchsplan

Im Silierversuch S-61 wurden insgesamt 12 unterschiedliche Mais-Ganzkornsilagen (GKS) von jeweils 6 Praxisbetrieben aus der Steiermark und 6 Betrieben aus Oberösterreich untersucht.

Tabelle 1: Versuchsplan Silierversuch S-61

Betrieb	Bundesland	Silovolumen in m ³	Erntedatum GKS
1	Steiermark	163	26.09.2012
2	Steiermark	597	26.09.2012
3	Steiermark	498	28.09.2012
4	Steiermark	1056	12.10.2012
5	Steiermark	207	18.09.2012
6	Steiermark	404	24.09.2012
7	Oberösterreich	309	01.10.2012
8	Oberösterreich	500	05.10.2012
9	Oberösterreich	693	06.10.2012
10	Oberösterreich	400	04.10.2012
11	Oberösterreich	616	05.10.2012
12	Oberösterreich	707	03.10.2012

2.2 Ausgangsmaterial

Für den Silierversuch S-61 wurde gleichzeitig neben der Befüllung der großen Betonsilos auf dem jeweiligen Praxisbetrieb die Befüllung von Versuchssilos (Abbildung 1) durchgeführt. Die Versuchssilos waren hermetisch verschließbare Weithalsfässer mit Spanningdeckel (Volumen 60 Liter). Insgesamt 5 Behälter wurden je Betrieb bis zu der innenliegenden Markierung auf 50 Liter Volumen befüllt. Anschließend wurden die Fässer mit dem Deckel verschlossen. Im Spanningdeckel befand sich bei 4 Fässern ein Gärspund. Auf den Gärspund wurde ein Ballon (BUDILA XXL-Riesenballon, Nr. 91156) aufgezogen, damit das überschüssige Gärgas wie in einem Gasspeicher aufgefangen werden konnte. Ein Reservefass wurde zur Sicherheit befüllt, falls es während des Versuches zu unvorgesehenen Schwierigkeiten aufgrund von Undichtheit kommen sollte. Der Deckel des Reservefasses hatte keinen Gärspund.



Abbildung 1: Weithalsfass 60 Liter mit Spanningdeckel

2.3 Transport, Wiegung und Lagerung der GKS-Versuchssilos

Die befüllten Versuchssilos wurden spätestens 14 Tage nach Silierung an das LFZ Raumberg-Gumpenstein geliefert 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 60 Versuchssilos erfolgte in einem Kellerraum bei einer mittleren Raumtemperatur von 23,2 °C (Standardabweichung 2,3 °C).



Abbildung 2: Anlieferung von Laborsilos mit Gassack bzw. Gasballon und Lagerung im Pflanzenbaugebäude-Keller des LFZ Raumberg-Gumpenstein

2.4 Beprobung der Versuchssilos

Um die Dynamik von chemischen und mikrobiologischen Prozessen während der GKS-Lagerung verfolgen zu können wurden innerhalb eines Jahres insgesamt vier Beprobungen durchgeführt. Die Abstände der Beprobungen wurden so gewählt, dass zwei Termine in die kalte bis kühle Jahreszeit (16. Jänner bzw. 8. April 2013) und zwei in die warme Jahreszeit (24. Juni bzw. 17. September 2013) fielen.

Unmittelbar vor der Probeziehung erfolgte die Rückwaage des Behälters für die Bilanzierung. Nach Entfernung des Gasballons wurde die Messung der Gärgaszusammensetzung durch die Gärspundöffnung mit einem eingeführten Schlauch durchgeführt. Mit dem DRÄGER-Messsystem (X-am 7000) wurde das Gärgas mit Messbeginn permanent in das Messgerät gesaugt, um die Konzentrationen von Kohlendioxid (CO₂), Sauerstoff (O₂) und Methan (CH₄) in Volumenprozent erfassen zu können. Für die CO₂-Messung wurde der Dräger-Sensor „Smart IR CO₂ HC“ mit einem Messbereich von 0-100 Vol.% CO₂ verwendet. Die Messdauer von mindestens 3 Minuten wurde standardisiert eingehalten.

Die Silooberfläche wurde fotografiert, um oberflächliche mikrobiologische Veränderungen zu dokumentieren.

Die exakte Füllhöhe wurde mittels Meterstab gemessen, bevor die Beprobung erfolgte. Zur Probenahme wurde der Inhalt des jeweiligen Versuchssilos in 3 Schichten (oben/mittig/unten) aufgeteilt (Abbildung 3). Von jeder Schicht wurde eine TM-Schnellbestimmung mittels NUF 1210 durchgeführt.



Abbildung 3: Schichtweise Aufteilung des Probenmaterials und TM-Schnellmessung im Silierversuch S-61

Aus dem Material der drei Schichten wurde schließlich die repräsentative Probe für die jeweilige Untersuchung gezogen, vakuumiert (KOMET Vacuboy), mit dem entsprechenden Klebeetikett versehen und anschließend tiefgekühlt. Von jeder Variante wurden insgesamt 5 vakuumierte Probenbeutel eingefroren. Nach Absprache wurden die Proben in Thermoboxen verpackt und mit

dem Auto auf das BOKU-Institut (Muthgasse) transportiert, wo die angelieferten Proben auf Vollständigkeit kontrolliert und dann sofort wieder tiefgekühlt wurden. Ein Teil des Probenmaterials wurde für die sensorischen Qualitätserhebungen am LFZ gekühlt aufbewahrt.



Abbildung 4: Vakuumierung und Probenkennzeichnung der GKS-Proben

2.5 Beprobung der Praxissilos

Um die Dynamik von chemischen und mikrobiologischen Prozessen während der GKS-Lagerung in den Betonsilos verfolgen zu können wurden innerhalb eines Jahres insgesamt vier Beprobungen durchgeführt. Die Abstände der Beprobungen wurden so gewählt, dass zwei Termine in die kalte bis kühle Jahreszeit (16. Jänner bzw. 8. April 2013) und zwei in die warme Jahreszeit (24. Juni bzw. 17. September 2013) fielen.

Die Probenahme des Mais-GKS wurde von den Mitarbeitern der Landwirtschaftskammer Steiermark bzw. Oberösterreich nach Vorankündigung auf den Betrieben bewerkstelligt. Das gezogene Probenmaterial wurde von allen Projektbetrieben auf schnellstem Weg tiefgekühlt und koordiniert nach Wien zur weiteren Probenvorbereitung transportiert.

2.6 Laboranalysen

Am LFZ Raumberg-Gumpenstein wurden keine Laboranalysen durchgeführt. Sämtliche Untersuchungen wurden von Herrn Ao. Univ. Prof. Dr. Wolfgang Wetscherek bzw. Frau Dr. Gabriela Wetscherek-Seipelt koordiniert und mittels nasschemischer Standardmethoden ausgeführt.

2.7 Gärgasmessungen

Damit überhaupt eine Messung der Gärgaszusammensetzung durchgeführt werden konnte, wurde an den GKS-Betonsilos am oberseitigen Deckel jeweils ein Kugelhahnventil eingebohrt und abgedichtet (Abbildung 5). Um die Gaszusammensetzung nicht künstlich zu beeinflussen, wurde den Betrieben die Zufuhr von Kohlendioxid über Gasflaschen untersagt.

3. Ergebnisse

3.1 TM-Gehalt in Ganzkornsilagen (GKS)

Der Gehalt an Trockenmasse wird über die Kornreife beeinflusst. Erntezeitpunkt und Sortenwahl haben wesentliche Wirkungen auf den TM-Gehalt und den Gärprozess von Mais-GKS, daher sind die TM-Differenzen der verwendeten Ausgangsmaterialien der Praxisbetriebe und deren Effekte auf die Gärung von entsprechendem Interesse für die Landwirte.

3.1.1 TM-Gehalte im GKS-Exaktversuch

Das einsilierte GKS-Probenmaterial aus 12 unterschiedlichen Praxisbetrieben wies im Exaktversuch durchschnittliche TM-Gehalte von 698,9 g/kg FM bei einer Standardabweichung von 23,0 g auf. Betrieb 1 hatte mit 749,2 g/kg FM die höchste TM, während Betrieb 10 mit 655,2 g/kg FM die geringsten TM-Werte aufwies. Die Durchschnittswerte der zwei erfassten Bundesländer unterschieden sich signifikant voneinander (Tabelle 2). In den 6 steirischen Betrieben lagen die TM-Gehalte um 23,7 g/kg FM höher als in den oberösterreichischen.

Tabelle 2: Veränderung des TM-Gehaltes von Mais-Ganzkornsilage während der Lagerung in Versuchssilos (Silierversuch S-61)

Betrieb	Land	Befüllung (17.09. bis 13.10.2012)	Termin 1 (16.01.2013)	Termin 2 (08.04.2013)	Termin 3 (24.06.2013)	Termin 4 (17.09.2013)
1	St	745	752	750	750	749
2	St	702	697	706	693	693
3	St	706	698	702	697	690
4	St	713	710	707	702	703
5	St	716	710	705	702	709
6	St	707	699	701	712	696
\bar{x}	St	715^{aA}	711^{bA}	712^{aA}	709^{bA}	707^{bA}
s	St	16	21	19	21	22
7	OÖ	696	682	680	680	679
8	OÖ	718	687	736	701	672
9	OÖ	713	686	693	692	691
10	OÖ	664	669	641	649	653
11	OÖ	715	687	685	680	681
12	OÖ	717	686	709	684	684
\bar{x}	OÖ	704^{aB}	683^{aAB}	691^{aAB}	681^{aA}	677^{aA}
s	OÖ	21	7	31	18	13
\bar{x}	Gesamt	709^B	697^{AB}	701^{AB}	695^{AB}	692^A
s	Gesamt	19	21	27	24	23
P-Wert	Gesamt	0,338	0,011	0,185	0,030	0,016

Indizes: horizontale Vergleiche - Großbuchstaben; vertikale Vergleiche – Kleinbuchstaben

Die Lagerungsdauer hatte im Durchschnitt aller Betriebe nur einen zufälligen Einfluss auf den TM-Gehalt. Eine Betrachtung in Abhängigkeit der Bundesländer ergab, dass in Oberösterreich (OÖ) eine signifikante TM-Abnahme von 704 auf 677 g/kg FM zu verzeichnen war. In der

Steiermark war die TM-Abnahme während der Lagerungsdauer nur geringfügig. Betriebsspezifisch nahmen die TM-Gehalte nur auf den Betrieben 9 und 11 signifikant ab.

Die GLM-Analyse (Tabelle 3) zeigt, dass die Faktoren Betrieb und Lagerungsdauer (Termin) einen hoch signifikanten Einfluss auf den TM-Gehalt von GKS ausübten (p -Wert $< 0,01$). In einer Varianzkomponentenanalyse konnte festgestellt werden, dass der Anteil der Variabilität der TM-Gehalte zu 76,8 % vom Faktor Betrieb erklärt werden kann, d.h. dass der Betrieb den größten Einfluss auf den TM-Gehalt ausübte.

Tabelle 3: Effekt von Betrieb und Lagerungsdauer auf den TM-Gehalt von GKS in Versuchssilos

Faktor	Quadrat- summe	Freiheits- grad	mittlere Abw. quadr.	F-Quotient	p-Wert
Betrieb	24892,9	11	2263,0	25,06	0,000
Termin	2214,8	4	553,7	6,13	0,001
Residuen	3973,2	44	90,3		
Total (Korrigiert)	31080,9	59			

$R^2 = 87,2\%$

3.1.2 TM-Gehalte in GKS-Praxissilos

Tabelle 4: Veränderung des TM-Gehaltes von GKS während der Lagerung in Praxissilos

Betrieb	Land	Befüllung (17.09. bis 13.10.2012)	Termin 1 (Jänner 2013)	Termin 2 (April 2013)	Termin 3 (Juni 2013)	Termin 4 (Sept. 2013)
1	St	694	710	740	715	660
2	St	737	723	718	732	745
3	St	713	698	703	746	675
4	St	729	736	740	748	703
5	St	721	708	719	719	720
6	St	707	702	698	696	712
\bar{x}	St	717^{ba}	713^{ba}	719^{ba}	726^{ba}	702^{ba}
s	St	15	14	18	20	31
7	OÖ	692	675	678	679	700
8	OÖ	698	666	692	699	717
9	OÖ	707	688	693	696	685
10	OÖ	667	657	651	658	609
11	OÖ	700	693	695	689	690
12	OÖ	700	701	705	697	690
\bar{x}	OÖ	694^{aA}	680^{aA}	686^{aA}	686^{aA}	682^{aA}
s	OÖ	14	17	19	16	37
\bar{x}	Gesamt	706^A	697^A	703^A	706^A	692^A
s	Gesamt	18	23	25	27	34
P-Wert	Gesamt	0,024	0,005	0,010	0,003	0,322

Indizes: horizontale Vergleiche - Großbuchstaben; vertikale Vergleiche – Kleinbuchstaben

Die durchschnittlichen TM-Gehalte der Praxissilos lagen mit 700,6 g/kg FM bei einer Standardabweichung von 25,7 g marginal höher als im Exaktversuch. Betrieb 4 hatte mit 731,2 g/kg FM die höchste TM, während Betrieb 10 mit 648,4 g/kg FM die geringsten TM-Werte

aufwies. Die Durchschnittswerte der zwei erfassten Bundesländer unterschieden sich genauso wie im Exaktversuch signifikant voneinander (Tabelle 4). In den 6 steirischen Betrieben lagen die TM-Gehalte um genau 30 g/kg FM höher als in den oberösterreichischen.

Tabelle 5: Effekt von Betrieb und Lagerungsdauer auf den TM-Gehalt von GKS in Praxissilos

Faktor	Quadrat- summe	Freiheits- grad	mittlere Abw.quadr.	F-Quotient	p-Wert
Betrieb	26573,5	11	2415,8	9,92	0,000
Termin	1764,9	4	441,2	1,81	0,144
Residuen	10716,3	44	243,6		
Total (Korrigiert)	39054,7	59			

R² = 72,6 %

Im Unterschied zum Exaktversuch zeigte sich bei den Praxissilos in der GLM-Analyse nur für Faktor Betrieb ein hoch signifikanter Einfluss auf den TM-Gehalt. Der Anteil der Variabilität des TM-Gehaltes konnte zu rund 63 % über den Betriebseinfluss erklärt werden.

3.1.3 TM-Gehalte in Ganzkornsilagen --Analyse Exaktversuch vs. Praxissilos

Das Versuchsdesign erlaubt eine mehrfaktorielle Analyse, um Haupteffekte und Wechselwirkungen beider Versuche darstellen zu können. Die Ergebnisse in Tabelle 6 zeigen, dass die TM-Unterschiede zwischen Exaktversuch und Praxissilos zufällig sind (p-Wert 0,483). Sowohl Betrieb, als auch die Lagerungsdauer werden als hoch signifikante Einflussfaktoren auf den TM-Gehalt ausgewiesen.

Tabelle 6: Effekt von Betrieb und Lagerungsdauer auf den TM-Gehalt von GKS

Faktor	Quadrat- summe	Freiheits- grad	mittlere Abw.quadr.	F-Quotient	p-Wert
Versuch	86,7	1	86,7	0,50	0,483
Betrieb	41514,2	11	3774,0	21,81	0,000
Termin	3233,3	4	808,3	4,67	0,003
Versuch*Betrieb	9952,3	11	904,8	5,23	0,000
Termin*Versuch	746,4	4	186,6	1,08	0,379
Termin*Betrieb	7076,9	44	160,8	0,93	0,595
Residuen	7612,6	44	173,0		
Total (Korrigiert)	70222,4	119			

R² = 89,2 %

Es bestanden hoch signifikante Wechselwirkungen zwischen Versuch und Betrieb, d.h. dass es teilweise Differenzen zwischen TM-Werten aus dem Exaktversuch und den Praxissilos auf bestimmten Betrieben gab. Dies mag unter Umständen auf die unterschiedlichen Sorten zurückzuführen sein, welche in den Praxissilos einsiliert wurden.

Die Entwicklung der TM-Gehalte während der Lagerung war zwischen Exaktversuch und den Praxissilos nicht völlig identisch (Abbildung 6), das zeigen insbesondere die durchschnittlichen Ergebnisse der steirischen Betriebe. In Oberösterreich konnte eine recht gute Übereinstimmung im Verlauf der TM-Gehalte festgestellt werden.

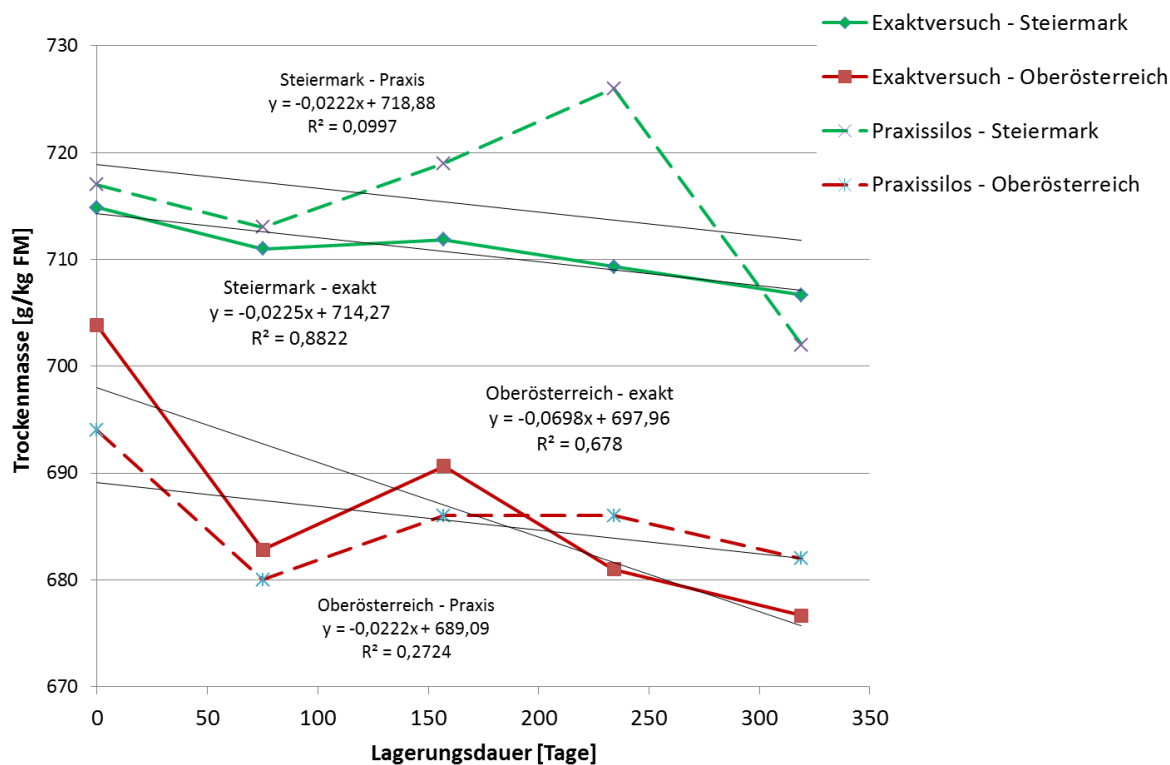


Abbildung 6: Veränderung des TM-Gehaltes von GKS in Abhängigkeit des Bundeslandes und der Lagerungsdauer im Exaktversuch bzw. in den Praxissilos

3.2 TM-Verluste von GKS während der Lagerung

Die Bewertung der Fermentationsverluste von Substraten kann über den Verlust an Trockenmasse zwischen dem Zeitpunkt der Befüllung und der Beprobung erfasst werden. Im Silierversuch S-61 war es möglich eine dynamische Darstellung der Gärungsverluste zu zeigen, weil insgesamt vier Beprobungstermine mit exakten Wiegeungen der Versuchssilos durchgeführt wurden.

Die Ergebnisse in Tabelle 7 zeigen in der Lagerungsphase keine signifikante Erhöhung der TM-Verluste, aber dennoch einen Trend mit einer durchschnittlichen Zunahme der TM-Verluste von -2,7 % auf -3,5 %. Deutlich unterschieden sich die TM-Verluste in den zwei Bundesländern. In der Steiermark gingen im Durchschnitt -1,7 % und in Oberösterreich immerhin -4,3 % an Trockenmasse verloren. Das ist eine signifikante Differenz von 2,6 %. Die TM-Verluste in Oberösterreich lagen mehr als doppelt so hoch wie in der Steiermark. Eine noch stärkere Differenzierung konnte auf Betriebsebene festgestellt werden. Im Optimalfall lagen die TM-Verluste bei -0,4 % und im schlechtesten Fall bei -6,0 %, das entspricht einer Erhöhung der TM-Verluste um das 15-fache.

Tabelle 7: TM-Verluste von Mais-Ganzkornsilage während der Lagerung in Versuchssilos (Silierversuch S-61)

Betrieb	Land	Termin 1 (16.01.2013)	Termin 2 (08.04.2013)	Termin 3 (24.06.2013)	Termin 4 (17.09.2013)
1	St	-0,4	-0,4	-0,3	-0,5
2	St	-1,6	-0,6	-2,3	-2,4
3	St	-1,8	-1,0	-2,3	-3,2
4	St	-1,0	-1,6	-2,3	-2,2
5	St	-1,8	-3,3	-3,0	-2,2
6	St	-2,3	-2,1	-0,3	-2,8
\bar{x}	St	-1,5^{ba}	-1,5^{ba}	-1,7^{ba}	-2,2^{ba}
s	St	0,7	1,1	1,2	0,9
7	OÖ	-3,1	-4,5	-3,5	-3,5
8	OÖ	-5,1	-0,1	-3,1	-7,3
9	OÖ	-4,7	-4,8	-3,7	-4,1
10	OÖ	-0,3	-5,2	-3,1	-2,4
11	OÖ	-5,1	-6,4	-6,4	-6,2
12	OÖ	-5,4	-3,2	-5,6	-5,5
\bar{x}	OÖ	-4,0^{aa}	-4,0^{aa}	-4,2^{aa}	-4,8^{aa}
s	OÖ	2,0	2,2	1,4	1,8
\bar{x}	Gesamt	-2,7^A	-2,8^A	-3,0^A	-3,5^A
s	Gesamt	1,9	2,1	1,8	1,9
P-Wert	Gesamt	0,016	0,029	0,008	0,010

Indizes: horizontale Vergleiche - Großbuchstaben; vertikale Vergleiche – Kleinbuchstaben

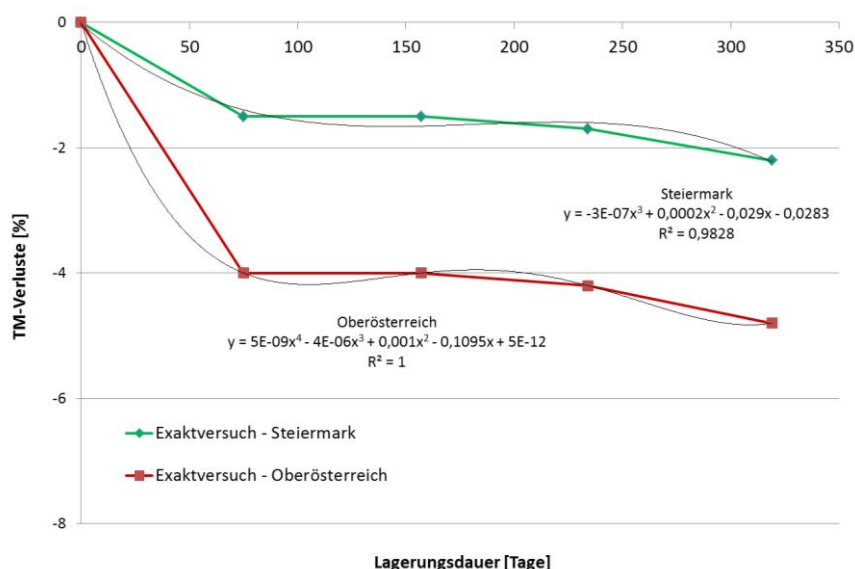


Abbildung 7: Veränderung des TM-Gehaltes von GKS in Abhängigkeit des Bundeslandes und der Lagerungsdauer im Exaktversuch bzw. in den Praxissilos

Die Phase der höchsten TM-Verluste war zwischen der Befüllung und der Stabilisierung zu verzeichnen, was in der Abbildung 7 mit der 1. Beprobung am 16. Jänner 2013 gleichzusetzen wäre. In der anfänglich intensiveren Gärphase kam es zur Bildung von durchschnittlich 5,2 g Milch- und 2,9 g Essigsäure/kg TM (WETSCHEREK, 2014) und damit zu einer Absenkung des

pH-Wertes von 5,3 auf 4,9. In der stabilen Phase zwischen 75 und 234 Tagen nach Befüllung waren nur marginale, im Sommer (24. Juni bis 17. September) doch etwas steigende TM-Verluste festzustellen. Die Gehalte an organischen Gärsäuren und pH-Wert verhielten sich in dieser Periode relativ stabil.

Tabelle 8: Effekt von Betrieb und Lagerungsdauer auf TM-Verluste von Mais-Ganzkornsilagen (Silierversuch S-61)

Faktor	Quadrat- summe	Freiheits- grad	mittlere Abw.quadr.	F-Quotient	p-Wert
Betrieb	98,4	11	8,9	82,51	0,000
Termin	2,5	3	0,8	7,72	0,001
Trockenmasse	49,4	1	49,4	455,24	0,000
Residuen	3,5	32	0,1		
Total (Korrigiert)	170,6	47			

$R^2 = 98,0\%$

Um den Effekt des TM-Gehaltes auf die TM-Verluste von GKS zu untersuchen wurde eine Kovarianzanalyse durchgeführt – Tabelle 8. Dabei stellte sich heraus, dass der TM-Gehalt einen hoch signifikanten, also sehr starken Einfluss auf die TM-Verluste ausübte. Der Regressionskoeffizient von 0,128 zeigt, dass die Verluste bei Erhöhung von 1 g TM um 0,128 % abnehmen. Bezogen sind die Daten auf einen durchschnittlichen TM-Gehalt von 696,3 g/kg FM bzw. -3,0 % TM-Verluste.

Für eine wirtschaftlich erfolgreiche Fermentation von GKS ist in der Praxis der TM-Gehalt des Ernteguts von entscheidender Bedeutung. Je feuchter die Maiskörner geerntet werden, mit umso höheren Fermentationsverlusten muss gerechnet werden.

3.3 Rohprotein-Gehalte im GKS-Exaktversuch

Die durchschnittlichen Rohprotein-Gehalte lagen im Silierversuch S-61 auf 87,6 g/kg TM bei einer Standardabweichung von 6,9 g auf. Der Faktor Betrieb hatte einen hoch signifikanten Einfluss auf XP (p-Wert 0,000). Betrieb 2 wies mit 77,6 g/kg TM die niedrigsten, Betrieb 12 mit 99,7 g/kg TM die höchsten XP-Gehalte im GKS auf. Die Differenz von ~20 g XP/kg TM ist enorm und zeigt wie stark sich der Sorteneffekt und andere Umwelt- und Managementbedingungen auf Qualitätsparameter auswirken können. Der Betriebseffekt konnte 76 % der Datenvariabilität von Rohprotein über die Varianzkomponentenanalyse erklären.

Im Durchschnitt lagen die XP-Gehalte der Ganzkornsilagen aus Oberösterreich um 3,8 g höher als in der Steiermark, dieser Unterschied ist statistisch gesehen aber nur zufällig. Die Veränderung der XP-Gehalte während der Lagerung waren ebenfalls zufällig (Tabelle 9), allerdings war ein leichter Trend in Richtung durchschnittlicher Erhöhung des Rohprotein um rund 5 g/kg TM von der Befüllung bis nach rund 1 Jahr Lagerung zu beobachten. Diese Situation wird aller Wahrscheinlichkeit nach durch den Abbau von leicht verfügbaren Kohlenhydraten erklärbar sein.

Tabelle 9: Veränderung des TM-Gehaltes von Mais-Ganzkornsilage während der Lagerung in Versuchssilos (Silierversuch S-61)

Betrieb	Land	Befüllung (17.09. bis 13.10.2012)	Termin 1 (16.01.2013)	Termin 2 (08.04.2013)	Termin 3 (24.06.2013)	Termin 4 (17.09.2013)
1	St	91,3	89,1	90,7	93,3	93,5
2	St	76,9	74,6	77,9	79,4	79,4
3	St	77,9	93,1	102,6	94,7	97,1
4	St	82,7	83,1	87,7	86,9	86,8
5	St	83,8	85,9	86,5	86,9	88,9
6	St	73,6	80,1	82,7	82,9	81,9
\bar{x}	St	81,0^{aa}	84,3^{aa}	88,0^{aa}	87,3^{aa}	87,9^{aa}
s	St	6,3	6,6	8,4	5,9	6,7
7	OÖ	93,4	89,4	94,1	95,6	92,8
8	OÖ	82,2	81,5	77,4	84,2	86,3
9	OÖ	87,0	87,5	89,5	85,3	85,4
10	OÖ	90,4	92,7	88,9	90,9	93,4
11	OÖ	82,5	83,0	83,2	85,3	85,2
12	OÖ	96,2	99,1	100,1	102,3	100,9
\bar{x}	OÖ	88,6^{aa}	88,9^{aa}	88,9^{aa}	90,6^{aa}	90,7^{aa}
s	OÖ	5,8	6,5	8	7,2	6,2
\bar{x}	Gesamt	84,8^A	86,6^A	88,5^A	89,0^A	89,3^A
s	Gesamt	7,0	6,7	7,8	6,5	6,3
P-Wert	Gesamt	0,055	0,257	0,858	0,413	0,480

Indizes: horizontale Vergleiche - Großbuchstaben; vertikale Vergleiche – Kleinbuchstaben

3.4 Stärkegehalte im GKS-Exaktversuch

Tabelle 10: Veränderung des Stärkegehaltes von Mais-Ganzkornsilage während der Lagerung in Versuchssilos (Silierversuch S-61)

Betrieb	Land	Befüllung (17.09. bis 13.10.2012)	Termin 1 (16.01.2013)	Termin 2 (08.04.2013)	Termin 3 (24.06.2013)	Termin 4 (17.09.2013)
1	St	735,6	743,4	781,3	764,0	757,0
2	St	759,3	769,0	780,5	782,1	785,0
3	St	743,6	752,1	763,5	753,2	756,5
4	St	761,6	750,7	768,0	766,4	766,7
5	St	744,4	757,7	750,4	747,9	774,3
6	St	776,5	763,9	760,3	764,0	765,8
\bar{x}	St	753,5^{aa}	756,2^{aa}	767,3^{aa}	762,9^{aa}	767,6^{ba}
s	St	6,3	6,6	8,4	5,9	6,7
7	OÖ	752,2	755,9	738,2	748,2	748,6
8	OÖ	759,8	755,4	757,5	753,0	756,4
9	OÖ	760,9	753,2	754,3	746,7	753,8
10	OÖ	759,3	761,3	748,8	761,1	757,7
11	OÖ	765,6	760,6	760,3	760,6	761,8
12	OÖ	730,3	696,8	720,8	733,9	720,4
\bar{x}	OÖ	740,4^{aa}	754,7^{aa}	747,2^{aa}	756,7^{aa}	750,6^{aa}
s	OÖ	5,8	6,5	8	7,2	6,2
\bar{x}	Gesamt	747,0^A	755,4^A	757,3^A	754,8^A	759,1^A
s	Gesamt	15,9	10,7	21,4	15,4	13,4
P-Wert	Gesamt	0,163	0,828	0,105	0,063	0,019

Indizes: horizontale Vergleiche - Großbuchstaben; vertikale Vergleiche – Kleinbuchstaben

Die Gehalte an Stärke von Mais-GKS lagen im Silierversuches S-61 durchschnittlich bei 754,7 g/kg TM mit einer Standardabweichung von 15,8 g. Den größten Einfluss auf die Datenvariabilität übte der Faktor Betrieb mit 62 % aus. Den geringsten mittleren Stärkegehalt hatte Betrieb 12 mit 719,4 g/kg TM und den höchsten Betrieb 2 mit 775,2 g/kg TM. Im Durchschnitt unterschieden sich die Bundesländer signifikant voneinander (Tabelle 11).

Während der Lagerphase konnten keine abgesicherten Veränderungen des Stärkegehaltes festgestellt werden.

3.5 Stärke-Verluste im GKS-Exaktversuch

Tabelle 11: Stärkeverluste von Mais-Ganzkornsilage während der Lagerung in Versuchssilos (Silierversuch S-61)

Betrieb	Land	Termin 1 (16.01.2013)	Termin 2 (08.04.2013)	Termin 3 (24.06.2013)	Termin 4 (17.09.2013)
1	St	0,7	5,9	3,6	2,4
2	St	-0,4	2,2	0,7	0,9
3	St	-0,7	1,6	-1,0	-1,5
4	St	-2,5	-0,8	-1,7	-1,5
5	St	0,0	-2,5	-2,6	1,8
6	St	-3,9	-4,2	-1,9	-4,2
\bar{x}	St	-1,1^{aA}	0,4^{aA}	-0,5^{bA}	-0,4^{bA}
s	St	1,7	3,6	2,3	2,5
7	OÖ	-2,0	-3,0	-4,3	-3,0
8	OÖ	-2,7	1,8	-0,9	-5,8
9	OÖ	-1,0	-2,1	-0,8	-2,2
10	OÖ	0,3	-4,3	-3,8	-1,6
11	OÖ	-3,8	-5,7	-5,8	-5,5
12	OÖ	-3,4	-5,7	-4,9	-3,1
\bar{x}	OÖ	-2,1^{aA}	-3,2^{aA}	-3,4^{aA}	-3,5^{aA}
s	OÖ	1,6	2,8	2,1	1,7
\bar{x}	Gesamt	-1,6^A	-1,4^A	-1,9^A	-1,9^A
s	Gesamt	1,6	3,6	2,6	2,6
P-Wert	Gesamt	0,325	0,090	0,042	0,028

Indizes: horizontale Vergleiche - Großbuchstaben; vertikale Vergleiche – Kleinbuchstaben

Die Verluste an Stärke von Mais-GKS durch die Gärung lagen im Silierversuches S-61 durchschnittlich bei -1,7 % (Standardabweichung 2,6 %). Betrieb 1 bilanzierte im Stärkegehalt mit +3,1 % sogar positiv, während Betrieb 11 mit -5,2 % doch deutliche Verluste an Stärke zu verzeichnen hatte. Die Bundesländer differenzierten insgesamt und speziell ab den Sommermonaten signifikant voneinander (Tabelle 11). Die Lagerungsdauer hatte im Durchschnitt keinen Einfluss auf die Stärkeverluste.

Um den Effekt des TM-Gehaltes in die Analyse der Stärkeverluste einzubinden wurde eine Kovarianzanalyse durchgeführt. In Tabelle 12 zeigt sich der hoch signifikante Einfluss der TM auf die Stärkeverluste. Die Zunahme des TM-Gehaltes um 10 g verursachte eine Abnahme der

Stärkeverluste um 0,6 %. Die Bezugsbasis war ein mittlerer TM-Gehalt von 696,3 g/kg FM bzw. ein durchschnittlicher Stärkeverlust von -1,7 %.

Tabelle 12: Effekt von Betrieb und Lagerungsdauer auf Stärkeverluste von Mais-Ganzkornsilagen (Silierversuch S-61)

Faktor	Quadrat- summe	Freiheits- grad	mittlere Abw.quadr.	F-Quotient	p-Wert
Betrieb	132,3	11	12,0	6,5	0,000
Termin	1,4	3	0,5	0,26	0,854
Trockenmasse	35,7	1	35,7	19,29	0,000
Residuen	59,2	32	1,84957		
Total (Korrigiert)	324,829	47			

$R^2 = 81,8 \%$

3.6 Zuckergehalte im GKS-Exaktversuch

Tabelle 13: Veränderung des Zuckergehaltes von Mais-Ganzkornsilage während der Lagerung in Versuchssilos (Silierversuch S-61)

Betrieb	Land	Befüllung (17.09. bis 13.10.2012)	Termin 1 (16.01.2013)	Termin 2 (08.04.2013)	Termin 3 (24.06.2013)	Termin 4 (17.09.2013)
1	St	32,2	9,3	8,0	8,0	8,0
2	St	31,3	5,7	7,1	4,3	4,3
3	St	22,7	8,6	8,5	7,2	5,8
4	St	22,4	9,9	9,9	7,1	11,4
5	St	23,7	7,0	8,5	7,1	7,1
6	St	19,8	10,0	5,7	7,0	5,7
\bar{x}	St	25,4^{ab}	8,4^{aA}	8,0^{aA}	6,8^{aA}	7,1^{aA}
s	St	5,1	1,7	1,4	1,3	2,5
7	OÖ	18,7	8,8	5,9	7,4	4,4
8	OÖ	22,3	7,3	6,8	2,9	1,5
9	OÖ	22,4	5,8	10,1	10,1	5,8
10	OÖ	16,6	7,5	3,1	4,6	3,1
11	OÖ	23,8	10,2	7,3	10,3	5,9
12	OÖ	25,1	7,3	7,1	5,8	5,8
\bar{x}	OÖ	21,5^{aC}	7,8^{aB}	6,7^{aAB}	6,8^{aAB}	4,4^{aA}
s	OÖ	3,2	1,5	2,3	3	1,8
\bar{x}	Gesamt	23,4^C	8,1^B	7,3^{AB}	6,8^{AB}	5,7^A
s	Gesamt	4,6	1,6	1,9	2,2	2,5
P-Wert	Gesamt	0,147	0,521	0,279	0,969	0,061

Indizes: horizontale Vergleiche - Großbuchstaben; vertikale Vergleiche – Kleinbuchstaben

In der Konservierung von feuchten Maiskörnern mit durchschnittlichen TM-Gehalten von rund 70 % spielt der Gehalt an leicht löslichen Kohlenhydratverbindungen (Zucker) eine sehr wichtige Rolle für die Bildung von stabilisierenden Fettsäuren und insbesondere von Kohlendioxid. Im Silierversuch S-61 konnten im Ausgangsmaterial mittlere Zuckergehalte von 23,4 g/kg TM festgestellt werden (Standardabweichung 4,6 g). Die Spannweite reichte beim Erntegut von 16,6

bis 32,2 g Zucker/kg TM. Es konnten zwischen den Bundesländern keine Unterschiede in den Zuckergehalten festgestellt werden, wohl aber in der Lagerungszeit. In den Ganzkornsilagen fand nach der Befüllung bis zur 1. Beprobung Mitte Jänner 2013 die stärkste Reduktion von Zucker statt, danach war nur mehr ein geringfügiger, aber dennoch signifikanter Abbau auf ein Niveau von durchschnittlich 5,7 g/kg TM erkennbar (Tabelle 13).

3.7 Zucker-Verluste im GKS-Exaktversuch

Der Abbau von vergärbarem Zucker war im Silierversuch S-61 stark ausgeprägt. Bereits nach 3 bis 4 Monaten Lagerung wurden im Durchschnitt 65 % Zucker verbraucht. Innerhalb der Betriebe gab es Mitte Jänner 2013 Unterschiede zwischen -54,3 und -82 % Zuckerreduktion (Tabelle 14). Zwischen den Bundesländern waren die Differenzen aus statistischer Hinsicht zu jedem Beprobungstermin zufällig. Bis zur letzten Beprobung im September 2013 wurden durchschnittlich 76,1 % des ursprünglich vorhandenen Zuckers durch fermentative Prozesse abgebaut. Die Lagerungsphase konnte insgesamt 69 % der Datenvariabilität der Zuckerverluste erklären.

Tabelle 14: Veränderung des Zuckergehaltes von Mais-Ganzkornsilage während der Lagerung in Versuchssilos (Silierversuch S-61)

Betrieb	Land	Termin 1 (16.01.2013)	Termin 2 (08.04.2013)	Termin 3 (24.06.2013)	Termin 4 (17.09.2013)
1	St	-71,2	-75,3	-75,2	-75,3
2	St	-82,0	-77,5	-86,5	-86,5
3	St	-62,8	-62,7	-69,1	-75,2
4	St	-56,5	-56,6	-69,0	-50,4
5	St	-70,9	-65,3	-70,9	-70,9
6	St	-50,6	-71,8	-64,6	-71,8
\bar{x}	St	-65,7^{aA}	-68,2^{aA}	-72,6^{aA}	-71,7^{aA}
s	St	11,3	8,0	7,6	11,8
7	OÖ	-54,3	-69,9	-62,0	-77,2
8	OÖ	-69,0	-69,6	-87,6	-93,8
9	OÖ	-75,3	-57,2	-56,6	-75,3
10	OÖ	-55,0	-82,1	-73,0	-82,0
11	OÖ	-59,3	-71,3	-59,5	-76,8
12	OÖ	-72,5	-72,8	-78,0	-78,0
\bar{x}	OÖ	-64,2^{aA}	-70,5^{aAB}	-69,4^{aAB}	-80,5^{aB}
s	OÖ	9,2	8,0	12,1	6,9
\bar{x}	Gesamt	-65,0^A	-69,3^{AB}	-71,0^{AB}	-76,1^B
s	Gesamt	9,9	7,7	9,8	10,3
P-Wert	Gesamt	0,818	0,634	0,606	0,146

Indizes: horizontale Vergleiche - Großbuchstaben; vertikale Vergleiche – Kleinbuchstaben

Die Einbeziehung des TM-Gehaltes in eine GLM-Analyse (Tabelle 15) erlaubte die Quantifizierung des TM-Effektes auf die Zucker-Bilanz. Die Zunahme des TM-Gehaltes von GKS um 10 g bedingte eine durchschnittliche Reduktion der Zuckerverluste um 3,2 %. Bezugsbasis war

ein mittlerer TM-Gehalt von 696,3 g/kg FM bzw. ein durchschnittlicher Zuckerverlust von 70,3 %. Entscheidend für die Höhe des Zuckerverlustes war der Grad der Säurebildung. Die Produktion von 1 g Gärsäure verbrauchte im Durchschnitt 2 % des vorhandenen Zuckers.

Tabelle 15: Effekt von Betrieb und Lagerungsdauer auf Zuckerverluste von Mais-Ganzkornsilagen (Silierversuch S-61)

Faktor	Quadrat- summe	Freiheits- grad	mittlere Abw. quadr.	F-Quotient	p-Wert
Betrieb	2480,8	11	225,5	4,95	0,000
Termin	530,4	3	176,8	3,88	0,018
Trockenmasse	312,2	1	312,2	6,85	0,013
Residuen	1459,0	32	45,5948		
Total (Korrigiert)	4717,5	47			

$R^2 = 69,1\%$

3.8 Gärgaszusammensetzung in Mais-Ganzkornsilos

3.8.1 Kohlendioxid (CO₂) im GKS-Exaktversuch

Die Konzentrationen an CO₂ lagen im Silierversuch S-61 auf einem durchschnittlichen Niveau von 21,7 Vol.% (Standardabweichung 11,6 Vol.%). Die CO₂-Variabilität innerhalb der Betriebe war recht unterschiedlich, weil die Standardabweichungen zwischen 1,4 und 21,1 Vol.% verteilt waren.

Tabelle 16: Veränderung der Kohlendioxid-Konzentration im Gärgas von Mais-Ganzkornsilagen während der Lagerung in Versuchssilos (Silierversuch S-61)

Betrieb	Land	Termin 1 (16.01.2013)	Termin 2 (08.04.2013)	Termin 3 (24.06.2013)	Termin 4 (17.09.2013)
1	St	12,4	12,0	20,5	35,0
2	St	11,4	14,5	12,4	11,8
3	St	16,5	18,0	49,0	30,0
4	St	9,4	16,5	26,0	21,0
5	St	13,5	13,5	16,0	15,0
6	St	20,0	16,5	12,5	27,0
\bar{x}	St	13,9^{aa}	15,2^{aa}	22,7^{aa}	23,3^{aa}
s	St	3,8	2,2	13,9	9,0
7	OÖ	12,4	17,5	42,0	45,0
8	OÖ	19,5	11,6	16,0	15,5
9	OÖ	14,0	42,0	20,0	60,0
10	OÖ	21,5	23,5	18,5	21,5
11	OÖ	31,0	19,0	40,0	42,0
12	OÖ	15,0	12,0	19,0	13,0
\bar{x}	OÖ	18,9^{aa}	20,9^{aa}	25,9^{aa}	32,8^{aa}
s	OÖ	6,9	11,3	11,8	18,9
\bar{x}	Gesamt	16,4^A	18,1^A	24,3^{AB}	28,1^B
s	Gesamt	5,9	8,3	12,4	15,0
P-Wert	Gesamt	0,147	0,246	0,677	0,291

Indizes: horizontale Vergleiche - Großbuchstaben; vertikale Vergleiche – Kleinbuchstaben

Die geringste mittlere CO₂-Konzentration hatte Betrieb 2 mit mittleren 12,5 Vol.% und den höchsten CO₂-Gehalt Betrieb 9 mit 34 Vol.%. Faktor Beprobungstermin hatte mit 78 % den größten Einfluss auf die Datenvariabilität (Tabelle 16).

Tabelle 17: GLM-Analyse der Effekte von Betrieb und Lagerungsdauer auf die CO₂-Konzentration im Gärgas von Mais-Ganzkornsilagen (Silierversuch S-61)

Faktor	Quadrat- summe	Freiheits- grad	mittlere Abw.quadr.	F-Quotient	p-Wert
Betrieb	1903,4	11	173,0	2,22	0,040
Termin	1360,2	3	453,4	5,83	0,003
Trockenmasse	76,1	1	76,1	0,98	0,330
Gärsäuren	386,7	1	386,7	4,97	0,033
Residuen	2411,4	31	77,8		
Total (Korrigiert)	6362,4	47			

R² = 62,1 %

Zwischen den beiden Bundesländern konnte kein gesicherter Unterschied festgestellt werden. Im Exaktversuch war ein signifikanter Anstieg der CO₂-Konzentration während der Lagerung von 16 auf 28 Vol.% zu beobachten, d.h. dass eine Stoffwechselaktivität bis zum Termin 4 auftrat. Der Effekt des TM-Gehaltes (Tabelle 17) auf die CO₂-Konzentration im Gärgas war zufällig (p-Wert 0,330). Die Zunahme von 10 g TM bewirkte eine CO₂-Konzentrationsabnahme von 1,8 Vol.%. Die Produktion von 1 g Gärsäuren senkte den CO₂-Level in signifikanter Weise um 2,0 Vol.%.

3.8.2 Kohlendioxid (CO₂) in GKS-Praxissilos

Im Gegensatz zu den Versuchssilos nahm die CO₂-Konzentration in den 12 Praxissilos einen völlig anderen Verlauf. Nach einer völligen CO₂-Sättigung (bei 11 Betrieben 100 Vol.% CO₂ nach 3 bis 4 Monaten Lagerung) nahm das Kohlendioxid deutlich (p-Wert 0,000) in den Betrieben auf ein durchschnittliches Niveau von 54 Vol.% nach beinahe einem Jahr Lagerung ab. Betrieb 12 wies im Mittelwert mit 58,3 Vol.% die niedrigsten CO₂-Konzentrationen auf und Betrieb 3 mit 89 Vol.% die höchsten. Im GKS-Silo von Betrieb 10 wurden beim letzten Termin mit 32 Vol.% die niedrigsten CO₂-Werte gemessen (Tabelle 18).

Die extrem hohen CO₂-Konzentrationen im Gärgas sind dadurch erklärbar, dass in der Phase der intensiven Gärung überschüssige Luft durch ein Überdruckventil aus dem Silo entweicht und es dadurch zu einer Aufkonzentration des schweren Kohlendioxid im Silo kommen kann. Mit der permanenten GKS-Entnahme entsteht in der Folge ein gewisser Unterdruck. Zuerst wird das CO₂ aus dem Gassack verbraucht und anschließend wird atmosphärische Luft angesaugt, welche die Gaskonzentrationen entsprechend der einfließenden Luftmenge verdünnt.

In punkto Silagestabilität waren die Kohlendioxidwerte generell nicht in einem bedenklich niedrigen Bereich. Zwischen den Bundesländern bestand nur eine zufällige Differenz in der Konzentration an Kohlendioxid. Der Effekt des TM-Gehaltes von GKS auf die CO₂-

Konzentration war zufällig (Tabelle 19). Die Zunahme von 10 g TM ergab eine Erhöhung von Kohlendioxid um 0,2 Vol.%. Die Produktion von 1 g Gärsäure bewirkte eine Reduktion der CO₂-Konzentration um 0,9 Vol.%.

Tabelle 18: Veränderung der Kohlendioxid-Konzentration im Gärgas von Mais-Ganzkornsilagen während der Lagerung in Praxissilos

Betrieb	Land	Termin 1 (16.01.2013)	Termin 2 (08.04.2013)	Termin 3 (24.06.2013)	Termin 4 (17.09.2013)
1	St	100,0	72,0	56,0	47,0
2	St	100,0	87,0	66,0	57,0
3	St	100,0	93,0	85,0	78,0
4	St	94,0	100,0	74,0	58,0
5	St	100,0	79,0	70,0	63,0
6	St	100,0	77,0	54,0	44,0
\bar{x}	St	99^{aC}	84,7^{aB}	67,5^{aA}	57,8^{aA}
s	St	2,4	10,6	11,6	12,2
7	OÖ	100,0	85,0	64,0	58,0
8	OÖ	100,0	83,0	70,0	64,0
9	OÖ	100,0	81,0	76,0	69,0
10	OÖ	100,0	81,0	43,0	32,0
11	OÖ	100,0	71,0	54,0	44,5
12	OÖ	100,0	57,0	43,0	33,0
\bar{x}	OÖ	100^{aC}	76,3^{aB}	58,3^{aA}	50,1^{aA}
s	OÖ	0,0	10,6	13,9	15,9
\bar{x}	Gesamt	99,5^C	80,5^B	62,9^A	54,0^A
s	Gesamt	1,7	11	13,1	14,1
P-Wert	Gesamt	0,341	0,204	0,244	0,366

Indizes: horizontale Vergleiche - Großbuchstaben; vertikale Vergleiche – Kleinbuchstaben

Tabelle 19: GLM-Analyse der Effekte von Betrieb und Lagerungsdauer auf die CO₂-Konzentration im Gärgas von Mais-Ganzkornsilagen in Praxissilos

Faktor	Quadrat- summe	Freiheits- grad	mittlere Abw.quadr.	F-Quotient	p-Wert
Betrieb	2339,4	11	212,7	3,5	0,003
Termin	12427,9	3	4142,6	68,11	0,000
Trockenmasse	1,7	1	1,7	0,03	0,869
Gärsäuren	49,0	1	49,0	0,8	0,377
Residuen	1885,6	31	60,8		
Total (Korrigiert)	20050,0	47			

R² = 90,6 %

3.8.3 Kohlendioxid (CO₂) in GKS – Analyse Exaktversuch vs. Praxissilos

Die Auswertung der gesamten CO₂-Daten des GKS-Projekts ergaben zwischen Exaktversuch und Praxissilos sehr differenzierte Ergebnisse. Einerseits waren die Konzentrationen auf völlig

unterschiedlichen Niveaus und andererseits war die Dynamik während der Lagerperiode gegenläufig (Abbildung 20). In der GLM-Analyse konnten die stärksten Effekte in den Faktoren Versuch und Termin sowie deren Wechselwirkung (Tabelle 20) festgestellt werden. Darüber hinaus hatte der Betrieb auch einen hoch signifikanten Einfluss auf den CO₂-Gehalt von GKS.

Tabelle 20: Veränderung der Kohlendioxid-Konzentration im Gärgas von Mais-Ganzkornsilagen in Abhängigkeit von Betrieb und Lagerungsdauer im Exaktversuch bzw. in Praxissilos

Faktor	Quadrat- summe	Freiheits- grad	mittlere Abw.quadr.	F-Quotient	p-Wert
Versuch	30758,0	1	30758,0	572,3	0,000
Betrieb	2947,1	11	267,9	5,0	0,000
Termin	2493,4	3	831,1	15,5	0,000
Trockenmasse	3,7	1	3,7	0,1	0,795
Gärsäuren	13,8	1	13,8	0,3	0,616
Versuch*Betrieb	1788,0	11	162,5	3,0	0,008
Termin*Versuch	11596,6	3	3865,5	71,9	0,000
Termin*Betrieb	2709,3	33	82,1	1,5	0,120
Residuen	1666,2	31	53,7474		
Total (Korrigiert)	92593,9	95			

R² = 98,2 %

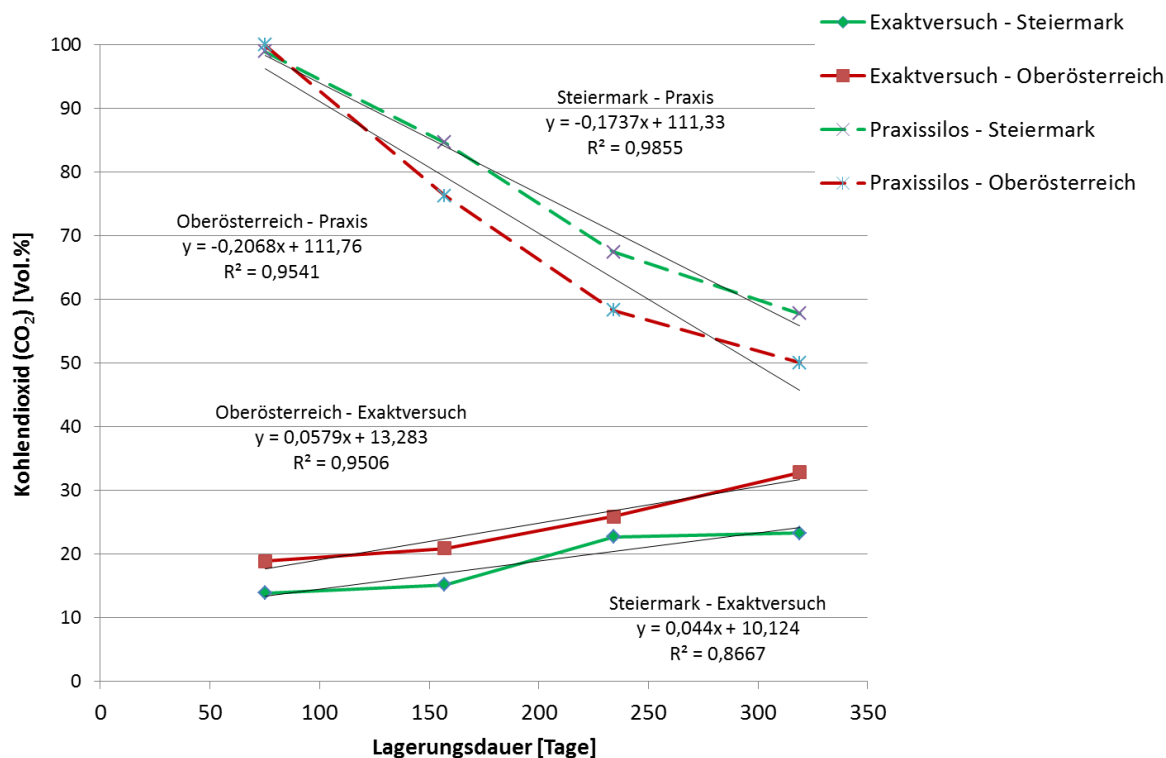


Abbildung 8: Veränderung der CO₂-Konzentrationen im Gärgas von Mais-GKS in Abhängigkeit des Bundeslandes und der Lagerungsdauer im Exaktversuch bzw. in Praxissilos

Die geringere CO₂-Konzentration im Exaktversuch war ausreichend, um die mikrobielle Stabilität der Mais-GKS zu gewährleisten. In den Praxissilos waren die CO₂-Gehalte der Gärgasatmosphäre wesentlich höher. Anhand der Gärsäuren und mikrobiologischen Analysen (WETSCHEREK, 2014) konnte festgestellt werden, dass trotz laufender Entnahme die Stabilität der einzelnen GKS sichergestellt war. Während der Lagerphase blieb der pH stabil, Milchsäure wurde minimal abgebaut und der Essigsäurespiegel stieg leicht von 1,4 auf 4,2 g/kg TM.

3.8.4 Sauerstoff (O₂) im GKS-Exaktversuch

Tabelle 21: Veränderung der Sauerstoff-Konzentration im Gärgas von Mais-Ganzkornsilagen während der Lagerung in Versuchssilos (Silierversuch S-61)

Betrieb	Land	Termin 1 (16.01.2013)	Termin 2 (08.04.2013)	Termin 3 (24.06.2013)	Termin 4 (17.09.2013)
1	St	8,0	8,5	5,5	7,0
2	St	6,5	7,0	5,5	5,5
3	St	7,0	6,5	5,0	7,0
4	St	9,0	9,5	6,5	6,5
5	St	8,5	7,5	6,5	7,0
6	St	8,5	7,0	8,0	6,5
\bar{x}	St	7,9^{aC}	7,7^{aBC}	6,2^{aA}	6,6^{aAB}
s	St	1,0	1,2	1,1	0,6
7	OÖ	8,5	7,0	5,5	6,0
8	OÖ	7,0	7,5	7,5	8,0
9	OÖ	9,5	5,5	6,0	6,0
10	OÖ	7,0	6,0	4,5	5,5
11	OÖ	5,0	6,5	5,5	6,0
12	OÖ	8,5	8,5	6,5	6,5
\bar{x}	OÖ	7,6^{aB}	6,8^{aB}	5,9^{aA}	6,3^{aAB}
s	OÖ	1,6	1,1	1	0,9
\bar{x}	Gesamt	7,8^C	7,3^{BC}	6,0^A	6,5^{AB}
s	Gesamt	1,3	1,1	1	0,7
P-Wert	Gesamt	0,671	0,220	0,689	0,574

Indizes: horizontale Vergleiche - Großbuchstaben; vertikale Vergleiche – Kleinbuchstaben

Die Sauerstoff-Konzentrationen lagen im Silierversuch S-61 auf einem durchschnittlichen Niveau von 6,9 Vol.% (Standardabweichung 1,2 Vol.%). Die O₂-Variabilität innerhalb der Betriebe war gering ausgeprägt. Die Spannweite in der O₂-Konzentration reichte von 5,8 bis 7,9 Vol.%. Faktor Beprobungstermin hatte mit 86 % den größten Einfluss auf die Datenvariabilität.

Zwischen den beiden Bundesländern konnte kein gesicherter Unterschied festgestellt werden. Im Exaktversuch war eine signifikante Abnahme der O₂-Konzentration während der Lagerung von 7,8 auf 6,5 Vol.% zu beobachten, d.h. dass Sauerstoff durch mikrobiologische Aktivität bis zum Sommer verbraucht wurde. Der Effekt des TM-Gehaltes (Tabelle 22) auf die O₂-Konzentration im Gärgas war zufällig (p-Wert 0,501). Die Zunahme von 10 g TM bewirkte eine O₂-Konzentrationserhöhung von 0,13 Vol.%. Die Produktion von 1 g Gärsäure verursachte eine Erhöhung der O₂-Konzentration um 0,1 Vol.%.

Tabelle 22: GLM-Analyse der Effekte von Betrieb und Lagerungsdauer auf die Sauerstoff-Konzentration im Gärgas von Mais-Ganzkornsilagen (Silierversuch S-61)

Faktor	Quadrat- summe	Freiheits- grad	mittlere Abw.quadr.	F-Quotient	p-Wert
Betrieb	17,9	11	1,6	2,08	0,054
Termin	18,4	3	6,1	7,86	0,001
Trockenmasse	0,4	1	0,4	0,46	0,501
Gärsäuren	1,0	1	1,0	1,26	0,270
Residuen	24,2	31	0,8		
Total (Korrigiert)	70,3	47			

$R^2 = 65,5 \%$

3.8.5 Sauerstoff (O₂) in GKS-Praxissilos

In den Praxissilos wurden deutlich geringere O₂-Konzentrationen in der Gärgasatmosphäre von durchschnittlich 1,2 Vol.% im Vergleich zum Exaktversuch gemessen (Standardabweichung 0,6 Vol.%).

Tabelle 23: Veränderung der Sauerstoff-Konzentration im Gärgas von Mais-Ganzkornsilagen während der Lagerung in Praxissilos

Betrieb	Land	Termin 1 (16.01.2013)	Termin 2 (08.04.2013)	Termin 3 (24.06.2013)	Termin 4 (17.09.2013)
1	St	1,8	1,5	1,0	0,8
2	St	1,0	1,5	1,3	1,3
3	St	1,0	2,5	1,3	0,8
4	St	1,0	1,3	1,0	0,8
5	St	3,0	1,5	1,5	1,5
6	St	1,5	1,5	1,5	0,5
\bar{x}	St	1,5^{aB}	1,6^{aB}	1,3^{aB}	0,9^{ba}
s	St	0,8	0,4	0,2	0,4
7	OÖ	1,3	1,0	0,8	0,3
8	OÖ	1,8	2,0	1,5	0,3
9	OÖ	1,3	1,3	1,0	0,3
10	OÖ	0,3	0,4	0,5	0,8
11	OÖ	1,8	1,5	1,0	0,5
12	OÖ	1,3	1,5	0,8	0,8
\bar{x}	OÖ	1,3^{aB}	1,3^{aB}	1,0^{aAB}	0,5^{aA}
s	OÖ	0,5	0,6	0,3	0,2
\bar{x}	Gesamt	1,4^B	1,4^B	1,1^{AB}	0,7^A
s	Gesamt	0,7	0,5	0,3	0,4
P-Wert	Gesamt	0,471	0,243	0,073	0,032

Indizes: horizontale Vergleiche - Großbuchstaben; vertikale Vergleiche – Kleinbuchstaben

Die Sauerstoff-Differenzen zwischen Betrieben reichten von 0,5 bis 1,9 Vol.%. Die Datenvariabilität wurde gleich wie im Exaktversuch stark vom Beprobungstermin beeinflusst (83 %). Die Varianzanalyse ergab einen signifikanten Unterschied zwischen den beiden

Bundesländern, wobei in Oberösterreich geringere Sauerstoffgehalte festgestellt wurden als in der Steiermark (Tabelle 23).

Während der Lagerung von GKS kam es in den Praxissilos im Durchschnitt zu einer signifikanten Reduktion des Sauerstoffgehaltes von 1,4 auf 0,7 Vol.%. Der abnehmende Trend der Sauerstoffkonzentrationen ist zwar mit den Laborsilos vergleichbar, allerdings müssen die Aktivitäten in den Praxissilos anders interpretiert werden. Die CO₂-Dynamik in den Praxissilos weist, wie unter Punkt 3.8.2 beschrieben, auf eine Zufuhr an Luft während der Entnahmephase hin. Die Sauerstoffkonzentration erhöhte sich in den Praxissilos aber nicht, weil sich höchstwahrscheinlich Mikroorganismen entwickelten, die diesen wieder verbrauchten. Das könnte auch die leichte Erhöhung des Essigsäuregehaltes erklären. Der Effekt des TM-Gehaltes auf die O₂-Konzentration war zufällig. Die Zunahme um 10 g TM führte zu einer Abnahme des Sauerstoffgehaltes um -0,08 Vol.%. Die Produktion von 1 g Gärsäure/kg TM bewirkte eine Verringerung der O₂-Konzentration im Gärgas um 0,22 Vol.%.

Tabelle 24: GLM-Analyse der Effekte von Betrieb und Lagerungsdauer auf die Sauerstoffkonzentration im Gärgas von Mais-Ganzkornsilagen in Praxissilos

Faktor	Quadrat- summe	Freiheits- grad	mittlere Abw.quadr.	F-Quotient	p-Wert
Betrieb	4,8	11	0,4	2,75	0,013
Termin	2,9	3	1,0	6,18	0,002
Trockenmasse	0,3	1	0,3	1,61	0,214
Gärsäuren	0,0	1	0,0	0,25	0,622
Residuen	4,9	31	0,2		
Total (Korrigiert)	15,0	47			

R² = 67,2 %

3.8.6 Sauerstoff (O₂) in Ganzkornsilagen – Analyse Exaktversuch vs. Praxissilos

Die Sauerstoffgehalte in Mais-GKS waren zwischen Labor- und Praxissilos sehr unterschiedlich. Das wesentlich höhere Niveau in den Laborsilos stellte für die Stabilität der Silagen keine Bedrohung dar, weil keine äußere Einwirkung, wie z.B. ständige Entnahme, negative Wirkungen ausüben konnte. In der GLM-Analyse waren die Haupteffekte durch die Faktoren Versuch und Termin sowie deren Wechselwirkung (Tabelle 25) zu erklären. Darüber hinaus hatte der Betrieb auch einen signifikanten Einfluss auf den O₂-Gehalt der Gärgasatmosphäre.

Der TM-Gehalt (p-Wert 0,629) und der Gehalt an Gärsäuren (p-Wert 0,812) hatten nur einen zufälligen Einfluss auf die O₂-Konzentration.

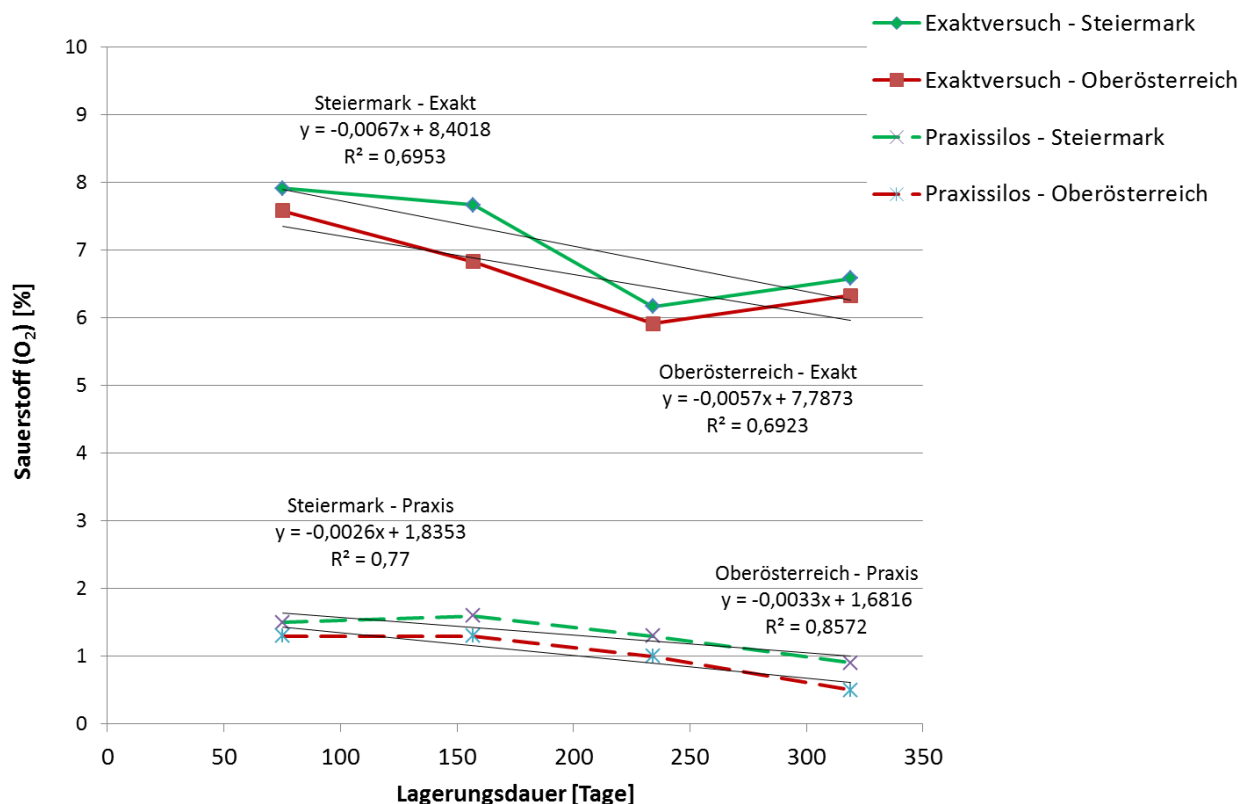


Abbildung 9: Veränderung der O₂-Konzentrationen im Gärgas von Mais-GKS in Abhängigkeit des Bundeslandes und der Lagerungsdauer im Exaktversuch bzw. in Praxissilos

Tabelle 25: Veränderung der Sauerstoff-Konzentration im Gärgas von Mais-Ganzkornsilagen während der Lagerung in Praxissilos

Faktor	Quadrat- summe	Freiheits- grad	mittlere Abw.quadr.	F-Quotient	p-Wert
Versuch	359,0	1	359,0	736,0	0,000
Betrieb	12,5	11	1,1	2,3	0,032
Termin	13,8	3	4,6	9,4	0,000
Trockenmasse	0,1	1	0,1	0,2	0,629
Gärsäuren	0,0	1	0,0	0,1	0,812
Versuch*Betrieb	10,9	11	1,0	2,0	0,059
Termin*Versuch	5,6	3	1,9	3,9	0,019
Termin*Betrieb	14,8	33	0,4	0,9	0,594
Residuen	15,1	31	0,5		
Total (Korrigiert)	871,3	95			

$R^2 = 98,3 \%$

3.8.7 Methan (CH₄) im GKS-Exaktversuch

Die Luft hat einen durchschnittlichen Gehalt an Methan von 1,75 ppm bzw. 0,00018 Vol.%. Im Silierversuch S-61 lagen die Methan-Konzentrationen im Gärgas auf einem durchschnittlichen

Niveau von 1,9 Vol.% (Standardabweichung 1,3 %). Die Spannweite in den CH₄-Konzentrationen reichte von 0,8 bis 3,1 Vol.%. Mit einem Anteil von 93 % hatte der Faktor Beprobungstermin den größten Einfluss auf die Datenvariabilität des Methangehaltes. Die Gärsäurenproduktion wirkte sich stark auf die CH₄-Konzentration aus (Tabelle 27). Die Zunahme von 1 g Gärsäure hatte eine Absenkung des CH₄-Gehaltes im Gärgas von 0,3 Vol.% zur Folge. Der Effekt des TM-Gehaltes auf die CH₄-Konzentration war zufällig (p-Wert 0,366).

Tabelle 26: Veränderung der Methan-Konzentration im Gärgas von Mais-Ganzkornsilagen während der Lagerung in Versuchssilos (Silierversuch S-61)

Betrieb	Land	Termin 1 (16.01.2013)	Termin 2 (08.04.2013)	Termin 3 (24.06.2013)	Termin 4 (17.09.2013)
1	St	2,3	0,2	2,5	5,2
2	St	1,5	0,0	0,9	2,3
3	St	1,1	1,6	2,8	4,3
4	St	1,0	1,1	2,0	2,7
5	St	1,5	1,5	2,6	3,5
6	St	2,3	2,0	0,9	5,2
\bar{x}	St	1,6^{aA}	1,0^{aA}	1,9^{aA}	3,9^{aB}
s	St	0,6	0,8	0,9	1,2
7	OÖ	0,9	1,1	1,8	3,2
8	OÖ	1,2	1,3	0,5	0,0
9	OÖ	1,4	2,0	1,1	4,5
10	OÖ	1,3	1,2	1,7	3,3
11	OÖ	2,4	1,9	3,0	5,2
12	OÖ	1,8	0,0	0,6	1,2
\bar{x}	OÖ	1,5^{aAB}	1,3^{aA}	1,4^{aA}	2,9^{aB}
s	OÖ	0,5	0,7	0,9	2
\bar{x}	Gesamt	1,6^A	1,1^A	1,7^A	3,4^B
s	Gesamt	1,3	1,1	1,0	0,7
P-Wert	Gesamt	0,720	0,651	0,343	0,333

Indizes: horizontale Vergleiche - Großbuchstaben; vertikale Vergleiche – Kleinbuchstaben

Tabelle 27: GLM-Analyse der Effekte auf CH₄-Konzentration im Gärgas von Mais-Ganzkornsilagen (Silierversuch S-61)

Faktor	Quadrat- summe	Freiheits- grad	mittlere Abw.quadr.	F-Quotient	p-Wert
Betrieb	15,7	11	1,4	3,13	0,006
Termin	42,0	3	14,0	30,56	0,000
Trockenmasse	0,4	1	0,4	0,84	0,366
Gärsäuren	9,0	1	9,0	19,62	0,000
Residuen	14,2	31	0,5		
Total (Korrigiert)	82,5	47			

R² = 82,8 %

3.8.8 Methan (CH₄) in GKS-Praxissilos

Die Methan-Konzentrationen lagen den Praxissilos auf einem durchschnittlichen Niveau von 1,5 Vol.% (Standardabweichung 1,3 Vol.%). Die CH₄-Variabilität innerhalb der Betriebe war gering ausgeprägt. Die Spannweite in der O₂-Konzentration reichte von 5,8 bis 7,9 Vol.%. Faktor Beprobungstermin hatte mit 100 % den dominanten Einfluss auf die Datenvariabilität.

Tabelle 28: Veränderung der Methan-Konzentration im Gärgas von Mais-Ganzkornsilagen während der Lagerung in Praxissilos

Betrieb	Land	Termin 1 (16.01.2013)	Termin 2 (08.04.2013)	Termin 3 (24.06.2013)	Termin 4 (17.09.2013)
1	St	1,8	0,6	2,2	2,6
2	St	0,7	0,9	1,8	2,5
3	St	1,5	1,1	1,4	2,2
4	St	0,0	1,0	1,4	2,2
5	St	1,9	0,6	2,0	3,3
6	St	2,3	0,6	2,4	2,5
\bar{x}	St	1,3^{aAB}	0,8^{aA}	1,8^{aB}	2,5^{aC}
s	St	0,8	0,2	0,4	0,4
7	OÖ	0,9	0,5	0,7	1,6
8	OÖ	1,1	0,8	0,7	1,8
9	OÖ	1,6	1,0	2,4	2,1
10	OÖ	1,4	0,4	1,0	1,0
11	OÖ	1,4	0,8	1,3	2,6
12	OÖ	1,3	0,7	1,4	3,4
\bar{x}	OÖ	1,3^{aA}	0,7^{aA}	1,2^{aA}	2,1^{aB}
s	OÖ	0,5	0,2	0,6	0,8
\bar{x}	Gesamt	1,3^B	0,7^A	1,5^B	2,3^C
s	Gesamt	0,6	0,2	0,6	0,7
P-Wert	Gesamt	0,855	0,405	0,084	0,226

Indizes: horizontale Vergleiche - Großbuchstaben; vertikale Vergleiche – Kleinbuchstaben

Tabelle 29: GLM-Analyse der Effekte auf CH₄-Konzentration im Gärgas von Mais-Ganzkornsilagen in Praxissilos

Faktor	Quadrat- summe	Freiheits- grad	mittlere Abw. quadr.	F-Quotient	p-Wert
Betrieb	6,1	11	0,6	2,85	0,011
Termin	14,0	3	4,7	24,02	0,000
Trockenmasse	0,7	1	0,7	3,42	0,074
Gärsäuren	1,1	1	1,1	5,68	0,024
Residuen	6,0	31	0,2		
Total (Korrigiert)	28,1	47			

R² = 78,5 %

Zwischen den durchschnittlichen Methangehalten in den GKS-Silos der beteiligten Bundesländer konnte kein gesicherter Unterschied festgestellt werden. Bei den Praxissilos war eine signifikante Zunahme der Methan-Konzentration während der Lagerung von 1,3 auf 2,3 Vol.% zu beobachten, d.h. es wurde gleich wie im Exaktversuch eine bedeutende Menge an Methan im Sommer gebildet. Der Effekt des TM-Gehaltes (Tabelle 29) auf die Methan-Konzentration im Gärgas der Praxissilos war zufällig (P-Wert 0,074). Die Zunahme von 10 g TM bewirkte eine CH₄-Konzentrationsabnahme von 0,13 Vol. %. Der Effekt der Gärsäureproduktion war signifikant (p-Wert 0,024). Die Erhöhung um 1 g Gärsäure/kg TM verursachte im Durchschnitt eine Verringerung der CH₄-Konzentration um 0,11 Vol. %.

3.8.9 Methan (CH₄) in Ganzkornsilagen – GLM-Analyse gesamter Datensatz

Die Methangehalte in Mais-GKS unterschieden sich im Vergleich zwischen Labor- und Praxissilos nur zufällig voneinander (p-Wert 0,767). Ein etwas höheres Niveau trat in den Laborsilos auf. In der GLM-Analyse waren die Haupteffekte durch die Faktoren Termin, Betriebsdifferenzen und durch die Gärsäureproduktion (Tabelle 30) zu erklären. Es gab keine signifikanten Wechselwirkungen. Die Erhöhungen der Methangehalte in Mais-GKS waren in beiden Versuchen insbesondere von Termin 3 auf Termin 4 feststellbar (Abbildung 10).

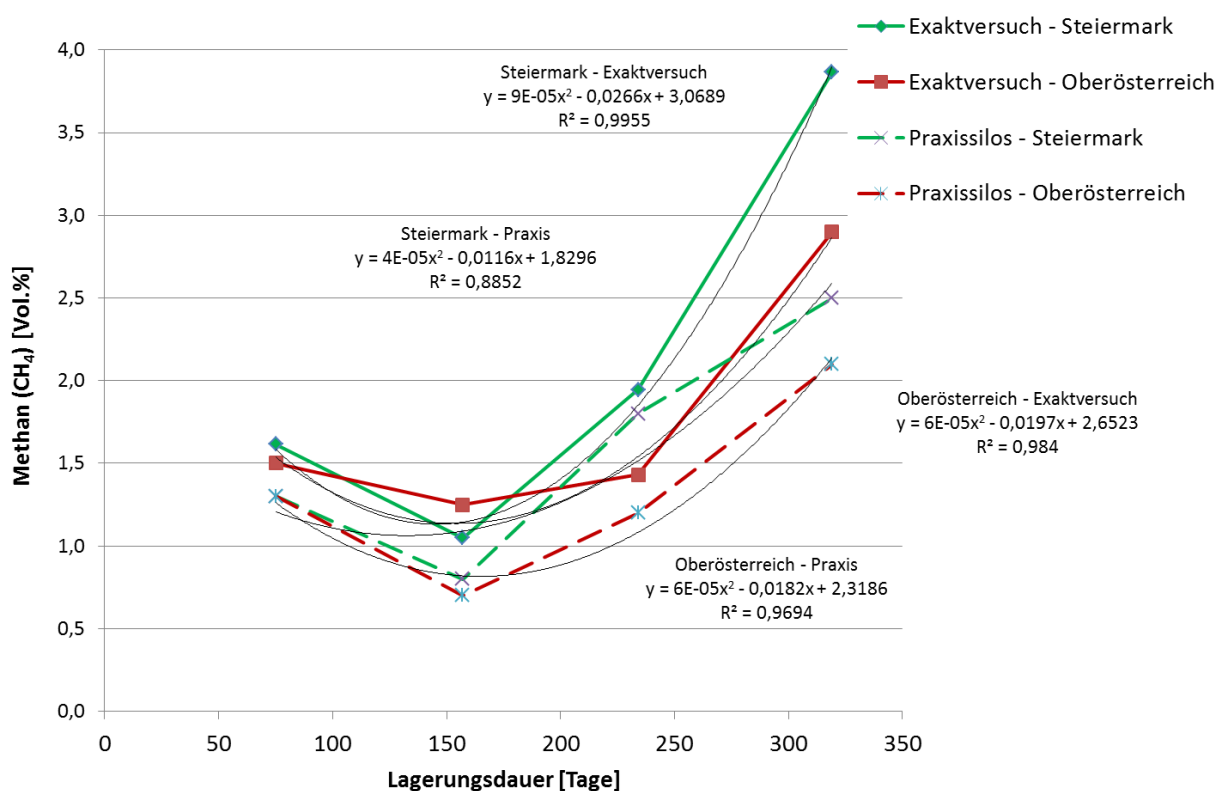


Abbildung 10: Veränderung der CH₄-Konzentrationen im Gärgas von Mais-GKS in Abhängigkeit des Bundeslandes und der Lagerungsdauer im Exaktversuch bzw. in Praxissilos

Tabelle 30: Veränderung der Methan-Konzentration im Gärgas von Mais-Ganzkornsilagen während der Lagerung in Praxissilos

Faktor	Quadrat- summe	Freiheits- grad	mittlere Abw.quadr.	F-Quotient	p-Wert
Versuch	0,0	1	0,0	0,1	0,767
Betrieb	16,1	11	1,5	3,5	0,003
Termin	45,2	3	15,1	36,1	0,000
TS	0,8	1	0,8	1,9	0,183
Gs_TM	4,2	1	4,2	10,1	0,003
Versuch*Betrieb	7,2	11	0,7	1,6	0,155
Termin*Versuch	2,5	3	0,8	2,0	0,140
Termin*Betrieb	9,9	33	0,3	0,7	0,824
Residuen	13,0	31	0,4		
Total (Korrigiert)	116,1	95			

$R^2 = 88,8\%$

4. Schlussfolgerungen

Gärungsverluste

Im Durchschnitt wurden 70 % des Zuckers von Feuchtmalkörnern durch die Bildung von Milch- und Essigsäure sowie von Kohlendioxid und Methan verstoffwechselt und damit ein stabiles Niveau unter pH 5,0 erreicht. Bei feuchterer GKS wurde mehr Säure gebildet und die pH-Werte tiefer abgesenkt als bei trockeneren Malkörnern. Die mittleren Verluste an Trockenmasse lagen im Exaktversuch je nach TM-Gehalt und Betrieb zwischen 1,5 und 4,8 %. Es ist anzunehmen, dass durch die etwas intensivere Gärung in den Praxissilos die TM- und Energieverluste höher anzusetzen sein werden als in den Laborsilos.

Gärgaszusammensetzung

Die Gärgaszusammensetzung von Kohlendioxid und Sauerstoff war zwischen Praxis- und Laborsilos sehr unterschiedlich. In den Praxissilos erhöhte sich das CO₂ anfänglich in allen Silos auf nahezu 100 %, weil durch entsprechende CO₂-Produktion die leichtere Restluft (Stickstoff, Sauerstoff, etc.) durch das Überdruckventil aus dem Silo verdrängt wurde. Aufgrund ständiger GKS-Entnahme für die Fütterung strömte nach Verbrauch der Gassackreserven im Lauf der Lagerung wieder Luft über das Unterdruckventil in die Silos und senkte das CO₂-Niveau bis auf durchschnittlich 54 Vol.% nach 11 Monaten Lagerung. Der Sauerstoffgehalt lag in den Praxissilos im Mittel unter 1,5 Vol.%, wobei die Konzentrationen mit zunehmender Lagerungsdauer geringer wurden. Diese O₂-Absenkung während der Lagerphase lässt sich nur durch neuerliche mikrobiologische Aktivitäten (pH-Erhöhung, Essigsäure- und Methanbildung) erklären. Im Gärprozess wurde bei GKS im Durchschnitt 1,5 Vol.% Methan (CH₄) gebildet. Ein Anstieg der CH₄-Konzentration auf rund 4 Vol.% konnte speziell in den Sommermonaten beobachtet werden. Im Projekt „GKS“ funktionierte die Gärung in den Praxissilos ohne qualitative Probleme in Richtung mikrobiologischem Verderb, somit sorgten die gebildete Säure und das Kohlendioxid für ausreichenden Schutz der konservierten GKS.

Unter Laborbedingungen erhöhte sich die CO₂-Konzentration im Laufe der Lagerung nur auf max. 28 Vol.% während der Sauerstoffgehalt nur auf 6 Vol.% abnahm. Im Vergleich zu den Praxissilos könnte eine derartige Gaszusammensetzung als problematisch angesehen werden. In den luftdicht abgeschlossenen Laborbehältern wurde nicht laufend GKS entnommen, daher trat nur in einem Fall eine erhöhte Schimmelpilzkeimzahl bzw. erhöhte Mykotoxinwerte (DON u. ZON) auf. In zwei anderen Fällen konnte eine qualitativ bedenkliche Hefenkeimzahl beobachtet werden. Bei der stark verheften Variante traten auch die höchsten TM-, Stärke- und Zuckerverluste auf, außerdem war die Gaszusammensetzung noch suboptimaler als im Durchschnitt der Laborvarianten. Interessant war auch, dass diese Variante kein Methan enthielt. Es konnten bei keiner Variante durchgehende futterhygienische Probleme während der Lagerungsphase festgestellt werden, sodass auch die jeweiligen Ausgangsbedingungen nicht für den punktuellen mikrobiellen Verderb verantwortlich gemacht werden können.

Fazit

In GKS-Konserven ändern sich die Umweltbedingungen (Gärgaszusammensetzung) über den gesamten Lagerungszeitraum und damit auch die Entwicklungsspielräume für verschiedene Mikroorganismen. Nach monatelanger guter Stabilität mit optimalem Schutz durch Kohlendioxid, kann die Situation in den Sommermonaten durchaus labiler werden. Insbesondere, wenn das CO₂-Niveau stark sinkt, Säuren aufgezehrt, der pH angehoben und der Restzucker verbraucht wird. Im Jahr 2013 gab es laut Information der Kammerreferenten aus Oberösterreich und der Steiermark kaum hygienische Probleme in der GKS-Praxis. Die Situation war damit deckungsgleich mit den Projektbetrieben. Für die Zukunft sind Betriebe gut beraten, wenn sie ihr GKS-System so gestalten, dass speziell in der ersten Gärphase eine gute, stabile Vergärung mit geringen Hefekeimzahlen erreicht wird.

5. Literatur

STRASSER, F., 2007: Ganzkornsilage absichern. Der Bauer (18) 2007

STRASSER, F., 2012: Schweinefütterung - Tipps zum Einlagern im Ganzkornsilosilo. <http://www.landwirt.com/Schweinefuetterung-Tipps-zum-Einlagern-im-Ganzkornsilosilo,,3975,,Bericht.html> (02.07.2014).

WETSCHEREK, W., 2014: Endbericht Forschungsprojekt 100882. Einfluss der Lagerungsbedingungen von Mais-Ganzkornsilage (GKS) auf Gärgaszusammensetzung und Gärungsverluste. Universität für Bodenkultur Wien, 48 S.