

Abschlussbericht: Hirse_Innobrotics

Projektleitung: Dr. Georg Terler,
HBLFA Raumberg-Gumpenstein

Abschlussbericht

Dafne-Projekt Nr. 101186/1 Akronym: Hirse_Innobrotics

**Futterwert und Siliereignung von Ganzpflanzensilagen
verschiedener Hirse-Sorten in der Rinderfütterung**

**Nutritive value and fermentation of whole plant silages from
different sorghum varieties in cattle feeding**

Projektleitung:

Dr. Georg Terler, HBLFA Raumberg-Gumpenstein

Projektmitarbeiter:

Ing. Reinhard Resch, Dipl.-Ing. Stefanie Gappmaier, Ing. Anton Schauer, Dr. Leonhard Gruber,
Ing. Josef Kaufmann, HBLFA Raumberg-Gumpenstein

Projektpartner:

Dr. Dagobert Eberdorfer, Dipl.-Ing. Johannes Schantl, Versuchsreferat Steiermark

Josef Mosbacher, Christian Liepach, LFS Hafendorf

ARGE Innobrotics (Leiter: Dipl.-Ing. Christian Werni, LK Steiermark)

Projektlaufzeit: 2016 – 2019

Irdning-Donnersbachtal, 2020

Impressum

Medieninhaber und Herausgeber:
HBLFA Raumberg-Gumpenstein
Landwirtschaft
Raumberg 38, 8952 Irdning-Donnersbachtal
raumberg-gumpenstein.at

Irdning-Donnersbachtal, 12. Februar 2020

Inhalt

1 Einleitung	5
1.1 Mais unter Druck	5
1.2 Hirsensilage als Alternative zu Maissilage in der Rinderfütterung?	6
2 Material und Methoden.....	9
2.1 Witterungsbedingungen in den Versuchsjahren	10
2.2 Anbau und Ernte der Hirse.....	11
2.3 Untersuchung der Nährstoffzusammensetzung und der Gärqualität	13
2.4 Untersuchung der ruminalen Abbaubarkeit.....	14
2.4.1 Durchführung der Untersuchungen.....	14
2.4.2 Berechnung der ruminalen Abbaubarkeit	16
2.5 Untersuchung der Gesamtverdaulichkeit	16
2.6 Statistische Auswertung.....	17
2.6.1 Ertrag und Futterwert	17
2.6.2 Gärqualität.....	18
3 Ergebnisse	19
3.1 Ertrag, Rispenanteil und Trockenmassegehalt	19
3.2 Nährstoffzusammensetzung	22
3.2.1 Frische Hirse – Restpflanze	22
3.2.2 Frische Hirse – Rispe.....	23
3.2.3 Frische Hirse – Ganzpflanze	24
3.2.4 Hirse-Ganzpflanzensilage	27
3.3 Energiegehalt	28
3.4 Gärqualität	29
3.4.1 Nährstoffe und Silierbarkeit.....	29
3.4.2 Gärung von verschiedenen Sorghum-Typen	32
3.4.3 Gärsaftverluste von Hirse-GPS.....	33
3.5 Ruminale Abbaubarkeit.....	35

3.5.1 Trockenmasse.....	35
3.5.2 Rohprotein.....	36
3.5.3 Neutral-Detergentien-Faser.....	37
3.5.4 Nicht-Faser-Kohlenhydrate.....	38
3.6 Gesamtverdaulichkeit.....	39
4 Diskussion.....	42
5 Schlussfolgerung.....	49
6 Zusammenfassung.....	50
7 Summary.....	52
8 Literatur.....	54
9 Tabellenverzeichnis.....	58
10 Abbildungsverzeichnis.....	59

1 Einleitung

1.1 Mais unter Druck

Silomais ist eines der wichtigsten Grundfuttermittel in der Rinderfütterung. Als ursprünglich subtropische Pflanze benötigt Mais, neben ausreichend hohen Temperaturen während der Vegetationsperiode, vor allem im Zeitraum vom Schossen bis zum Beginn der Kolbenausbildung genug Nährstoffe und Wasser um entsprechend Trockensubstanz und Körner bilden zu können. Wassermangel in diesem Zeitraum kann zu verringertem Längenwachstum (geringerer Ertrag), Ausbildung kolbenloser Pflanzen oder zu Kolben mit kleinen Körnern bzw. verringerter Kornzahl führen (Lütke Entrup et al. 2013). Dieses Vegetationsstadium erreicht Mais in Mitteleuropa in den Monaten Juli und August. Im Jahr 2018 regnete es in weiten Teilen Deutschlands und im Norden Österreichs von April bis Anfang August kaum, was zu deutlichen Ertrags- und Qualitätseinbußen im Silomais-Anbau führte (Mahlkow-Nerge 2018). Laut einer Studie der ZAMG (2015) ist davon auszugehen, dass in Zukunft Dürreperioden im Alpenraum und in den umliegenden Regionen zunehmen werden.

Neben der Klimaveränderung setzen auch Schädlinge dem Mais zu. Vor allem der Maiswurzelbohrer (*Diabrotica virgifera*) verursacht zum Teil große Schäden im Maisanbau. Dieser Schädling stammt ursprünglich aus Nordamerika und verbreitet sich seit den 1990er-Jahren vom Balkan in Richtung Norden. Nachdem im Jahr 2002 erstmals Käfer dieser Art in Österreich gefangen wurden, hat sich der Maiswurzelbohrer mittlerweile auf ganz Österreich ausgebreitet (AGES 2019). Der Maiswurzelbohrer schädigt die Maispflanze auf zweifache Weise. Die adulten Käfer fressen die Narbenfäden der Pflanze und verhindern so eine entsprechende Befruchtung. Zudem legen die Käfer ihre Eier in den Boden des Maisfeldes ab. Wächst im nächsten Jahr am gleichen Feld wieder Mais, so fressen die Larven die Wurzeln der Maispflanze und verringern so ihre Standfestigkeit (Fragner und Böck 2017). Erstmals traten 2014 große Schäden im Maisanbau auf, was zum Teil auch auf das in diesem Jahr eingeführte Verbot des Neonicotinoid-Einsatzes in Maiskulturen zurückzuführen war (Wilhelm 2014). Deshalb wurde nach alternativen Bekämpfungsstrategien des Maiswurzelbohrers gesucht. Fragner und Böck (2017) empfehlen die Kombination von mehreren Maßnahmen, um dem Maiswurzelbohrer Herr zu werden:

- Früher Maisanbau, damit Mais vor der Hauptflugzeit des Maiswurzelbohrers blüht
- Einsatz von insektiziden Mikrogranulaten oder biotauglichen Nematoden bei der Saat

- Käferspritzung
- Durchführung einer Fruchtfolge

Hinsichtlich der Fruchtfolgegestaltung ergeben sich natürlich verschiedenste Möglichkeiten. Gerade für Veredelungsbetriebe (z.B. Schweinemast, Rindermast) ist jedoch Mais eines der wichtigsten Futtermittel. Deshalb sind in der Fruchtfolgegestaltung vor allem Kulturen interessant, welche ähnliche Erträge und Futterqualitäten wie Mais erreichen. Daher kam vermehrt Sorghumhirse (*Sorghum bicolor* (L.) Moench), (in der Folge wird die Kurzform „Hirse“ für „Sorghumhirse“ verwendet) ins Gespräch, da diese Pflanze in ihrem Erscheinungsbild und ihrer Zusammensetzung dem Mais ähnlich ist. Zudem ist Hirse trockenheitstoleranter als Mais. Hirse kann sich von Dürreperioden besser erholen und erzielt somit in trockenen Jahren höhere Erträge als Mais (Black et al. 1980, Hart 1990, Grant et al. 1995, Marsalis et al. 2010, Pino und Heinrichs 2017). Farré und Faci (2006) führten ein Bewässerungsexperiment durch und stellten fest, dass Hirse bei weniger als 460 mm Bewässerung in der Vegetationsperiode sowohl höhere Korn- als auch höhere Biomasseerträge erzielt als Mais. Als Gründe dafür nennen die Autoren die kürzere Vegetationsdauer, günstigere Blatteigenschaften sowie eine höhere Wasseraufnahme aus tieferen Bodenschichten (0,5 bis 1,0 m) im Vergleich zu Mais (Farré und Faci 2006). Aus diesen Gründen scheint Hirse sowohl hinsichtlich der Maiswurzelbohrer-Problematik als auch hinsichtlich der vermehrt auftretenden Dürreperioden eine geeignete Alternative zu Mais zu sein.

1.2 Hirsesilage als Alternative zu Maissilage in der Rinderfütterung?

Während in der pflanzenbaulichen Produktion der Ertrag ein wesentlicher Erfolgsfaktor ist, kommt in der Rinderfütterung dem Futterwert von Futtermitteln eine entscheidende Bedeutung zu. Maissilage wird in der Rinderfütterung vor allem auf Grund seines hohen Energiegehalts eingesetzt (Terler et al. 2019). Der hohe Energiegehalt wirkt einerseits leistungsfördernd, andererseits eignet er sich aber auch dazu, Proteinüberschüsse aus dem Grünlandfutter (Grünfutter, Grassilage, Heu) auszugleichen. Damit sich Hirsesilage in der Praxis durchsetzen kann, sollte Hirsesilage ähnliche Energiegehalte aufweisen wie Maissilage und im Hirse- und Maisanbau ähnliche Erträge erzielbar sein.

Bisherige Versuche zum Futterwert von Hirsesilage stammen vor allem aus trockenen Regionen Nordamerikas und dem mediterranen Raum Europas. In diesen Versuchen wies Hirsesilage im Vergleich zu Maissilage einen höheren Gehalt an Rohprotein (XP) und Neutral-

Detergentien-Faser (NDF) auf (Johnson et al. 1971, Fasching 2014, Etle et al. 2016, Pino und Heinrichs 2017, Sánchez-Duarte et al. 2019, Yang et al. 2019). Zudem wurde bei Hirsesilage eine niedrigere Trockenmasse (TM)-Verdaulichkeit (Fox et al. 1970, Johnson et al. 1971, Pino und Heinrichs 2017) und ein geringerer Stärkegehalt (Fasching 2014, Yang et al. 2019) festgestellt. Diese Faktoren führten dazu, dass der Energiegehalt der Hirsesilage in den bisherigen Versuchen niedriger war als in der Maissilage (Fox et al. 1970, Marsalis et al. 2010, Fasching 2014, Etle et al. 2016). Bolsen und White (2007) gehen davon aus, dass man bei Hirsesilage rund 90 bis 95 % des Energiegehalts von Maissilage erwarten kann. Aus diesem Grund war in früheren Versuchen auch die Futteraufnahme und Milchleistung von Kühen bei Verfütterung von konventionellen Hirsesorten geringer als beim Einsatz von Maissilage (Grant et al. 1995, Fasching 2014, Yang et al. 2019).

Es liegen jedoch auch Untersuchungen vor, in welchen beim Einsatz von Hirse- bzw. Maissilage ähnliche Futteraufnahmen und Milchleistungen festgestellt wurden (Lusk et al. 1984, Grant et al. 1995, Colombini et al. 2010, Khosravi et al. 2018). Das ist darauf zurückzuführen, dass zwischen verschiedenen Hirse-Sorten große Unterschiede im Futterwert bestehen (Fasching 2014, Cattani et al. 2015). Sogenannte Brown-midrib (bmr)-Sorten wiesen in früheren Versuchen einen geringeren Lignin (ADL)-Gehalt und somit eine höhere NDF-Verdaulichkeit auf als konventionelle Sorten. Daraus resultierte eine höhere Futteraufnahme und eine höhere Milchleistung von Kühen bei Verfütterung von bmr-Sorten (Grant et al. 1995, Aydin et al. 1999, Oliver et al. 2004, Sánchez-Duarte et al. 2019). Allerdings traten bei der Ernte von bmr-Sorten geringere Erträge auf als bei konventionellen Sorten (Marsalis et al. 2010, Sánchez-Duarte et al. 2019). Weiters lassen sich Hirse-Sorten in Silo- und Körnertypen unterscheiden. Etle et al. (2016) und Bolsen und White (2007) stellten fest, dass sich Silagen aus Silo- und Körnerhirse-Sorten deutlich in ihrem Futterwert unterscheiden.

Neben der Sorte hat auch der Erntezeitpunkt einen Einfluss auf den Futterwert von Hirse-Ganzpflanzensilagen. Aus vorangegangenen Versuchen geht hervor, dass der XP- und NDF-Gehalt sowie die NDF-Verdaulichkeit der Hirse mit fortschreitender Reife zurückgehen, während der Stärkegehalt ansteigt (Johnson et al. 1971, Lyons et al. 2019). Der höchste Energiegehalt wurde zu Beginn der Teigreife festgestellt (Black et al. 1980). Mit fortschreitender Reife nahm auch der TM-Gehalt der Hirsesilage zu, was für die Gärqualität von Bedeutung ist (Bolsen und White 2007). Niedrigere TM-Gehalte können zu Sickersaftverlusten sowie zu hohen Essigsäure- und Ethanol-Gehalten in der Silage führen, welche für die Gärqualität eher ungünstig sind (Bolsen und White 2007).

Bis dato liegen jedoch kaum wissenschaftliche Untersuchungen zu Ertrag, Gäreigenschaften und Futterwert von Hirse unter mitteleuropäischen Klimabedingungen vor. Durch das Auftreten der Maiswurzelbohrer-Problematik im Jahr 2014 und die zunehmenden Dürreperioden interessieren sich immer mehr Viehhalter für den Anbau von Silohirse als Alternative zu Silomais. Um Informationen zu den Eigenschaften von Hirse-Ganzpflanzensilage zu erhalten, wurde daher ein Projekt gestartet, in welchem der Ertrag, die Nährstoffzusammensetzung von frischer und siliierter Hirse sowie die Gärqualität, die Pansenabbaubarkeit und die Gesamtverdaulichkeit von Hirsensilage untersucht wurde. Ziel dieses Projektes war, den Einfluss von Sorte, Erntezeitpunkt und Jahr auf die oben genannten Parameter von Hirse-Ganzpflanzensilage zu testen. Weiters wurde als Referenz auch eine häufig verwendete Silomais-Sorte untersucht. Dieser Versuch war Teil des EIP-Projekts „Innobrotics“, in welchem verschiedene Maßnahmen zur Reduzierung von Schäden durch den Maiswurzelbohrer getestet wurden.

2 Material und Methoden

Der Versuch lief von 2016 bis 2018 und wurde als Kooperationsprojekt der HBLFA Raumberg-Gumpenstein, der Landwirtschaftlichen Fachschule (LFS) Hafendorf, des Versuchsreferats Steiermark und der ARGE Innobrotics durchgeführt. In diesem Projekt wurden sechs verschiedene Sorten der Sorghumhirse (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) untersucht, die sich hinsichtlich ihres vorwiegenden Nutzungstyps in Biomasse-, Silo- und Körnerhirsen einteilen lassen. Tabelle 1 gibt einen Überblick über die im Versuch verwendeten Sorten. Zusätzlich wurde eine für das Anbauggebiet typische Silomais-Sorte (Angelo, Saatbau Linz) angebaut, um einen Vergleich zwischen Silomais und Hirse anstellen zu können.

Tabelle 1: Überblick über die im Versuch verwendeten Hirse-Sorten (*Sorghum bicolor*)

Sorte	Nutzungstyp	Züchter
ES Aristos	Biomasse	Euralis
ES Harmattan	Silo	Euralis
RGT Vegga	Silo	RAGT
NutriGrain	Silo	KWS
Primsilo	Silo (kornreich)	RAGT
RGT Ggaby	Körner	RAGT

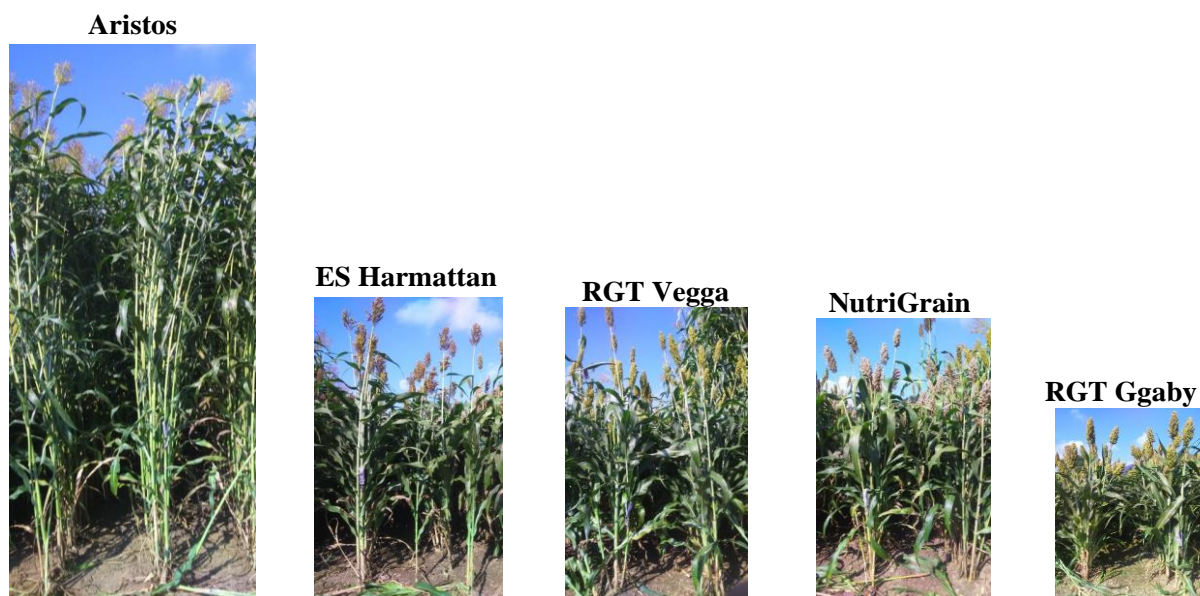


Abbildung 1: Wuchshöhenvergleich der im Versuch verwendeten Sorten

2.1 Witterungsbedingungen in den Versuchsjahren

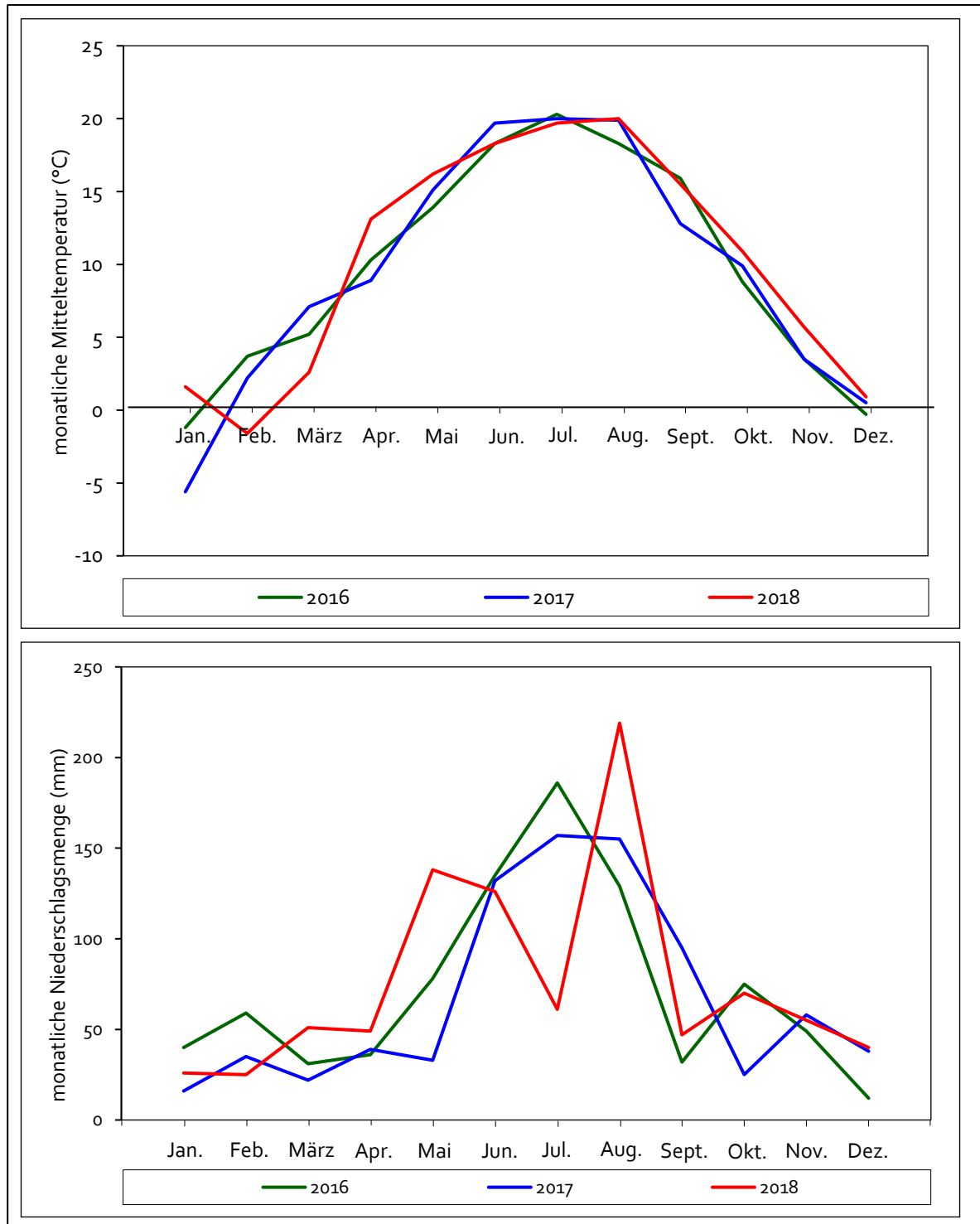


Abbildung 2: Monatliche Mitteltemperatur und Niederschlagsmenge am Versuchsstandort in den Jahren 2016 bis 2018

In Abbildung 2 sind die monatliche Mitteltemperatur und Niederschlagssumme an der Wetterstation Bruck an der Mur dargestellt. Diese Messstation liegt rund 7 km vom landwirtschaftlichen Betrieb der LFS Hafendorf entfernt. Die Temperaturverläufe waren in allen drei Jahren ähnlich. Einzig in den Monaten Februar, März und April weicht das Jahr 2018 bei der mittleren Temperatur von den beiden anderen Versuchsjahren ab. Hinsichtlich der monatlichen Niederschlagssumme unterscheidet sich ebenfalls das Jahr 2018 von den anderen Jahren. In diesem Jahr waren der Mai und August deutlich feuchter, während der Juli wesentlich trockener war.

2.2 Anbau und Ernte der Hirse

Der Anbau der Hirse-Sorten erfolgte an der LFS Hafendorf (Kapfenberg, Steiermark). Im Jahr 2016 wurden die Sorten ES Aristos, ES Harmattan, RGT Vegga, NutriGrain und RGT Ggaby angebaut. Da für die Sorte NutriGrain 2017 kein Saatgut verfügbar war, wurde sie in diesem Jahr durch die Sorte Primsilo ersetzt. 2018 wurden schließlich alle sechs Sorten angebaut und für die Untersuchungen verwendet.

Der Anbau und die Pflegemaßnahmen wurden durch die LFS Hafendorf und das Versuchsreferat Steiermark durchgeführt. In den drei Jahren standen aufgrund der Fruchtfolge-Gestaltung der LFS Hafendorf jeweils verschiedene Felder zur Verfügung. Die Böden der Felder setzten sich vorwiegend aus Sand und Schluff zusammen mit einem pH-Wert von 6,1 bis 6,4 und einem Humusgehalt zwischen 3,5 und 5,3 %. Die Saat erfolgte mit einer Einzelkorn-Sämaschine (70 cm Reihenabstand, 4,5 cm Abstand in der Reihe) in einer Streifenanlage. Die Anbauzeitpunkte waren für alle Sorten der 12.05.2016, 10.05.2017 und 02.05.2018. Zwei bis drei Wochen vor dem Anbau erfolgte eine Düngung mit 30 m³ Biogas-Rindergülle pro ha. Vier Wochen nach der Saat wurde der Hirsebestand mit 4 l/ha Gardo Gold und 0,3 kg/ha Maisbanvel behandelt.

Die Ernte erfolgte zu drei verschiedenen Erntezeitpunkten. Die erste Ernte erfolgte beim Übergang von der Milch- in die Teigreife (Erntetermin „früh“), die zweite im Reifestadium Mitte Teigreife („mittel“) und die dritte beim Übergang von der Teig- in die Vollreife („spät“). Die tatsächlichen Erntetermine sind in Tabelle 2 dargestellt. Da die Zahl an analysierbaren Futtermitteln im Verdauungsversuch mit 16 begrenzt war, wurde der Silomais nur zum mittleren Erntezeitpunkt geerntet. Weiters konnte aus diesem Grund die Gesamtverdaulichkeit der Sorte Primsilo nur im Jahr 2017 untersucht werden.

Tabelle 2: Erntetermine der Hirse-Sorten in den Versuchsjahren

Jahr	früh	mittel	spät
2016	16.09.	27.09.	06.10.
2017	14.09.	28.09.	05.10.
2018	06.09	18.09.	27.09.



Abbildung 3: Hirsebestand am 21.08.2016

Im Zuge der Ernte wurden von einer Reihe jeder Hirse-Sorte auf einer Länge von 5 m Einzelpflanzen entnommen, welche später zur Ertragsschätzung und für die Nährstoffanalyse der frischen Hirse verwendet wurden. Der restliche Bestand wurde mit einem Motormäher gemäht und danach mit Hilfe eines einreihigen Maishäckslers gehäckselt (Schnitthöhe: jeweils 10 cm). Das Häckselgut wurde in Kunststofffässer gefüllt und gut verdichtet. Die vollen Fässer wurden danach luftdicht verschlossen, an die HBLFA Raumberg-Gumpenstein transportiert und gewogen. Anschließend wurden die Fässer für ca. 4 Monate eingelagert. Nach diesen 4 Monaten wurden die Fässer abermals gewogen und anschließend entleert. Im Zuge der Entleerung wurde eine Sichtkontrolle auf Schimmelbefall durchgeführt welcher gegebenenfalls entfernt wurde. Danach wurde die Menge an Sickersaft bestimmt und mit Hilfe eines Probenbohrers Futterproben für die Nährstoffanalyse gezogen. Die restliche Hirsesilage wurde in einem Futtermischer gemischt und homogenisiert und anschließend für die weitere

Verwendung (Untersuchung der Pansenabbaubarkeit und Gesamtverdaulichkeit) in Kunststoffsäcken abgefüllt und tiefgefroren.



Abbildung 4: Mischen und Abfüllen der Hirsesilagen nach Entleerung der Versuchssilos

2.3 Untersuchung der Nährstoffzusammensetzung und der Gärqualität

Die Nährstoffzusammensetzung wurde sowohl von den frischen Hirsepflanzen als auch von den Hirsesilagen untersucht. Die frischen Hirsepflanzen wurden vor der Analyse in drei Teile zerlegt: Rispe, unterste 50 cm der Restpflanze, übrige Restpflanze. Diese drei Teile wurden anschließend gesondert analysiert, um Informationen über den Futterwert der verschiedenen Pflanzenteile zu erhalten. Die gesonderte Untersuchung der untersten 50 cm der Restpflanze diente dazu, um Aussagen über die Nährstoffzusammensetzung einer Hochschnittsilage (60 cm Erntehöhe) treffen zu können. Für die Auswertung der Nährstoffzusammensetzung der Gesamtpflanze wurden die Nährstoffgehalte der einzelnen Pflanzenteile mit ihren Anteilen an der Gesamtpflanze multipliziert und anschließend aufsummiert. Die Analyse der Hirsesilagen erfolgte anhand der bei der Entleerung der Silagen gezogenen Proben. Weiters wurden bei der

Entleerung der Hirsesilagen auch Proben des Sickersaftes gezogen, welche ebenfalls hinsichtlich ihres Nährstoffgehalts analysiert wurden.

Vor der Nährstoffanalyse wurden die Futterproben bei 50-55 °C für 72 h schonend getrocknet und anschließend auf 1 mm Partikelgröße vermahlen. Sämtliche Analysen der Inhaltsstoffe (TM, Nährstoffe, Mineralstoffe, pH-Wert, NH₃-Stickstoff, flüchtige organische Verbindungen [VOC]) erfolgten nach den Methoden des VDLUFA (2012). Mit Ausnahme von Stärke (XS) und Zucker (XZ) wurden die Analysen im anstaltseigenen Labor der HBLFA Raumberg-Gumpenstein durchgeführt (Trockenmasse (TM): Methode 3.1; Rohprotein (XP): 4.1.2; Rohfett (XL): 5.1.1; Rohfaser (XF): 6.1.1; Rohasche (XA): 8.1; Neutral-Detergentien-Faser (NDF): 6.5.1, Säure-Detergentien-Faser (ADF): 6.5.2, Lignin (ADL): 6.5.3). Weiters wurde der Energiegehalt (metabolische Energie (ME) und Nettoenergie Laktation (NEL)) *in vitro* mit Hilfe der Cellulase-Methode (nach VDLUFA (2012); Methode 6.6.1) und der in GfE (2008) angeführten Formel für Maisprodukte ermittelt. Die Analyse von XS (Methode 7.2.1) und XZ (Methode 7.1.1) wurde im Futtermittellabor Rosenau der Landwirtschaftskammer Niederösterreich durchgeführt. Bei der Ermittlung des TM-Gehalts der Futtermittel wurden die bei der Trocknung entstehenden unvermeidlichen Verluste an flüchtigen Fettsäuren mit Hilfe der Formeln für Maissilage von Weißbach und Kuhla (1995) berücksichtigt. Bei 16 Silageproben aus dem Jahr 2017 erfolgte zudem die Analyse der Ester an der Humboldt-Universität Berlin an konservierten und tiefgekühlten Extrakten.

2.4 Untersuchung der ruminalen Abbaubarkeit

2.4.1 Durchführung der Untersuchungen

Bei der Entleerung der Hirsesilagen wurden Proben für die Bestimmung der ruminalen Abbaubarkeit gezogen, welche anschließend bei 50-55 °C 72 h lang schonend getrocknet wurden. Anschließend wurde die ruminale Abbaubarkeit der Futtermittel nach der Methode von Ørskov et al. (1980) bestimmt. Für diese Untersuchungen wurden drei Pansen-fistulierte, trockengestellte Kühe der Rasse Holstein Friesian×Brown Swiss verwendet. Den Kühen wurde entsprechend ihres Erhaltungsbedarfs 4-mal täglich eine Mischration bestehend aus 40 % Grassilage, 30 % Maissilage und 30 % Heu verfüttert.

Um die Abbaukinetik der Futtermittel untersuchen zu können, wurden 10 verschiedene Inkubationszeiten (0, 3, 6, 10, 14, 24, 42, 65, 92 und 120 h) gewählt. Für die Inkubation wurden die Futtermittel in Nylon-bags (10×20 cm, 50 µm Porengröße) gefüllt. Bei den

Inkubationszeiten 0 bis 65 h wurden jeweils 5,7 g eingefüllt. Bei den Stufen 92 und 120 h wurde die Inkubationsmenge auf 6,2 g erhöht, da geringere Residuenmengen nach der Inkubation zu erwarten waren. Weiters wurden aus diesem Grund bei den Zeitstufen 65 bis 120 h auch zwei Nylon-bags pro Tier inkubiert, während bei allen anderen Zeitstufen nur ein Säckchen pro Tier eingesetzt wurde. Die Zeitstufe 0 h wurde nicht inkubiert, sondern diente zur Ermittlung des Waschmaschinenverlustes. Diese Säckchen wurden gleich wie alle anderen Säckchen behandelt, mit der Ausnahme, dass sie nicht inkubiert wurden. Von den verwendeten Futtermitteln wurden zwei Proben genommen und für die Bestimmung des TM-Gehalts herangezogen.

Vor der Inkubation wurden die gefüllten Nylon-bags für rund 10 Minuten in 38 °C warmen Wasser angewärmt. Anschließend wurden sie mit Hilfe eines Kabelbinders und eines Karabiners an einem 1 kg schweren Eisenring befestigt. Dieser Eisenring mitsamt den Säckchen wurde anschließend über eine Pansenfistel in den Pansensee der Kühe inkubiert. Mit Hilfe einer 50 cm langen Schnur war der Eisenring an der Pansenfistel fixiert. Nach Ablauf der jeweiligen Inkubationsdauer wurden die Nylon-bags wieder aus dem Pansen entnommen und sofort in Eiswasser gelegt, um die mikrobiellen Abbauvorgänge in den Säckchen zu stoppen. Danach wurden die Säckchen zunächst unter fließendem Wasser von grobem Pansenmaterial gereinigt und anschließend in einer Waschmaschine für ca. 30 Minuten mit kaltem Wasser gewaschen. Nach dem Waschvorgang wurden die Nylon-bags bis zur Trocknung eingefroren.

Die Trocknung der Nylon-bags samt den Residuen erfolgte bei 50-55 °C und dauerte 72 h. Unmittelbar nach der Trocknung wurde das Gewicht der Residuen bestimmt. Zwei Säckchen wurden anschließend noch für 24 h bei 105 °C weiter getrocknet, um den Restwassergehalt der Residuen zu bestimmen. Von den getrockneten Residuen wurde danach der Gehalt an XP, XA und NDF nach den unter Kapitel 2.3 beschriebenen Methoden bestimmt. Die Korrektur der unvermeidlichen Mikrobenreste in den Residuen erfolgte mit Hilfe der Formeln von Krawielitzki et al. (2006).

Die Untersuchung der ruminalen Abbaubarkeit wurde nur in den Versuchsjahren 2016 und 2017 durchgeführt. Aufgrund von vorzeitigen Abgängen von Fistelkühen konnte die ruminale Abbaubarkeit der Ernte 2018 nicht mehr ermittelt werden.

2.4.2 Berechnung der ruminalen Abbaubarkeit

Der Anteil des nach einer bestimmten Inkubationsdauer abgebauten Futtermittels wurde mit folgender Formel berechnet, wobei Deg für die ruminale Abbaubarkeit, EW für Menge an eingewogenem Futtermittel und RW für die Menge an Residue (Rückwaage) steht:

$$\text{Deg (\%)} = (1 - \text{RW} / \text{EW}) \times 100$$

Die Schätzung der ruminalen Abbauparameter a (rasch und vollständig lösliche Fraktion des Futtermittels), b (potentiell abbaubare Fraktion des Futtermittels) und c (Abbaurrate der Fraktion b) erfolgte nach der Formel von Ørskov und McDonald (1979):

$$\text{PD (\%)} = a + b \times (1 - e^{(-c \times t)})$$

Der Parameter t stellt in dieser Formel die Inkubationszeit dar. Die Berechnung der effektiven Abbaubarkeit (ED) wurde nach der Formel von Ørskov und McDonald (1979) durchgeführt, welche später von McDonald (1981) und Südekum (2005) noch um die lag-time erweitert wurde:

$$\text{ED (\%)} = a + (b \times c) / (c + k) \times e^{(-k \times \text{lag})}$$

Als Passageraten (k) wurden in diesem Versuch 2, 5 und 8 % h⁻¹ angenommen. Die Berechnung der lag-time (Verzögerungszeit des Abbaus im Pansen) erfolgte nach der Formel von Ørskov und Ryle (1990):

$$\text{lag (h)} = 1 / c \times \ln(b / (a + b - \text{Waschmaschinenverlust (\%)}))$$

2.5 Untersuchung der Gesamtverdaulichkeit

Die Bestimmung der Verdaulichkeit erfolgte an drei Hammeln pro Futtermittel nach den Leitlinien der GfE (1991). Die tägliche Futtermenge, welche an die Hammel verfüttert wurde, richtete sich nach dem Erhaltungsbedarf der Tiere (1 kg TM pro Tag, 2 Mahlzeiten). Um eine ausgeglichene Nährstoffversorgung der Tiere zu gewährleisten, wurden täglich 100 g Sojaextraktionsschrot, 20 g Mineralfutter und 4 g Viehsalz zugefüttert.

Für jedes Erntejahr wurde ein gesonderter Verdauungsversuch durchgeführt, welcher aus drei Perioden bestand. Die Versuchsphase, in welcher die Futteraufnahme und Kotausscheidung

erhoben wurde, dauerte fünf Tage und entsprach der laut Tierversuchsgenehmigung erlaubten Dauer. Zwei Wochen vor Beginn der Versuchsphase wurden die Tiere an das jeweilige Futtermittel gewöhnt (Haltung mit der Möglichkeit von Einzeltierfütterung). Während einer Versuchsperiode erhielt jeweils ein Hammel eines der 16 getesteten Futtermittel (15 Hirsesilagen, eine Maissilage). Nach Ende jeder Periode wurde die Futtermittelzuteilung verändert, sodass im Laufe des Versuchs an jeden Hammel drei verschiedene Futtermittel verfüttert wurden.

Die Analyse des Kotes erfolgte nach den gleichen Methoden wie für die Futtermittel (siehe Kapitel 2.3). Der Stickstoff-Gehalt des Kots wurde jedoch im frischen Zustand bestimmt, um Stickstoff-Verluste während der Trocknung zu vermeiden. Der ME- und NEL-Gehalt nach der *in vivo*-Methode (Hammelversuch) wurde nach den Vorgaben der GfE (2001) unter Verwendung der im Verdauungsversuch bestimmten Verdaulichkeit ermittelt.

2.6 Statistische Auswertung

2.6.1 Ertrag und Futterwert

Vor Beginn der statistischen Auswertung wurden die Daten mit Hilfe des Statistikprogramms Statgraphics Centurion XVII (2015 Statpoint Technologies, Inc., Warrenton, Virginia, USA) kontrolliert. Die statistische Auswertung erfolgte mit den Statistikprogrammen Statgraphics Centurion XVII und SAS 9.4 (SAS Institute Inc., Cary, NC, USA), wobei für die verschiedenen Parameter unterschiedliche Modelle verwendet wurden, welche im Folgenden beschrieben sind.

Ertrag, ruminale Abbaubarkeit und Gesamtverdaulichkeit

Der Ertrag, die ruminale Abbaubarkeit und die Gesamtverdaulichkeit wurden mit einem Allgemeinen Linearen Modell (GLM) ausgewertet, wobei Sorte, Erntezeitpunkt und Jahr als Hauptfaktoren verwendet wurden. Die Wechselwirkungen wurden nicht berücksichtigt, da sie nicht signifikant waren.

Nährstoffzusammensetzung

Die Auswertung der Nährstoffzusammensetzung erfolgte ebenfalls mit einem GLM unter Verwendung der Hauptfaktoren Sorte, Erntezeitpunkt und Jahr. Weiters wurde auch die

Wechselwirkung Erntezeitpunkt \times Jahr im Modell verwendet. Die weiteren Wechselwirkungen (Sorte \times Erntezeitpunkt und Sorte \times Jahr) wurden nicht herangezogen, da sie nicht signifikant waren.

Bei sämtlichen oben beschriebenen Auswertungen wurde der Tukey-Test für die paarweisen Mittelwertvergleiche verwendet und ein Konfidenzniveau von 95 % angenommen.

2.6.2 Gärqualität

Die statistischen Berechnungen wurden mit der Software Statgrafics Centurion (Version XVII) und mit IBM SPSS Statistics (Version 25) durchgeführt. Für die mehrfaktoriellen Analysen wurde das GLM-Verfahren (Allgemeine lineare Modellierung) herangezogen. Die Mittelwertvergleiche wurden mit der Methode TUKEY-HSD (**H**onestly **S**ignificant **D**ifference) durchgeführt. Die berechneten p-Werte beziehen sich ebenfalls auf ein Konfidenzniveau von 95 %.

3 Ergebnisse

3.1 Ertrag, Rispenanteil und Trockenmassegehalt

Die Ergebnisse zum TM-, ME- und XP-Ertrag bei einer Erntehöhe von 10 bzw. 60 cm sind in Tabelle 3 und Tabelle 4 dargestellt.

Tabelle 3: Ertrag von Sorghumhirse bei einer Erntehöhe von 10 cm

	TM-Ertrag	ME-Ertrag	XP-Ertrag
	kg/ha	GJ/ha	kg/ha
Sorte			
ES Aristos	24.899 ^b	206,0 ^b	1.508 ^b
ES Harmattan	12.374 ^a	108,8 ^a	1.017 ^a
RGT Vegga	15.037 ^a	134,7 ^{ab}	1.267 ^{ab}
NutriGrain	15.316 ^a	144,4 ^{ab}	1.278 ^{ab}
Primsilo	14.369 ^a	136,9 ^{ab}	1.085 ^{ab}
RGT Ggaby	16.742 ^a	162,8 ^b	1.378 ^{ab}
Erntezeitpunkt			
Früh	13.759 ^a	119,7 ^a	1.114
Mittel	17.650 ^b	160,3 ^b	1.333
Spät	17.959 ^b	166,7 ^b	1.320
Jahr			
2016	16.188	142,8	1.330 ^b
2017	17.239	156,2	1.413 ^b
2018	15.941	147,9	1.024 ^a
Statistik			
p Sorte	<0,001	<0,001	0,016
p Erntezeitpunkt	0,001	<0,001	0,063
p Jahr	0,540	0,551	0,001
rSD	3.159	30,4	279
R ²	72,0	65,9	52,6
Silomais			
	20.136	220,9	1.389

TM = Trockenmasse; ME = umsetzbare Energie; XP = Rohprotein; rSD = Residual-Standardabweichung; R² = Bestimmtheitsmaß.

Hinsichtlich des TM-Ertrags hob sich die Biomassehirse-Sorte ES Aristos bei beiden Erntehöhen deutlich von den übrigen Sorten ab. Auch im ME- und XP-Ertrag wurden mit dieser Sorte die höchsten Werte erzielt. Aufgrund des niedrigen ME- und XP-Gehalts unterschied sich ES Aristos jedoch nicht signifikant von der Körnerhirse-Sorte RGT Ggaby.

Tabelle 4: Ertrag von Sorghumhirse bei einer Erntehöhe von 60 cm

	TM-Ertrag	ME-Ertrag	XP-Ertrag
	kg/ha	GJ/ha	kg/ha
Sorte			
ES Aristos	20.636 ^c	171,0 ^c	1.322 ^c
ES Harmattan	9.005 ^a	82,5 ^a	794 ^a
RGT Vegga	11.388 ^{ab}	106,1 ^{ab}	1.005 ^{abc}
NutriGrain	11.728 ^{ab}	115,0 ^{ab}	1.030 ^{abc}
Primsilo	11.668 ^{ab}	116,5 ^{ab}	936 ^{ab}
RGT Ggaby	13.079 ^b	135,2 ^{bc}	1.138 ^{bc}
Erntezeitpunkt			
Früh	10.414 ^a	93,4 ^a	895 ^a
Mittel	14.109 ^b	132,5 ^b	1.121 ^b
Spät	14.229 ^b	137,2 ^b	1.097 ^b
Jahr			
2016	12.620	115,1	1.065 ^{ab}
2017	13.724	128,1	1.173 ^b
2018	12.408	119,9	874 ^a
Statistik			
p Sorte	<0,001	<0,001	0,001
p Erntezeitpunkt	<0,001	<0,001	0,016
p Jahr	0,400	0,486	0,003
rSD	2.634	26,8	227
R ²	75,9	68,0	57,0
Silomais			
	18.187	205,9	1.331

TM = Trockenmasse; ME = umsetzbare Energie; XP = Rohprotein; rSD = Residual-Standardabweichung; R² = Bestimmtheitsmaß.

Die Sorte ES Harmattan wies den niedrigsten TM-, ME- und XP-Ertrag auf und unterschied sich in diesen Parametern signifikant von der Sorte RGT Ggaby (Ausnahme: TM-Ertrag bei 10 cm Erntehöhe). Ansonsten traten zwischen Körner- und Silohirse-Sorten keine signifikanten Unterschiede hinsichtlich TM-, ME- und XP-Ertrag auf. Im Vergleich zu Silomais wies lediglich die Sorte ES Aristos einen höheren Ertrag auf, während der Ertrag aller anderen Sorten bei 10 cm Erntehöhe um rund 17 bis 38 % unter jenem von Silomais lag. Hinsichtlich des ME-Ertrags war Silomais allen Hirse-Sorten überlegen. Bei 10 cm Erntehöhe war jedoch der XP-Ertrag der meisten Hirse-Sorten mit jenem von Silomais vergleichbar, was auf den höheren XP-Gehalt der Hirse zurückzuführen ist. Der TM-, ME- und XP-Ertrag nahm bei beiden Erntehöhen zwischen ersten und zweitem Erntezeitpunkt deutlich zu, während er sich zwischen zweitem und drittem Erntezeitpunkt kaum mehr änderte. Das Jahr beeinflusste lediglich den XP-Ertrag, was auf den deutlich niedrigeren XP-Gehalt der Hirse im Jahr 2018 zurückzuführen ist.

Bei Silomais hatte die Anhebung der Erntehöhe von 10 auf 60 cm einen vergleichsweise geringen Rückgang der TM-Ertrags (ca. 2.000 kg TM/ha) zur Folge. Bei der Hirse verringerte sich der Ertrag dagegen um rund 2.700 kg (RGT Primsilo) bis 4.300 kg/ha (ES Aristos). Der Rückgang des ME- und XP-Ertrags durch Anhebung der Erntehöhe war ebenfalls bei Hirse deutlich stärker ausgeprägt als bei Silomais.

Der Rispenanteil unterschied sich sowohl bei 10 cm als auch bei 60 cm Erntehöhe signifikant zwischen den Sorten (Tabelle 5). Bei der Biomassehirse-Sorte Aristos war der Rispenanteil mit knapp über 10 % sehr gering.

Tabelle 5: Rispenanteil sowie Trockenmassegehalt von frischer Restpflanze, frischer Rispe und frischer Ganzpflanze sowie Hirse-Ganzpflanzensilage bei unterschiedlicher Erntehöhe

	Rispenanteil		Trockenmassegehalt				
			Restpflanze	Rispe	Ganzpflanze frisch		Ganzpflanze Silage
Erntehöhe	10 cm	60 cm	10 cm		10 cm	60 cm	10 cm
Einheit	--- % (Ganzpflanze) ---		----- g/kg FM -----				
Sorte							
ES Aristos	10,5 ^a	12,3 ^a	287 ^d	394 ^a	297 ^b	311 ^c	273 ^c
ES Harmattan	27,8 ^b	37,7 ^b	184 ^{ab}	437 ^{ab}	222 ^a	255 ^a	214 ^a
RGT Vegga	28,3 ^b	37,2 ^b	201 ^{ab}	413 ^a	237 ^a	268 ^{ab}	223 ^{ab}
NutriGrain	40,0 ^c	52,2 ^c	180 ^a	477 ^{bc}	252 ^a	300 ^{bc}	237 ^b
Primsilo	53,3 ^d	66,0 ^d	226 ^c	560 ^d	337 ^c	398 ^d	310 ^d
RGT Ggaby	59,1 ^d	75,6 ^d	205 ^{bc}	528 ^{cd}	323 ^{bc}	407 ^d	296 ^d
Erntezeitpunkt							
Früh	30,4 ^a	41,1 ^a	210	411 ^a	256 ^a	293 ^a	241 ^a
Mittel	39,2 ^b	49,2 ^b	212	470 ^b	281 ^b	324 ^b	263 ^b
Spät	39,9 ^b	50,3 ^b	220	523 ^c	298 ^b	353 ^c	273 ^c
Jahr							
2016	31,0 ^a	40,3 ^a	215	435 ^a	264 ^a	301 ^a	247 ^a
2017	37,0 ^{ab}	46,3 ^a	207	490 ^b	277 ^{ab}	325 ^{ab}	257 ^a
2018	41,5 ^b	53,9 ^b	220	472 ^b	294 ^b	344 ^b	273 ^b
Statistik							
p Sorte	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
p Erntezeitp.	<0,001	0,001	0,125	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
p Jahr	<0,001	<0,001	0,076	<0,001	0,001	<0,001	<0,001
p Ernte × Jahr	0,055	0,111	0,048	0,002	0,273	0,107	0,203
rSD	6,1	6,8	15	36	21	27	16
R ²	93,2	94,4	89,8	88,5	89,6	90,8	88,2
Silomais	61,0	67,8	235	569	366	407	328

rSD = Residual-Standardabweichung; R² = Bestimmtheitsmaß.

Der höchste Rispenanteil wurde bei der Körnerhirsesorte RGT Ggaby mit 59,1 % (10 cm Erntehöhe) bzw. 75,6 % (60 cm Erntehöhe) festgestellt. Der hohe Rispenanteil bei 60 cm Erntehöhe ist auf die geringe Wuchshöhe dieser Sorte zurückzuführen. Der Rispenanteil dieser Sorte war ähnlich hoch (10 cm Erntehöhe) bzw. deutlich erhöht (60 cm Erntehöhe) im Vergleich zum Kolbenanteil von Silomais. Zwischen erstem und zweitem Erntezeitpunkt stieg der Rispenanteil deutlich an. Dagegen blieb er zwischen mittlerem und spätem Erntezeitpunkt konstant. Ein Grund dafür ist, dass bei der späten Ernte zum Teil bereits Körner ausgefallen waren. Der Rispenanteil unterschied sich zudem auch signifikant zwischen den Jahren, wobei im Jahr 2018 die höchsten Werte festgestellt wurden.

Der TM-Gehalt der Restpflanze unterschied sich signifikant zwischen den Jahren, wobei vor allem die Sorte ES Aristos einen deutlich höheren Wert aufwies. Der Erntezeitpunkt und das Jahr beeinflussten den TM-Gehalt der Restpflanze dagegen nicht. Der TM-Gehalt der Rispe stieg mit zunehmendem Rispenanteil der Sorte an. Daher stieg auch der TM-Gehalt der frischen und silierten Ganzpflanze mit steigendem Rispenanteil an. Eine Ausnahme bildete die Sorte ES Aristos. Aufgrund des hohen TM-Gehalts der Restpflanze wies die Ganzpflanze dieser Sorte einen vergleichsweise hohen TM-Gehalt auf, obwohl der TM-Gehalt der Rispe niedrig war. Mit fortschreitender Reife stieg der TM-Gehalt der Rispe und der Ganzpflanze (frisch und siliert) deutlich an. Darüber hinaus wurde im Jahr 2018 ein signifikant höherer TM-Gehalt in der Rispe und in der Ganzpflanze festgestellt als im Jahr 2016.

3.2 Nährstoffzusammensetzung

3.2.1 Frische Hirse – Restpflanze

Der XP-, XL- und XA-Gehalt der Restpflanze unterschied sich signifikant zwischen den Sorten, wobei die Sorte ES Aristos deutlich niedrigere Werte aufwies als die restlichen Sorten (Tabelle 6). Weiters unterschieden sich die Sorten hinsichtlich des NDF-, ADL-, NFC- und XZ-Gehalts der Restpflanze. Auffällig waren vor allem der niedrige ADL-Gehalt der Sorte NutriGrain und der hohe XZ- und NFC-Gehalt der Sorte ES Aristos. Der Erntezeitpunkt hatte keinen Einfluss auf die Nährstoffzusammensetzung der Restpflanze und Jahresunterschiede wurden lediglich hinsichtlich des XP- und XL-Gehalts festgestellt.

Tabelle 6: Nährstoffzusammensetzung der frischen Restpflanze von Sorghumhirse

	XP	XL	XF	XA	NDF	ADF	ADL	NFC	XZ
----- g/kg TM -----									
Sorte									
ES Aristos	51,3 ^a	11,7 ^a	370	67,8 ^a	642 ^{ab}	411	58,0 ^b	227 ^c	129,5 ^b
ES Harmattan	78,4 ^{bc}	14,2 ^b	376	101,5 ^b	679 ^{abc}	425	54,8 ^{ab}	127 ^{ab}	54,0 ^a
RGT Vegga	82,6 ^{bc}	14,7 ^b	353	99,2 ^b	641 ^a	405	55,3 ^b	163 ^b	61,5 ^a
NutriGrain	85,1 ^{bc}	15,0 ^b	354	101,9 ^b	654 ^{abc}	403	44,5 ^a	144 ^{ab}	56,7 ^a
Primsilo	66,0 ^{ab}	14,6 ^b	376	99,4 ^b	688 ^{bc}	426	61,4 ^b	132 ^{ab}	42,1 ^a
RGT Ggaby	84,7 ^c	15,7 ^b	376	103,8 ^b	691 ^c	429	59,4 ^b	105 ^a	25,6 ^a
Erntezeitpunkt									
Früh	78,8	14,3	369	98,3	665	418	55,3	143	53,8
Mittel	74,7	14,4	367	96,6	665	416	55,3	150	60,5
Spät	70,5	14,3	366	91,9	668	416	56,1	156	70,4
Jahr									
2016	83,1 ^b	14,3 ^b	368	93,4	661	416	58,5	148	58,0
2017	85,5 ^b	15,4 ^b	368	93,6	670	417	55,1	135	51,4
2018	55,4 ^a	13,2 ^a	366	99,7	666	416	53,1	166	75,3
Statistik									
p Sorte	<0,001	<0,001	0,092	<0,001	0,002	0,206	0,002	<0,001	<0,001
p Erntezeitp.	0,115	0,933	0,899	0,095	0,961	0,955	0,920	0,613	0,250
p Jahr	<0,001	0,001	0,942	0,064	0,740	0,986	0,073	0,084	0,062
p Ernte × Jahr	0,270	0,102	0,080	0,001	0,012	0,025	0,062	0,003	0,003
rSD	10,9	1,2	21	8,3	29	25	6,4	36	27,6
R ²	82,2	74,4	38,7	81,5	57,6	39,8	56,2	72,6	75,0
Silomais									
Silomais	50,1	12,8	342	76,6	638	397	47,8	222	68,2

XP = Rohprotein; XL = Rohfett; XF = Rohfaser; XA = Rohasche; NDF = Neutral-Detergentien-Faser; ADF = Säure-Detergentien-Faser; ADL = Säure-Detergentien-Lignin; NFC = Nicht-Faser-Kohlenhydrate; XZ = Zucker; rSD = Residual-Standardabweichung; R² = Bestimmtheitsmaß.

3.2.2 Frische Hirse – Rispe

Der Gehalt aller untersuchten Nährstoffe in der Rispe wurde signifikant von der Sorte beeinflusst (Tabelle 7). Vor allem die Sorte ES Aristos unterschied sich deutlich von den übrigen untersuchten Sorten. Sie wies einen höheren XF-, NDF-, ADF- und ADL-Gehalt sowie einen niedrigeren XL-, NFC- und XS-Gehalt auf. Auffällig waren zudem der niedrige XA-Gehalt der Sorte ES Harmattan und der hohe XZ-Gehalt der Sorte RGT Vegga.

Der XL-, NFC- und XS- Gehalt stieg dagegen zwischen erstem und zweitem Erntezeitpunkt an, während im Gegenzug der Gehalt an XP, XF, NDF, ADF und ADL zurückging. Im Zuge der weiteren Reife nahm jedoch nur mehr der XL-Gehalt zu, während der Gehalt aller anderen Nährstoffe konstant blieb. Das Jahr hatte einen signifikanten Einfluss auf den XP-, XL-, XA- und

XZ-Gehalt der Rispe, während der Gehalt an Faser- und Nicht-Faser-Kohlenhydraten in allen drei Jahren ähnlich hoch war.

Tabelle 7: Nährstoffzusammensetzung der frischen Rispe von Sorghumhirse

	XP	XL	XF	XA	NDF	ADF	ADL	NFC	XS	XZ
-----g/kgTM-----										
Sorte										
ES Aristos	84,6 ^a	15,9 ^a	275 ^b	48,1 ^b	619 ^b	337 ^b	60,0 ^c	232 ^a	156 ^a	31,6 ^a
ES Harmattan	88,8 ^{ab}	22,0 ^b	159 ^a	39,6 ^a	426 ^a	208 ^a	33,7 ^a	424 ^b	403 ^b	35,5 ^{ab}
RGT Vegga	94,4 ^b	22,3 ^b	195 ^a	46,8 ^b	479 ^a	252 ^a	37,7 ^{ab}	357 ^b	293 ^b	50,9 ^b
NutriGrain	84,3 ^{ab}	23,5 ^{bc}	170 ^a	45,4 ^{ab}	439 ^a	233 ^a	49,5 ^{bc}	408 ^b	375 ^b	23,0 ^a
Primsilo	79,4 ^a	27,1 ^{bc}	150 ^a	43,3 ^{ab}	397 ^a	217 ^a	49,9 ^{bc}	453 ^b	419 ^b	23,3 ^a
RGT Ggaby	81,2 ^a	29,4 ^c	175 ^a	47,5 ^b	439 ^a	227 ^a	37,1 ^{ab}	403 ^b	367 ^b	26,0 ^a
Erntezeitpunkt										
Früh	91,7 ^b	19,0 ^a	216 ^b	46,0	523 ^b	276 ^b	50,2 ^b	320 ^a	262 ^a	36,4
Mittel	84,4 ^a	23,1 ^b	180 ^a	44,4	448 ^a	235 ^a	42,9 ^a	400 ^b	363 ^b	28,0
Spät	80,3 ^a	28,1 ^c	166 ^a	45,1	428 ^a	226 ^a	40,9 ^a	418 ^b	382 ^b	30,8
Jahr										
2016	89,1 ^b	21,1 ^a	198	45,1 ^{ab}	490	252	43,0	354	293	41,8 ^b
2017	86,6 ^b	22,9 ^{ab}	192	47,7 ^b	471	255	46,6	372	344	29,6 ^a
2018	80,7 ^a	26,1 ^b	172	42,7 ^a	438	230	44,4	413	370	23,8 ^a
Statistik										
p Sorte	0,001	<0,001	<0,001	0,011	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
p Erntezeitp.	<0,001	<0,001	0,001	0,676	0,002	0,003	0,007	0,002	0,001	0,117
p Jahr	0,002	0,006	0,113	0,031	0,136	0,183	0,532	0,088	0,051	<0,001
p Ernte × Jahr	0,118	0,001	0,020	0,350	0,065	0,013	0,205	0,135	0,169	0,886
rSD	6,5	4,1	36	5,0	73	41	8,2	75	85	11,2
R ²	70,7	80,3	75,6	47,6	70,7	73,3	71,7	69,7	72,9	66,3
Silomais	78,8	43,8	100	20,7	327	130	17,2	530	460	39,7

XP = Rohprotein; XL = Rohfett; XF = Rohfaser; XA = Rohasche; NDF = Neutral-Detergentien-Faser; ADF = Säure-Detergentien-Faser; ADL = Säure-Detergentien-Lignin; NFC = Nicht-Faser-Kohlenhydrate; XS = Stärke; XZ = Zucker; rSD = Residual-Standardabweichung; R² = Bestimmtheitsmaß.

3.2.3 Frische Hirse – Ganzpflanze

Sowohl bei 10 cm als auch bei 60 cm Erntehöhe hatten die Sorte, der Erntezeitpunkt und das Jahr einen signifikanten Einfluss auf die Nährstoffzusammensetzung der frischen Ganzpflanze (Tabelle 8 und Tabelle 9). Bei beiden Erntehöhen war (mit Ausnahme des Gehalts an XP, XA und ADL) ein Zusammenhang mit dem Rispenanteil zu erkennen, was darauf hindeutet, dass der Futterwert von Hirse vorwiegend von der Nährstoffzusammensetzung der Rispe beeinflusst wird. Mit zunehmendem Rispenanteil der Sorten stieg der XL-, NFC- und XS-Gehalt an, während der XF-, NDF-, ADF- und XZ-Gehalt zurückging. Das bedeutet, dass Körnerhirse-

Sorten und Silohirse-Sorten mit hohem Rispenanteil einen deutlich höheren Gehalt an leicht bzw. rasch verdaulichen Nährstoffen aufwiesen. Auffällig war zudem der hohe ADL-Gehalt der Sorten ES Aristos und Primsilo. Im Vergleich zu Silomais wiesen jedoch alle Hirse-Sorten einen höheren Gehalt an Faserbestandteilen und einen niedrigeren NFC- und XS-Gehalt auf.

Tabelle 8: Nährstoffzusammensetzung von frischer Hirse bei einer Erntehöhe von 10 cm

	XP	XL	XF	XA	NDF	ADF	ADL	NFC	XS	XZ
----- g/kg TM -----										
Sorte										
ES Aristos	60,3 ^a	12,6 ^a	355 ^d	65,8 ^a	632 ^c	402 ^d	58,1 ^c	235 ^{ab}	26 ^a	117,6 ^b
ES Harmattan	82,7 ^{bc}	16,8 ^b	316 ^c	85,0 ^c	607 ^c	365 ^c	49,6 ^{abc}	209 ^a	110 ^{bc}	47,9 ^a
RGT Vegga	85,1 ^c	17,4 ^b	305 ^{bc}	83,8 ^c	590 ^{bc}	359 ^{bc}	50,5 ^{abc}	223 ^a	90 ^b	58,0 ^a
NutriGrain	84,1 ^{bc}	19,4 ^{bc}	275 ^{ab}	78,7 ^{bc}	556 ^{ab}	329 ^{ab}	45,4 ^{ab}	263 ^{abc}	159 ^{cd}	45,1 ^a
Primsilo	73,4 ^b	21,6 ^{cd}	253 ^a	69,1 ^{ab}	526 ^a	313 ^a	56,1 ^{bc}	309 ^c	233 ^e	29,1 ^a
RGT Ggaby	82,4 ^{bc}	24,0 ^d	256 ^a	70,4 ^{ab}	540 ^a	308 ^a	46,0 ^a	283 ^{bc}	218 ^{de}	26,0 ^a
Erntezeitpunkt										
Früh	81,6 ^b	16,4 ^a	315 ^b	81,5 ^b	609 ^b	369 ^b	53,2	211 ^a	95 ^a	50,8
Mittel	77,6 ^{ab}	19,0 ^b	286 ^a	74,3 ^a	561 ^a	336 ^a	50,3	269 ^b	159 ^b	49,7
Spät	74,7 ^a	20,6 ^b	279 ^a	70,6 ^a	556 ^a	333 ^a	49,4	281 ^b	165 ^b	61,3
Jahr										
2016	83,6 ^b	17,1 ^a	309 ^b	77,0	592 ^b	358 ^b	53,7 ^b	229 ^a	110 ^a	53,2
2017	85,4 ^b	19,4 ^b	294 ^{ab}	75,5	577 ^{ab}	350 ^b	51,2 ^{ab}	244 ^a	143 ^{ab}	48,3
2018	65,0 ^a	19,3 ^b	277 ^a	74,0	556 ^a	330 ^a	47,9 ^a	287 ^b	165 ^b	60,3
Statistik										
p Sorte	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,002	<0,001	<0,001	<0,001
p Erntezeitp.	0,021	<0,001	<0,001	0,001	<0,001	<0,001	0,211	<0,001	<0,001	0,349
p Jahr	<0,001	0,014	<0,001	0,489	0,006	0,002	0,039	<0,001	0,001	0,402
p Ernte x Jahr	0,043	0,001	0,022	0,246	0,020	0,007	0,143	0,142	0,002	0,020
rSD	6,6	2,2	20	7,0	30	21	6,1	33	37	23,9
R ²	86,4	87,2	88,0	71,4	81,4	85,4	57,1	81,0	89,5	74,8
Silomais										
	67,7	31,7	195	42,4	449	235	29,4	409	281	50,0

XP = Rohprotein; XL = Rohfett; XF = Rohfaser; XA = Rohasche; NDF = Neutral-Detergentien-Faser; ADF = Säure-Detergentien-Faser; ADL = Säure-Detergentien-Lignin; NFC = Nicht-Faser-Kohlenhydrate; XS = Stärke; XZ = Zucker; rSD = Residual-Standardabweichung; R² = Bestimmtheitsmaß.

Durch die Anhebung der Erntehöhe auf 60 cm nahm der XP-, XL-, NFC- und XS-Gehalt zu, während der Gehalt aller anderen Nährstoffe (v.a. der Faserbestandteile) abnahm. Den größten Effekt hatte die Anhebung der Erntehöhe bei den Sorten mit hohem Rispenanteil (RGT Ggaby und Primsilo). So war der XS-Gehalt der Sorte RGT Ggaby bei 60 cm Erntehöhe um 61 g höher und der NDF-Gehalt 47 g niedriger als bei 10 cm Erntehöhe. Bei der Biomassehirse-Sorte ES Aristos wirkte sich dagegen die Änderung der Erntehöhe auf den XS- und NDF-Gehalt kaum aus.

Tabelle 9: Nährstoffzusammensetzung von frischer Hirse bei einer Erntehöhe von 60 cm

	XP	XL	XF	XA	NDF	ADF	ADL	NFC	XS	XZ
	----- g/kg TM -----									
Sorte										
ESAristos	63,9 ^a	13,2 ^a	352 ^d	61,6 ^a	639 ^c	399 ^c	56,6 ^b	229 ^a	30 ^a	107,0 ^c
ESHarmattan	90,4 ^c	18,7 ^b	293 ^c	75,4 ^b	587 ^{bc}	341 ^b	48,8 ^{ab}	229 ^a	148 ^{bc}	41,5 ^{ab}
RGTVegga	90,0 ^c	19,6 ^{bc}	284 ^{bc}	74,5 ^b	575 ^b	338 ^b	48,9 ^{ab}	241 ^{ab}	116 ^b	55,1 ^b
NutriGrain	89,0 ^{bc}	21,5 ^{bc}	248 ^{ab}	69,4 ^{ab}	531 ^{ab}	303 ^{ab}	46,3 ^{ab}	290 ^{bc}	205 ^{cd}	30,7 ^{ab}
Primsilo	78,4 ^b	23,9 ^{cd}	221 ^a	61,0 ^a	488 ^a	283 ^a	53,9 ^{ab}	348 ^c	288 ^d	20,8 ^a
RGTGgaby	87,2 ^{bc}	27,4 ^d	217 ^a	60,2 ^a	493 ^a	269 ^a	42,2 ^a	333 ^c	279 ^d	25,9 ^{ab}
Erntezeitpunkt										
Früh	88,2 ^b	18,0 ^a	295 ^b	72,0 ^b	593 ^b	349 ^b	52,7	228 ^a	127 ^a	46,3
Mittel	82,4 ^{ab}	21,0 ^b	261 ^a	66,8 ^{ab}	534 ^a	311 ^a	48,3	296 ^b	198 ^b	42,0
Spät	78,8 ^a	23,2 ^b	252 ^a	62,2 ^a	528 ^a	306 ^a	47,4	311 ^b	208 ^b	52,2
Jahr										
2016	86,8 ^b	19,0 ^a	285 ^b	70,1 ^b	570 ^b	334 ^b	51,5	254 ^a	142 ^a	47,8
2017	90,2 ^b	21,5 ^{ab}	273 ^b	68,0 ^{ab}	557 ^{ab}	329 ^b	50,0	266 ^a	178 ^{ab}	42,6
2018	72,6 ^a	21,7 ^b	250 ^a	63,0 ^a	528 ^a	303 ^a	46,8	316 ^b	213 ^b	50,1
Statistik										
p Sorte	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,006	<0,001	<0,001	<0,001
p Erntezeitp.	0,003	<0,001	<0,001	0,002	<0,001	<0,001	0,109	<0,001	<0,001	0,416
p Jahr	<0,001	0,024	0,001	0,024	0,009	0,002	0,185	<0,001	0,001	0,636
p Ernte × Jahr	0,243	0,002	0,004	0,688	0,004	0,001	0,114	0,020	0,003	0,100
rSD	7,0	2,8	23	7,1	37	25	7,3	37	46	20,5
R ²	83,7	86,2	89,7	67,4	84,4	87,7	53,5	84,8	89,5	76,7
Silomais										
	71,9	34,4	172	39,1	425	209	25,4	430	312	43,1

XP = Rohprotein; XL = Rohfett; XF = Rohfaser; XA = Rohasche; NDF = Neutral-Detergentien-Faser; ADF = Säure-Detergentien-Faser; ADL = Säure-Detergentien-Lignin; NFC = Nicht-Faser-Kohlenhydrate; XS = Stärke; XZ = Zucker; rSD = Residual-Standardabweichung; R² = Bestimmtheitsmaß

Bei beiden Erntehöhen stieg der XL- NFC- und XS-Gehalt zwischen erstem und zweitem Erntezeitpunkt signifikant an, während der XF-, NDF- und ADF-Gehalt signifikant zurückging. Im Zuge der weiteren Reife änderte sich der Gehalt dieser Nährstoffe jedoch nicht mehr. Weiters nahm der XP-Gehalt bei beiden Erntehöhen zwischen frühem und spätem Erntezeitpunkt signifikant ab.

Im Jahr 2018 wurde bei beiden Erntehöhen ein signifikant niedriger XP- und ADF-Gehalt sowie ein deutlich höherer NFC-Gehalt als in den Jahren 2016 und 2017 festgestellt. Weiters wies die Hirse im Jahr 2018 einen signifikant höheren XL-, und XS-Gehalt sowie einen niedrigeren NDF-Gehalt auf als 2016. Ein Grund für den höheren Futterwert der Hirse-Ganzpflanze im Jahr 2018 liegt im höherem Rispenanteil.

3.2.4 Hirse-Ganzpflanzensilage

Der Gehalt sämtlicher untersuchter Nährstoffe in der Ganzpflanzensilage wurde signifikant von der Sorte beeinflusst (Tabelle 10). Wie bei der frischen Ganzpflanze war auch bei der Ganzpflanzensilage bei den meisten Nährstoffen ein Zusammenhang mit dem Rispenanteil zu erkennen. Der Gehalt an Faserkohlenhydraten und XZ ging mit zunehmendem Rispenanteil zurück, während der NFC- und XS-Gehalt anstieg. Zwischen den beiden Sorten mit dem höchsten Rispenanteil (Primsilo und RGT Ggaby) wurde jedoch ein signifikanter Unterschied im Gehalt an Zellwandbestandteilen festgestellt. Der NDF-, ADF- und ADL-Gehalt war bei der Sorte Primsilo deutlich höher als bei der Sorte RGT Ggaby. Alle untersuchten Sorten wiesen einen höheren NDF- und ADF-Gehalt sowie einen niedrigeren NFC- und XS-Gehalt auf als Silomais. Hirsesilage hatte jedoch (mit Ausnahme der Sorte ES Aristos) einen höheren XP-Gehalt als Maissilage.

Tabelle 10: Nährstoffzusammensetzung von Hirse-Ganzpflanzensilage bei 10 cm Erntehöhe

	XP	XL	XF	XA	NDF	ADF	ADL	NFC	XS	XZ
	----- g/kg TM -----									
Sorte										
ES Aristos	62,7 ^a	16,0 ^a	356 ^d	67,0 ^a	616 ^d	400 ^e	56,0 ^d	238 ^a	68 ^a	25,7 ^b
ES Harmattan	74,5 ^b	23,5 ^b	320 ^c	78,2 ^b	567 ^c	359 ^d	45,7 ^{bc}	256 ^{ab}	116 ^b	17,6 ^{ab}
RGT Vegga	84,0 ^c	23,9 ^b	300 ^c	85,2 ^c	531 ^b	338 ^{cd}	41,5 ^{ab}	276 ^b	125 ^b	17,5 ^{ab}
NutriGrain	85,2 ^c	25,3 ^b	263 ^{ab}	79,9 ^{bc}	500 ^b	303 ^b	38,2 ^{ab}	310 ^c	190 ^c	15,1 ^{ab}
Primsilo	70,9 ^b	23,5 ^b	267 ^b	66,8 ^a	505 ^b	317 ^{bc}	51,5 ^{cd}	333 ^{cd}	248 ^{cd}	12,7 ^{ab}
RGT Ggaby	82,7 ^c	28,1 ^c	239 ^a	70,0 ^a	458 ^a	277 ^a	35,7 ^a	362 ^d	277 ^d	10,8 ^a
Erntezeitpunkt										
Früh	79,5	22,3 ^a	311 ^b	77,9 ^b	560 ^b	352 ^b	44,1	261 ^a	132 ^a	20,4 ^b
Mittel	75,3	23,5 ^{ab}	282 ^a	73,3 ^a	515 ^a	324 ^a	44,6	312 ^b	185 ^b	12,1 ^a
Spät	75,2	24,3 ^b	280 ^a	72,3 ^a	513 ^a	321 ^a	45,6	315 ^b	194 ^b	17,1 ^{ab}
Jahr										
2016	80,3 ^b	22,5 ^a	305 ^b	73,9	540 ^b	346 ^b	44,9 ^{ab}	283 ^a	118 ^a	28,4 ^b
2017	84,0 ^b	24,5 ^b	296 ^b	76,2	533 ^{ab}	340 ^b	47,6 ^b	283 ^a	186 ^b	13,0 ^a
2018	65,8 ^a	23,1 ^a	272 ^a	73,4	516 ^a	310 ^a	41,9 ^a	322 ^b	208 ^b	8,3 ^a
Statistik										
p Sorte	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,025
p Erntezeitp.	0,030	0,001	<0,001	0,001	<0,001	<0,001	0,676	<0,001	<0,001	0,041
p Jahr	<0,001	0,002	<0,001	0,145	0,008	<0,001	0,006	<0,001	<0,001	<0,001
p Ernte × Jahr	<0,001	<0,001	0,206	0,393	0,047	0,359	0,613	0,280	0,001	0,006
rSD	7,1	2,0	25	5,8	32	27	6,9	32	34	8,9
R ²	77,1	83,2	80,1	66,3	80,1	78,0	60,4	78,5	91,9	72,1
Silomais										
	62,8	28,8	211	48,9	414	239	25,6	445	283	14,9

XP = Rohprotein; XL = Rohfett; XF = Rohfaser; XA = Rohasche; NDF = Neutral-Detergentien-Faser; ADF = Säure-Detergentien-Faser; ADL = Säure-Detergentien-Lignin; NFC = Nicht-Faser-Kohlenhydrate; XS = Stärke; XZ = Zucker; rSD = Residual-Standardabweichung; R² = Bestimmtheitsmaß

Zwischen frühem und mittlerem Erntezeitpunkt ging der XF-, XA-, NDF-, ADF- und XZ-Gehalt deutlich zurück, während der NFC- und XS-Gehalt signifikant anstieg. Im Zuge der weiteren Reife änderte sich der Gehalt dieser Nährstoffe der Ganzpflanzensilage nicht mehr. Im Jahr 2018 wurde ein signifikant niedrigerer XP-, XF- und ADF-Gehalt in der Ganzpflanzensilage festgestellt als in den beiden anderen Versuchsjahren. Weiters war der NDF-Gehalt im Jahr 2018 ebenfalls signifikant niedriger als 2016. Dagegen enthielt die Ganzpflanzensilage 2016 deutlich weniger XS und signifikant mehr XZ als in den beiden weiteren Versuchsjahren. Dies hing möglicherweise mit dem geringeren Rispenanteil und dem geringeren TM-Gehalt der Rispe in diesem Jahr zusammen, was auf eine Ernte in einem etwas früheren Reifestadium im Vergleich zu 2017 und 2018 hindeutet.

3.3 Energiegehalt

Die Sorten unterschieden sich signifikant hinsichtlich des *in vitro*-Energiegehalts (ermittelt nach der Cellulase-Methode) von Restpflanze, Rispe, frischer Ganzpflanze und Ganzpflanzensilage (Tabelle 11). Der ME- und NEL-Gehalt der Restpflanze war bei den kornreichen und niedrigwüchsigen Sorten Primсило und RGT Ggaby am niedrigsten. Die Biomassehirse-Sorte ES Aristos wies dagegen im Vergleich zu allen andern Sorten einen signifikant niedrigeren ME- und NEL-Gehalt in der Rispe auf. Der ME- und NEL-Gehalt der frischen Ganzpflanze stieg bei beiden Erntehöhen mit zunehmendem Rispenanteil an. Ein ähnliches Bild wurde bei der Ganzpflanzensilage beobachtet. Allerdings wies die Ganzpflanzensilage der Sorte Primсило, trotz vergleichbarem Rispenanteil, einen signifikant niedrigeren ME- und NEL-Gehalt auf als die Sorte RGT Ggaby. Ein möglicher Grund dafür könnte im deutlich höheren ADL-Gehalt der Sorte Primсило liegen. Die Hirse wies bei allen untersuchten Futtermitteln einen niedrigeren Energiegehalt auf als Silomais.

Der Erntezeitpunkt hatte keinen Einfluss auf den ME- und NEL-Gehalt der Restpflanze. Dagegen nahm der ME- und NEL-Gehalt der Rispe sowie der frischen und silierten Ganzpflanze zwischen frühem und mittlerem Erntezeitpunkt signifikant zu. Zwischen mittlerem und spätem Erntezeitpunkt wurde dagegen keine weitere Änderung im Energiegehalt festgestellt. Zwischen den Versuchsjahren traten keine Unterschiede im ME- und NEL-Gehalt der Restpflanze und Rispe auf. Der ME- und NEL-Gehalt der Ganzpflanze war dagegen im Jahr 2016 signifikant niedriger als im Jahr 2018, was auf den deutlich niedrigeren Rispenanteil im ersten Versuchsjahr zurückzuführen ist.

Tabelle 11: *In vitro*-Energiegehalt von frischer Restpflanze, frischer Rispe und frischer Ganzpflanze (bei 10 und 60 cm Erntehöhe) und Hirse-Ganzpflanzensilage (10 cm Erntehöhe)

	Restpflanze		Rispe		Ganzpflanze 10 cm		Ganzpflanze 60 cm		Ganzpflanzen- silage	
	ME ¹	NEL	ME	NEL	ME	NEL	ME	NEL	ME	NEL
	----- MJ/kg TM -----									
Sorte										
ES Aristos	8,12 ^{abc}	4,65 ^{abc}	8,88 ^a	5,16 ^a	8,26 ^a	4,75 ^a	8,27 ^a	4,75 ^a	8,44 ^a	4,86 ^a
ES Harmattan	7,96 ^{ab}	4,55 ^{ab}	10,92 ^b	6,62 ^b	8,77 ^b	5,12 ^b	9,12 ^b	5,36 ^b	9,39 ^b	5,53 ^b
RGT Vegga	8,20 ^{bc}	4,72 ^{bc}	10,52 ^b	6,33 ^b	8,90 ^{bc}	5,21 ^{bc}	9,22 ^b	5,42 ^b	9,59 ^{bc}	5,68 ^{bc}
NutriGrain	8,38 ^c	4,85 ^c	10,49 ^b	6,33 ^b	9,34 ^{cd}	5,52 ^{cd}	9,64 ^{bc}	5,73 ^{bc}	9,94 ^{cd}	5,93 ^{cd}
Primsilo	7,74 ^a	4,41 ^a	10,99 ^b	6,68 ^b	9,51 ^d	5,65 ^d	9,97 ^{cd}	5,97 ^{cd}	9,69 ^{bc}	5,75 ^{bc}
RGT Ggaby	7,89 ^{ab}	4,51 ^{ab}	10,92 ^b	6,63 ^b	9,70 ^d	5,78 ^d	10,30 ^d	6,20 ^d	10,23 ^d	6,13 ^d
Erntezeitpunkt										
Früh	8,03	4,60	9,96 ^a	5,93 ^a	8,73 ^a	5,09 ^a	9,01 ^a	5,28 ^a	9,27 ^a	5,45 ^a
Mittel	8,06	4,63	10,54 ^b	6,36 ^b	9,19 ^b	5,41 ^b	9,54 ^b	5,66 ^b	9,67 ^b	5,74 ^b
Spät	8,06	4,62	10,85 ^b	6,59 ^b	9,32 ^b	5,51 ^b	9,71 ^b	5,78 ^b	9,70 ^b	5,75 ^b
Jahr										
2016	8,06	4,62	10,33	6,20	8,88 ^a	5,19 ^a	9,21 ^a	5,42 ^a	9,43	5,56 ^a
2017	8,13	4,67	10,33	6,21	9,12 ^{ab}	5,36 ^{ab}	9,43 ^{ab}	5,57 ^{ab}	9,54	5,64 ^{ab}
2018	7,96	4,56	10,70	6,46	9,24 ^b	5,46 ^b	9,62 ^b	5,72 ^b	9,67	5,74 ^b
Statistik										
p Sorte	0,001	0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
p Erntezeitp.	0,948	0,942	0,002	0,002	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
p Jahr	0,182	0,279	0,202	0,215	0,006	0,005	0,015	0,014	0,055	0,043
p Ernte × Jahr	0,020	0,022	0,028	0,022	0,012	0,008	0,003	0,003	0,191	0,200
rSD	0,25	0,17	0,66	0,47	0,29	0,21	0,37	0,26	0,27	0,19
R ²	57,3	56,9	74,2	74,5	86,8	86,9	87,6	87,5	89,0	89,0
Silomais	8,46	4,90	12,57	7,83	10,96	6,68	11,32	6,93	10,85	6,58

ME = umsetzbare Energie; NEL = Nettoenergie Laktation; rSD = Residual-Standardabweichung; R² = Bestimmtheitsmaß.

¹ Für die Ermittlung des *in vitro*-Energiegehalts nach der Cellulase-Methode wurde die Formel für Maisprodukte nach GfE (2008) herangezogen.

3.4 Gärqualität

3.4.1 Nährstoffe und Silierbarkeit

Die Sorghum-Sorten wiesen allgemein einen geringeren TM-Gehalt von 195 bis 333 g/kg FM auf als Maissilage mit 334 g/kg FM (Abbildung 5). Der TM-Gehalt wurde durch die Faktoren Sorte (p<0,01), Reife (p<0,01) und Jahr (p<0,05) signifikant beeinflusst. Im Durchschnitt erreichten weder die Sorten des Sorghum-Silotyps noch des Biomassetyps den geforderten TM-Orientierungsbereich von 300 bis 400 g/kg FM. Nur die kornreichen Sorten Primsilo und

RGT Ggaby konnten ab einer mittleren Kornreife den geforderten TM-Gehalt für eine gute Silagekonservierung erreichen. Dieser Umstand ergibt, vom Standpunkt des TM-Gehaltes aus betrachtet, eine allgemein ungünstige Silierbarkeit von Sorghum-Sorten, mit Ausnahme des Korntyps. Die Biomasse-Sorte Aristos enthielt im Stängelinneren ein schwammiges Mark, daher wies diese Sorte eine deutlich schlechtere Verdichtbarkeit auf als die übrigen Sorghum-Sorten.

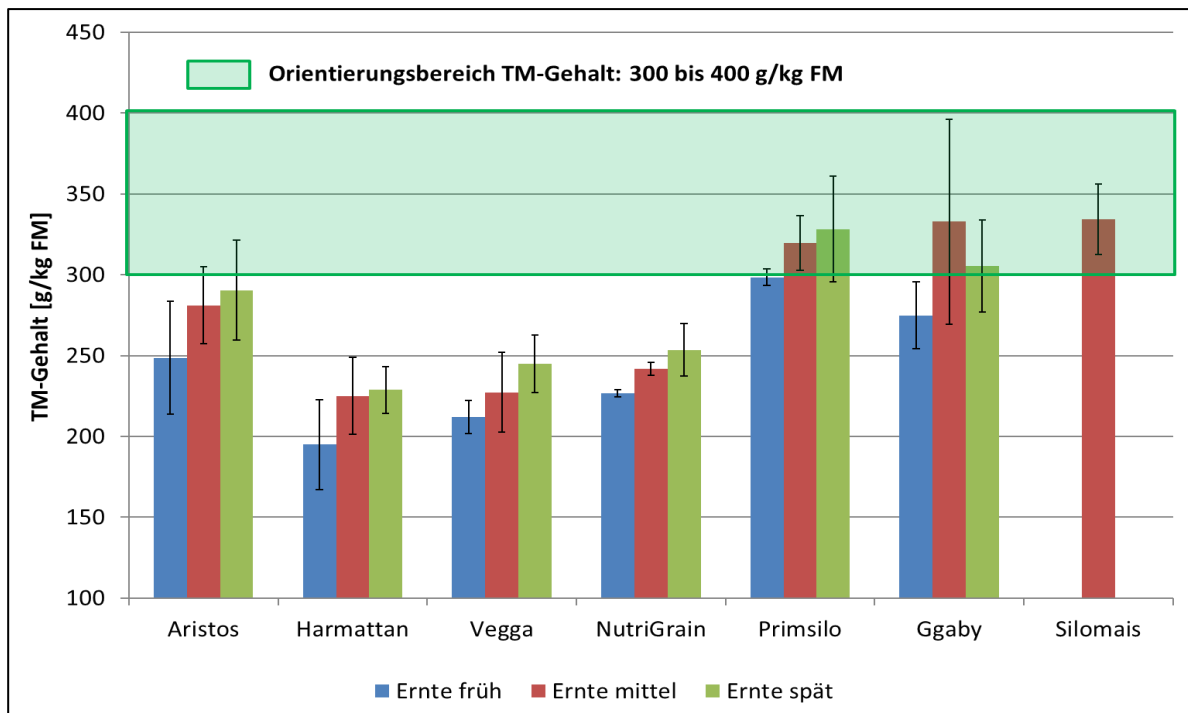


Abbildung 5: TM-Gehalte von Hirse-GPS in Abhängigkeit verschiedener Sorten und Kornreifegrade im Vergleich zu Silomais

Bis auf die Sorte Aristos enthielten alle getesteten Sorghum-Sorten einen höheren XP-Gehalt als Maissilage. Die Sorte NutriGrain erreichte mit 85 g/kg TM den höchsten XP-Gehalt. Der Rohaschegehalt der untersuchten Sorghum-Sorten war signifikant höher als jener der Maissilage. Die Silierbarkeit von Futterpflanzen hängt mit der Pufferwirkung von Protein und Mineralstoffen zusammen (Gross und Riebe 1973). Aus dieser Sicht war die Silierbarkeit von Sorghum-Sorten ungünstiger einzustufen als jene von Silomais, da bei den Hirsen mehr puffernde Stoffe (XP und XA) in der TM enthalten waren.

Die Zusammensetzung der Kohlenhydrate, speziell der leicht löslichen Zucker (XZ), ist für die Silierbarkeit von entscheidender Bedeutung. Zucker und Stärke sind in den Nicht-Faser-

Kohlenhydraten (NFC) enthalten. Bei Hirse-GPS war eine hohe Varianz im NFC-Gehalt zu beobachten. Im Vergleich zu Mais (445 g/kg TM) hatten die Biomasse- bzw. Silo-Sorghum-Typen einen deutlich geringeren NFC-Gehalt (zum Teil unter 300 g/kg TM), die kornreichen Typen hatten einen NFC-Gehalt von durchschnittlich 348 g/kg TM. Die Biomasse-Hirse (Aristos) enthielt in der GPS nur 68 g Stärke (XS)/kg TM, die Sorten des Silotyps erreichten im Durchschnitt 144 g und nur die kornreichen Sorghum-Typen (Primsilo und RGT Ggaby) kamen mit 263 g XS/kg TM auf ähnlich hohe Stärkegehalte wie Silomais (283 g XS/kg TM). In der fertigen GPS waren allgemein sehr geringe Zuckergehalte festgestellt worden. Am niedrigsten waren die XZ-Gehalte bei den kornreichen Sorten (Primsilo 12,7 g; RGT Ggaby 10,8 g XZ/kg TM). Die Sorten des Silo-Sorghum-Typs lagen durchschnittlich bei 16,7 g XZ/kg TM und somit minimal höher als Silomais mit 14,9 g XZ/kg TM. Der Biomasse-Typ (Aristos) enthielt 25,7 g XZ/kg TM. In der Tendenz muss der teilweise auftretende Zuckermangel im Körner-Sorghum-Typ kritisch betrachtet werden, speziell hinsichtlich einer ausreichenden Absenkung des pH-Wertes (Abbildung 6). Der Gehalt an strukturierten Kohlenhydraten (NDF, ADF, ADL) war in den Sorghum-GPS revers zu den NFC-Gehalten. Die NDF-Gehalte hatten in den Versuchen keinen Einfluss auf die Gärqualität.

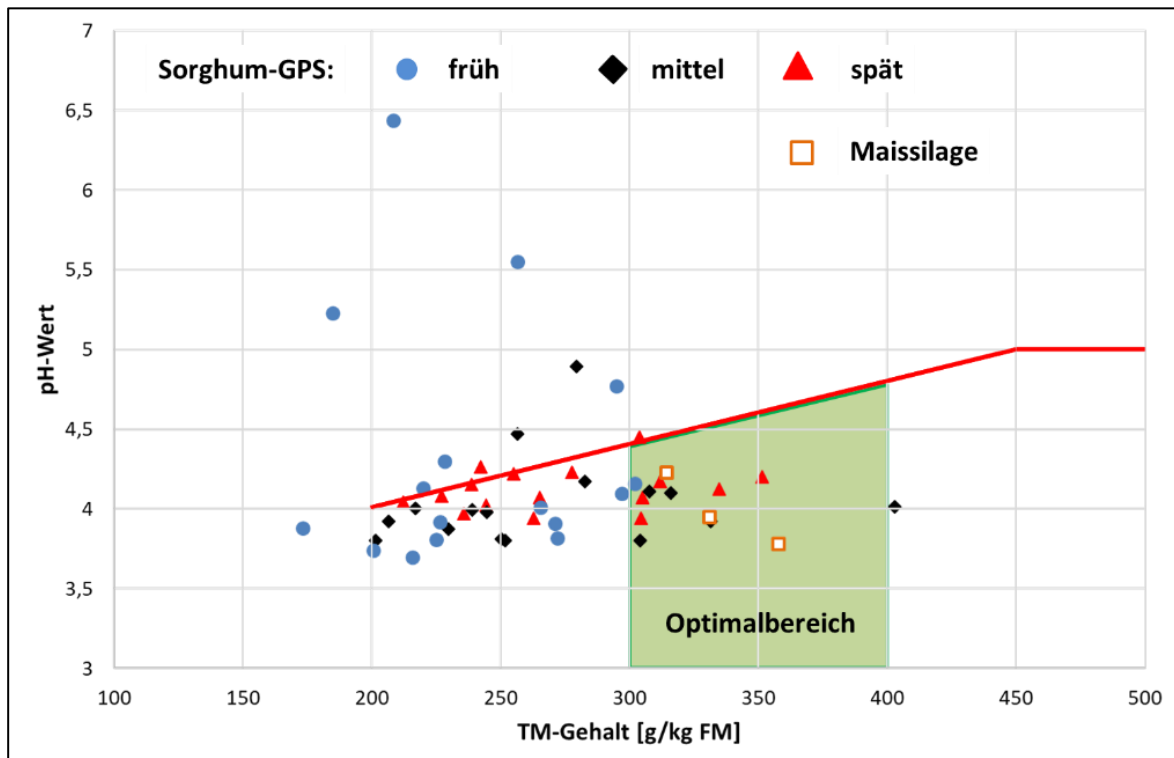


Abbildung 6: Beziehung zwischen TM-Gehalt und pH-Wert von Hirse-GPS im Vergleich zu Maissilage

Als erstes Zwischenfazit kann festgehalten werden, dass keine der geprüften Sorghum-Sorten einen Vorteil hinsichtlich Silierbarkeit gegenüber Silomais aufwiesen. Der geforderte TM-Gehalt konnte nur von Körnerhirsen ab mittlerer Kornreife erreicht werden. Die Folge einer zu späten Ernte der Sorte RGT Ggaby war das Ausrieseln von Körnern, was sich negativ auf den Futterwert auswirkte. Der Gehalt an Zuckern ist bei Körnerhirsen im kritisch niedrigen Bereich, womit die Gefahr einer zu geringen Säurebildung und ungünstiger aerober Stabilität verbunden sein kann.

3.4.2 Gärung von verschiedenen Sorghum-Typen

Die natürliche Absäuerung einiger Sorghum-Sorten war mit ~21 % suboptimal, da der pH-Wert speziell der GPS in der frühen Kornreife über dem Orientierungswert lag (DLG 2012). Während TM-Gehalt und pH-Wert aller Silomais-Proben im optimalen Bereich lag, war dies nur bei 19 % der Sorghum-Proben der Fall (Tabelle 12).

Im Durchschnitt wurde bei den Sorghum-Sorten des Silotyps ein höherer Gesamt-VOC-Gehalt im Vergleich zu Biomasse- und Korntyp oder Mais beobachtet. Die Essigsäureproduktion war bei jeder Sorte nahezu optimal – der Gehalt lag zwischen 10 und 23 g/kg TM. In Sorghum-GPS traten keine Probleme mit *Clostridium tyrobutyricum* auf, da der durchschnittliche Gehalt an Buttersäure unter 1,0 g/kg TM lag. Eine Probe der Sorte Primsilo enthielt im Jahr 2018 18,2 g/kg TM Buttersäure und war damit ein Ausreißer. Deshalb stieg der Durchschnittsgehalt der Sorte auf 9,2 g/kg TM. Ettle et al. (2016) und Vendrami et al. (2018) fanden ähnliche Gärungseigenschaften in den Sorghum-Ganzpflanzensilagen. Generell war der Gehalt und insbesondere der Anteil an Ethanol an den gesamten VOC in Sorghum-Silagen hoch (durchschnittlich 32,8 %), wobei der Einfluss des Jahres stark war (22,7 % in 2018, 45,9 % in 2016). Der Anteil an Estern war in den Sorghum-Sorten deutlich geringer als bei Maissilage. Gärparameter wie pH, organische Säuren und NH₃ wurden am stärksten von den Witterungsbedingungen beeinflusst (P<0,01 für Faktor Jahr). Die Biomasse- und Silo-Sorghum-Typen zeigten eine deutliche Proteolyse, was anhand des hohen Ammoniakgehalts (über 8 % des Gesamtstickstoffs) zu erkennen ist. Die Zunahme der Kornreife führte zu einem Rückgang des Gehalts an einigen VOC und Ammoniak in Sorghum-Silagen (Tabelle 12).

Tabelle 12: TM-Gehalt und Gärparameter von Sorghum-GPS verschiedener Sorten bei unterschiedlichen Kornreifegraden im Vergleich zu Maissilage

	Parameter	Trockenmasse		pH		Milchsäure		Essigsäure		Propionsäure		Buttersäure		Σ Alkohole *		Σ Ester ** (Gesamtgehalt)		Ammoniak (NH ₃)	
		Statistik	\bar{x}	sd	\bar{x}	sd	\bar{x}	sd	\bar{x}	sd	\bar{x}	sd	\bar{x}	sd	\bar{x}	sd	\bar{x}	sd	\bar{x}
Sorte	Reife	g/kg FM				g/kg TM		g/kg TM		g/kg TM		g/kg TM		g/kg TM		mg/kg TM		% von N _{total}	
ES Aristos	früh	249	35	4,8	1,5	31	29	15	13	0,8	0,3	0,6	0,3	20	17	154	-	10	2,1
	mittel	281	24	4,2	0,3	24	17	21	8	0,7	0,1	0,5	0,3	34	15	80	-	9	4,7
	spät	290	31	4,1	0,1	24	10	20	5	0,6	0,1	0,2	0,1	40	14	141	-	10	3,9
ES Harmattan	früh	195	28	4,3	0,8	36	33	19	7	1,0	0,3	1,7	2,1	21	7	81	-	10	4,2
	mittel	225	24	3,9	0,1	45	13	20	4	0,9	0,1	0,2	0,2	18	9	84	-	11	4,3
	spät	229	15	4,1	0,1	41	19	21	5	0,9	0,2	0,1	0,1	28	19	86	-	9	2,9
RGT Vegga	früh	212	10	3,9	0,2	51	31	23	6	1,3	0,2	0,8	0,6	29	24	109	-	9	4,0
	mittel	227	25	3,8	0,1	52	16	23	5	0,9	0,2	0,3	0,4	24	13	100	-	9	3,7
	spät	245	18	4,0	0,1	35	8	21	7	0,8	0,3	0,2	0,1	47	28	188	-	7	2,3
NutriGrain	früh	227	2	4,1	0,3	46	37	17	0	0,9	0,5	0,4	0,1	23	13	-	-	9	1,5
	mittel	242	4	4,0	0,0	38	3	11	1	1,0	0,2	0,1	0,1	13	2	-	-	9	1,5
	spät	254	16	4,2	0,1	30	1	13	4	0,8	0,4	0,1	0,0	13	0	-	-	7	1,3
Primsilo	früh	298	5	4,5	0,4	19	23	10	8	1,2	0,6	9,2	12,8	15	5	54	-	7	5,3
	mittel	319	17	4,0	0,1	35	3	13	7	0,6	0,0	0,2	0,1	10	1	111	-	6	4,0
	spät	328	33	4,1	0,1	29	3	12	5	0,6	0,3	0,1	0,1	20	12	86	-	4	2,3
RGT Ggaby	früh	275	21	4,5	0,9	25	20	14	7	0,9	0,3	0,8	0,6	20	6	176	-	8	3,9
	mittel	333	63	4,3	0,5	23	15	12	7	0,7	0,1	0,1	0,2	13	5	164	-	8	4,6
	spät	305	29	4,3	0,2	25	9	12	7	0,7	0,1	0,1	0,0	12	2	34	-	6	1,4
Silomais Angelo	mittel	334	22	4,0	0,2	29	15	15	6	1,0	0,6	0,2	0,1	16	5	301	-	9	4,1

Statistik: \bar{x} = Mittelwert, sd = Standardabweichung; Sorghum Typ: Bm - Biomasse, Si - Silage, Ko - Korn

*Alkohole: Summe aus Methanol + Ethanol + Propanol + Butanol + 1-2 Propandiol; keine weiteren vorhanden

**Ester nur aus 2017: Summe aus Ethylacetat + Ethyllactat; keine weiteren vorhanden

Das Zwischenfazit für die Gäreigenschaften von Sorghum-GPS stimmt prinzipiell mit der Aussage von Daniel et al. (2018) überein, dass die Gärung von Sorghum vergleichbar mit Maissilage ist. Zudem zeigen unsere Ergebnisse, dass eine frühe Silierung in der Milchreife der Körner aufgrund der schlechteren Gärqualität für die Praxis nicht zu empfehlen ist.

3.4.3 Gärstoffverluste von Hirse-GPS

Aufgrund des niedrigen TM-Gehaltes bei früher und mittlerer Kornreife (unter 280 g/kg FM) bildete sich während der Gärung, vorwiegend bei Sorghum-Sorten des Silotyps, Gärstoff im Ausmaß von bis zu 12,4 % der einsilierten Frischmasse (Tabelle 13). Die Sorte Aristos enthielt im Inneren des Stängels ein schwammiges Mark, sodass der Gärstoff selbst bei niedrigen TM-Gehalten durch das Mark vollständig gebunden wurde. Mit zunehmender Reife war der Anfall von Gärstoff im Sorghum-Silotyp rückläufig.

Tabelle 13: TM-Gehalt, Gärssaftverluste und chemische Charakteristika des Gärssaftes von Sorghum-GPS verschiedener Sorten bei unterschiedlichen Kornreifegraden im Vergleich zu Maissilage

	Parameter	Sorghum-GPS (TM-Gehalt)		Gärssaft (FM-Verlust)		Gärssaft (TM-Gehalt)		Gärssaft (XA-Gehalt)		Gärssaft (N-Gehalt)		Gärssaft (NH ₃ -Gehalt)		Gärssaft (P-Gehalt)		Gärssaft (VOC-Gehalt)		Gärssaft (pH-Wert)		
		̄x	sd	̄x	sd	̄x	sd	̄x	sd	̄x	sd	̄x	sd	̄x	sd	̄x	sd	̄x	sd	
Sorte	Reife	g/kg FM		% von FM		g/kg FM		g/kg FM		g/kg FM		g/kg FM		g/kg FM		g/kg FM				
ES Aristos	früh	249	35	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	mittel	281	24	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	spät	290	31	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ES Harmattan	früh	195	28	4,4	4,7	60	13	14,6	0,5	1,9	0,3	0,12	0,02	0,6	0,1	31	2,3	3,8	0	
	mittel	225	24	0,5	0,8	73	9	16,0	3,6	1,8	0,1	0,08	0,08	0,7	0,3	36	2,0	3,9	0	
	spät	229	15	0,3	0,7	87	0	15,5	0	1,8	0	0,06	0	0,5	0	42	0	4,1	0	
RGT Vegga	früh	212	10	2,9	3,3	82	18	16,6	0,7	2,0	0,2	0,09	0,07	0,7	0,2	46	1,5	3,8	0,1	
	mittel	227	25	1,6	1,7	85	12	15,7	1,5	2,1	0,3	0,09	0,09	0,6	0,2	41	5,9	3,8	0,1	
	spät	245	18	0,6	1,0	93	0	16,8	0	1,9	0	0,11	0	0,5	0	49	0	4,0	0	
NutriGrain	früh	227	2	2,2	1,6	78	15	19,0	5,4	1,4	0,2	0,03	0,05	0,7	0,3	44	3,0	3,8	0	
	mittel	242	4	1,0	0,7	66	8	14,6	1,0	1,3	0,2	0,02	0,03	0,6	0,2	32	2,9	3,9	0	
	spät	254	16	0,5	0,7	62	0	13,8	0	1,2	0	0,05	0,0	0,5	0	22	0	4,0	0	
Primsilo	früh	298	5	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	mittel	319	17	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	spät	328	33	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
RGT Ggaby	früh	275	21	0,1	0,4	70	0	14,1	0	1,9	0	0,13	0	0,8	0	31	0	4,0	0	
	mittel	333	63	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	spät	305	29	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Silomais Angelo	mittel	334	22	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Statistik: ̄x = Mittelwert, sd = Standardabweichung; Sorghum Typ: Bm - Biomasse, Si - Silage, Ko - Korn
 VOC-Gehalt ist die Summe aller organischen Gärungsprodukte (Säuren, Alkohole, Ester)

Der TM-Gehalt der beprobten Gärssäfte lag zwischen 60 und 93 g/kg FM und war damit etwa vergleichbar mit einer Rindergülle (unverdünnt bis etwa 1 : 0,5 mit Wasser verdünnt). Die Gärssäfte enthielten verhältnismäßig hohe Gehalte an Mineralstoffen in Form von Rohasche (13,8 bis 19,0 g/kg FM bzw. 155 bis 295 g/kg TM). Den Ergebnissen zufolge gehen durch den Gärssaft insbesondere Phosphor (P) und Kalium (K) verloren. Je kg Gärssaft-FM waren 0,5 bis 0,8 g P bzw. rund 4,6 bis 8,2 g K enthalten. Der Gehalt des gesamten Stickstoffs (N) im Gärssaft betrug zwischen 1,2 bis 2,1 g/kg FM. Das entspricht etwa der Hälfte des N-Gehaltes von Rindergülle. Der Ammoniakanteil im Gärssaft betrug im Durchschnitt weniger als 5 % des gesamten Stickstoffs. Mit dem Gärssaft gingen hohe Anteile an energiereichen Gärprodukten wie Milch- und Essigsäure sowie Alkohole verloren. Die Gehalte an diesen flüchtigen organischen Komponenten (VOC) lag zwischen 22 und 49 g/kg FM. Aufgrund des hohen Säureanteils in den Gärssäften war der pH-Wert entsprechend tief (3,8 bis 4,0). In den Auswertungen wurden mit Ausnahme der Gärssaft-FM keine Massenverluste angeführt. Bei Bedarf können aus den Daten der Tabelle 13 TM-Verluste, N-Verluste u.a. für unterschiedliche Silogrößenordnungen berechnet werden.

Das Fazit zu den Gärstoffverlusten fällt zu Ungunsten der Sorten des Silo-Sorghum-Typs aus. Bei allen getesteten Sorten dieses Typs entstand Gärstoff und damit entsprechende Massen- und Qualitätsverluste. Aus Sicht der Gärstoffverluste kann daher für die Praxis der „Kornotyp“ und der „Biomassetyp“ empfohlen werden, wobei jedoch der Biomassetyp hinsichtlich des Futterwerts Nachteile hat.

3.5 Ruminale Abbaubarkeit

3.5.1 Trockenmasse

Tabelle 14 zeigt, dass die Sorten mit hohem Rispenanteil einen höheren Anteil der potentiell abbaubaren Fraktion b aufwiesen als die Sorten mit niedrigem Rispenanteil.

Tabelle 14: Parameter des ruminalen Trockenmasse-Abbaus von Hirse-Ganzpflanzensilage

	a	b	c	lag	PD	ED2	ED5	ED8
	----- % -----		h ⁻¹	h	----- % -----			
Sorte								
ES Aristos	22,1	34,8 ^a	0,027 ^a	2,30 ^{ab}	56,9 ^a	41,0 ^a	32,8 ^a	29,3 ^a
ES Harmattan	26,2	38,7 ^{ab}	0,038 ^{bc}	3,04 ^b	65,0 ^{ab}	50,0 ^b	40,5 ^b	36,1 ^{abc}
RGT Vegga	27,6	36,3 ^a	0,035 ^{ab}	1,27 ^{ab}	64,0 ^b	49,8 ^b	41,3 ^b	37,3 ^{bc}
NutriGrain	23,2	47,4 ^c	0,048 ^c	0,56 ^{ab}	70,6 ^d	56,0 ^{bc}	45,4 ^{bc}	39,8 ^{bc}
Primsilo	18,7	49,8 ^c	0,035 ^{abc}	2,24 ^{ab}	68,5 ^{cd}	49,4 ^b	37,5 ^{ab}	31,8 ^{ab}
RGT Ggaby	28,1	44,5 ^{bc}	0,042 ^{bc}	-0,25 ^a	72,6 ^d	57,8 ^c	47,8 ^c	42,8 ^c
Erntezeitpunkt								
Früh	22,6	44,0	0,034 ^a	1,00	66,6	49,6	39,3	34,5
Mittel	24,2	41,5	0,040 ^b	2,15	65,6	50,8	41,0	36,1
Spät	26,2	40,3	0,037 ^{ab}	1,43	66,5	51,6	42,4	37,9
Jahr								
2016	25,6	41,0	0,037	1,98	66,6	51,1	41,4	36,8
2017	23,1	42,9	0,038	1,07	66,0	50,3	40,4	35,5
Statistik								
p Sorte	0,041	<0,001	<0,001	0,032	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
p Erntezeitp.	0,211	0,060	0,048	0,303	0,434	0,285	0,167	0,155
p Jahr	0,189	0,191	0,438	0,187	0,429	0,482	0,455	0,418
rSD	4,4	3,4	0,005	1,62	1,9	2,8	3,5	3,8
R ²	32,4	71,9	60,6	27,0	89,4	80,2	68,3	60,1
Silomais	24,5	54,3	0,042	1,25	78,8	60,4	47,8	41,4

a = lösliche und rasch abbaubare Fraktion; b = potentiell abbaubare Fraktion; c = Abbauraten von b; lag = Verzögerungszeit des Abbaus im Pansen; PD = potentielle Pansenabbaubarkeit; ED2, ED5 und ED8 = effektive Pansenabbaubarkeit bei Passageraten von 2, 5 und 8 %/h; rSD = Residual-Standardabweichung; R² = Bestimmtheitsmaß.

Die potentielle und effektive ruminale Abbaubarkeit der Körnerhirse-Sorte RGT Ggaby unterschied sich daher signifikant von den Silo- und Biomassehirse-Sorten. Einzig die Sorte NutriGrain hatte eine ähnlich hohe ruminale TM-Abbaubarkeit wie die Sorte RGT Ggaby. Der Erntezeitpunkt und das Jahr hatten keinen Einfluss auf die potentielle und effektive TM-Abbaubarkeit der Hirsesilage. Einzig die Abbaurrate war zum mittleren Erntezeitpunkt signifikant höher als zum ersten Erntezeitpunkt. Im Vergleich zu Silomais hatte die Körnerhirse-Sorte RGT Ggaby trotz einer niedrigeren potentiellen Abbaubarkeit eine vergleichbare effektive TM-Abbaubarkeit. Das ist vermutlich darauf zurückzuführen, dass die Körnerhirse-Sorte einen höheren Anteil an der löslichen und sofort abbaubaren Fraktion aufwies als Silomais.

3.5.2 Rohprotein

Hinsichtlich der potentiellen ruminale Abbaubarkeit und der effektiven Abbaubarkeit des Rohproteins bei niedriger Passagerate (2 %/h) wurden signifikante Unterschiede zwischen den Hirse-Sorten festgestellt, wobei nicht eindeutig zwischen den Nutzungstypen differenziert werden kann (Tabelle 15). Sowohl die potentielle als auch die effektive XP-Abbaubarkeit (bei einer Passagerate von 2 %/h) nahmen zwischen frühem und mittlerem Erntezeitpunkt signifikant ab. Im weiteren Reifeverlauf änderte sich die XP-Abbaubarkeit nicht mehr. Im Jahr 2016 wurde zudem eine signifikant höhere potentielle und effektive XP-Abbaubarkeit festgestellt als im Jahr 2017. Im Vergleich zu Silomais war sowohl die potentielle als auch die effektive XP-Abbaubarkeit niedriger.

Tabelle 15: Parameter des ruminalen Rohprotein-Abbaus von Hirse-Ganzpflanzensilage

	a	b	c	lag	PD	ED2	ED5	ED8
	----- % -----		h ⁻¹	h	----- % -----			
Sorte								
ES Aristos	48,0	37,0	0,241 ^b	2,31	85,0 ^{bc}	80,5 ^b	75,1	70,8
ES Harmattan	45,5	37,1	0,174 ^{ab}	1,86	82,6 ^a	77,5 ^{ab}	71,7	67,4
RGT Vegga	54,3	28,9	0,203 ^{ab}	2,27	83,2 ^{ab}	79,4 ^{ab}	75,1	71,7
NutriGrain	35,7	48,1	0,136 ^a	1,14	83,8 ^{abc}	76,7 ^{ab}	69,1	63,6
Primsilo	42,5	39,8	0,115 ^a	1,74	82,3 ^a	75,2 ^a	68,0	63,1
RGT Ggaby	40,4	45,4	0,160 ^a	1,32	85,8 ^c	79,8 ^{ab}	73,1	68,2
Erntezeitpunkt								
Früh	49,8	35,6	0,140 ^a	1,93	85,4 ^b	80,0 ^b	74,1	69,9
Mittel	41,7	41,4	0,189 ^b	1,54	83,1 ^a	77,5 ^a	71,3	66,7
Spät	41,8	41,1	0,185 ^{ab}	1,85	82,9 ^a	77,1 ^a	70,6	65,8
Jahr								
2016	47,1	37,4	0,169	1,36	84,5 ^b	79,4 ^b	73,8 ^b	69,7 ^b
2017	41,7	41,3	0,173	2,19	83,1 ^a	77,0 ^a	70,2 ^a	65,2 ^a
Statistik								
p Sorte	0,120	0,051	0,002	0,400	<0,001	0,011	0,046	0,088
p Erntezeitpunkt	0,127	0,302	0,024	0,669	<0,001	0,012	0,098	0,160
p Jahr	0,193	0,308	0,817	0,055	0,005	0,009	0,023	0,035
rSD	9,8	5,9	0,041	1,01	1,1	2,1	3,6	4,9
R ²	21,2	22,4	49,1	14,6	72,9	55,5	40,1	32,3
Silomais	49,5	38,8	0,095	-3,87	88,2	83,9	80,0	77,7

a = lösliche und rasch abbaubare Fraktion; b = potentiell abbaubare Fraktion; c = Abbaurrate von b; lag = Verzögerungszeit des Abbaus im Pansen; PD = potentielle Pansenabbaubarkeit; ED2, ED5 und ED8 = effektive Pansenabbaubarkeit bei Passageraten von 2, 5 und 8 %/h; rSD = Residual-Standardabweichung; R² = Bestimmtheitsmaß.

3.5.3 Neutral-Detergentien-Faser

Die Biomassehirse-Sorte Aristos wies einen signifikant niedrigeren Anteil der potentiell abbaubaren Fraktion b und eine niedrigere potentielle NDF-Abbaubarkeit auf als die meisten anderen Sorten (Tabelle 16). Einzig die Sorte Primsilo war in diesen Parametern mit ES Aristos vergleichbar. Bei den beiden oben genannten Sorten wurde auch die niedrigste effektive NDF-Abbaubarkeit festgestellt. Allgemein wurde der Unterschied in der NDF-Abbaubarkeit zwischen den Hirse-Sorten geringer, je höher die Passagerate angesetzt wurde. Zwischen frühem und mittlerem Erntezeitpunkt nahm der Anteil der Fraktion b und die potentielle NDF-Abbaubarkeit signifikant ab, auf die effektive Abbaubarkeit wirkte sich das jedoch nicht aus. Das Erntejahr hatte keinen Einfluss auf die NDF-Abbaubarkeit. Ähnlich wie bei der TM-Abbaubarkeit war die potentielle NDF-Abbaubarkeit der Hirsensilage niedriger als bei Silomais, während die effektive ruminale Abbaubarkeit zwischen den beiden Silagearten vergleichbar war.

Tabelle 16: Parameter des ruminalen Neutral-Detergentien-Faser-Abbaus von Hirse-Ganzpflanzensilage

	a	b	c	lag	PD	ED2	ED5	ED8
	----- % -----		h ⁻¹	h	----- % -----			
Sorte								
ES Aristos	1,80	51,7 ^a	0,023 ^a	4,62	53,5 ^a	27,3 ^a	15,0 ^a	10,1
ES Harmattan	2,86	60,7 ^b	0,032 ^{ab}	2,51	63,5 ^b	37,6 ^b	23,1 ^b	16,6
RGT Vegga	0,67	60,6 ^b	0,028 ^{ab}	3,51	61,3 ^b	33,1 ^{ab}	18,7 ^{ab}	12,6
NutriGrain	1,68	60,9 ^b	0,039 ^b	3,88	62,6 ^b	38,2 ^b	22,9 ^{ab}	15,7
Primsilo	2,10	57,5 ^{ab}	0,028 ^{ab}	6,90	59,6 ^{ab}	31,1 ^{ab}	16,6 ^{ab}	10,6
RGT Ggaby	3,16	62,5 ^b	0,028 ^{ab}	2,88	65,7 ^b	36,6 ^b	21,7 ^{ab}	15,3
Erntezeitpunkt								
Früh	1,79	62,4 ^b	0,029 ^{ab}	3,80	64,2 ^b	34,9	19,9	13,5
Mittel	1,31	57,1 ^a	0,034 ^b	4,46	58,4 ^a	33,4	19,3	12,9
Spät	3,04	57,5 ^a	0,027 ^a	3,88	60,6 ^{ab}	33,6	19,8	14,0
Jahr								
2016	2,61	59,6	0,028	4,44	62,2	33,9	19,5	13,4
2017	1,48	58,4	0,032	3,66	59,9	34,0	19,8	13,6
Statistik								
p Sorte	0,799	<0,001	0,033	0,181	<0,001	<0,001	0,014	0,073
p Erntezeitpunkt	0,469	0,001	0,034	0,788	0,005	0,598	0,919	0,842
p Jahr	0,392	0,336	0,089	0,417	0,122	0,961	0,828	0,903
rSD	3,19	2,92	0,006	2,32	3,51	3,51	3,87	3,93
R ²	18,3	69,7	35,6	3,3	64,5	51,9	27,8	13,7
Silomais								
Silomais	1,2	67,7	0,030	5,60	69,0	37,6	20,6	13,3

a = lösliche und rasch abbaubare Fraktion; b = potentiell abbaubare Fraktion; c = Abbaurrate von b; lag = Verzögerungszeit des Abbaus im Pansen; PD = potentielle Pansenabbaubarkeit; ED2, ED5 und ED8 = effektive Pansenabbaubarkeit bei Passageraten von 2, 5 und 8 %/h; rSD = Residual-Standardabweichung; R² = Bestimmtheitsmaß.

3.5.4 Nicht-Faser-Kohlenhydrate

In Tabelle 17 sind die Parameter des ruminalen NFC-Abbaus angeführt. Die Sorten mit hohem Rispenanteil wiesen einen niedrigeren Anteil der löslichen und rasch abbaubaren Fraktion a und einen höheren Anteil der potentiell abbaubaren Fraktion b auf. Darüber hinaus war auch die potentielle NFC-Abbaubarkeit bei den kornteiligen Sorten höher. Die effektive NFC-Abbaubarkeit unterschied sich ebenfalls signifikant zwischen den Sorten, wobei jedoch kein eindeutiger Zusammenhang mit dem Nutzungstyp festgestellt wurde. Die potentielle NFC-Abbaubarkeit und die effektive Abbaubarkeit bei einer Passagerate von 2 %/h nahmen zwischen frühem und mittlerem Erntezeitpunkt signifikant zu. Im weiteren Reifeverlauf änderten sich diese Parameter nicht mehr. Die beiden Erntejahre unterschieden sich hinsichtlich der Anteile der Fraktionen a und b, jedoch nicht hinsichtlich der potentiellen und effektiven NFC-Abbaubarkeit. Die potentielle Abbaubarkeit der Hirsesilage war im Vergleich

zum Silomais niedriger, während die effektive Abbaubarkeit (bei 5 und 8 %/h Passagerate) höher war. Das spricht dafür, dass die NFC (und damit auch die Stärke) von Hirsesilage weniger pansenstabil sind als jene von Silomais.

Tabelle 17: Parameter des ruminalen Nicht-Faser-Kohlenhydrate-Abbaus von Hirse-Ganzpflanzensilage

	a	b	c	lag	PD	ED2	ED5	ED8
	----- % -----		h ⁻¹	h	----- % -----			
Sorte								
ES Aristos	73,3 ^b	6,7 ^a	0,279 ^b	-0,23	80,0 ^a	79,5 ^a	78,9 ^{ab}	78,4 ^b
ES Harmattan	70,9 ^b	11,8 ^a	0,180 ^{ab}	0,48	82,7 ^a	81,3 ^{abc}	79,6 ^b	78,4 ^b
RGT Vegga	70,1 ^b	13,0 ^a	0,184 ^{ab}	0,40	83,1 ^a	81,7 ^{abc}	80,0 ^b	78,8 ^b
NutriGrain	62,1 ^{ab}	27,1 ^b	0,146 ^{ab}	0,29	89,2 ^b	85,0 ^{bc}	80,8 ^b	77,9 ^{ab}
Primsilo	52,9 ^a	35,2 ^b	0,058 ^a	-0,18	88,1 ^b	79,3 ^{ab}	72,0 ^a	67,8 ^a
RGT Ggaby	59,1 ^a	31,5 ^b	0,104 ^a	0,59	90,6 ^b	84,7 ^c	79,1 ^b	75,4 ^{ab}
Erntezeitpunkt								
Früh	63,4	19,5	0,214 ^b	0,10	83,0 ^a	80,0 ^a	77,0	75,1
Mittel	67,0	19,5	0,134 ^a	0,61	86,4 ^b	82,5 ^b	79,0	76,8
Spät	63,8	23,6	0,126 ^a	-0,05	87,5 ^b	83,3 ^b	79,2	76,6
Jahr								
2016	67,2 ^b	18,2 ^a	0,154	-0,03	85,5	82,3	79,3	77,4
2017	62,3 ^a	23,5 ^b	0,163	0,48	85,8	81,5	77,5	74,9
Statistik								
p Sorte	<0,001	<0,001	0,002	0,656	<0,001	0,004	0,030	0,006
p Erntezeitpunkt	0,347	0,209	0,017	0,295	<0,001	0,009	0,224	0,505
p Jahr	0,049	0,036	0,744	0,208	0,695	0,381	0,148	0,102
rSD	5,8	5,8	0,069	0,96	2,0	2,3	3,0	3,5
R ²	61,1	78,4	51,6	25,8	81,9	53,8	42,5	49,1
Silomais								
	60,2	32,2	0,065	2,00	92,4	83,7	76,5	72,4

a = lösliche und rasch abbaubare Fraktion; b = potentiell abbaubare Fraktion; c = Abbaurate von b; lag = Verzögerungszeit des Abbaus im Pansen; PD = potentielle Pansenabbaubarkeit; ED2, ED5 und ED8 = effektive Pansenabbaubarkeit bei Passageraten von 2, 5 und 8 %/h; rSD = Residual-Standardabweichung; R² = Bestimmtheitsmaß.

3.6 Gesamtverdaulichkeit

Die Sorte ES Aristos wies bei allen untersuchten Verdaulichkeitsparametern den niedrigsten Wert auf, was auf den niedrigen XS- und den hohen ADL-Gehalt dieser Sorte zurückzuführen ist. (Tabelle 18). Die höchste TM-, OM- und Faserverdaulichkeit wurde bei der Sorte RGT Ggaby festgestellt, welche durch den höchsten XS- und den niedrigsten ADL-Gehalt gekennzeichnet war. Die Silohirse-Sorten lagen hinsichtlich der Gesamtverdaulichkeit der Nährstoffe zwischen Biomassehirse- und Körnerhirse, wobei jedoch (mit Ausnahme der NFC-

Verdaulichkeit) kein signifikanter Unterschied zwischen den Silohirse-Sorten festgestellt wurde. Die Sorte NutriGrain wies die höchste NFC-Verdaulichkeit auf, welche sich signifikant von jener der Sorten ES Aristos, ES Harmattan und RGT Vegga unterschied.

Tabelle 18: Gesamtverdaulichkeit und *in vivo*-Energiegehalt von Hirse-Ganzpflanzensilage

	Gesamtverdaulichkeit						Energiegehalt	
	TM	OM	XF	NDF	ADF	NFC	ME	NEL
	----- % -----						--- MJ/kg TM ---	
Sorte								
ES Aristos	53,7 ^a	53,6 ^a	41,6 ^a	45,0 ^a	41,9 ^a	80,9 ^a	7,43 ^a	4,18 ^a
ES Harmattan	60,5 ^b	61,6 ^b	55,8 ^b	51,4 ^{bc}	51,1 ^b	86,5 ^b	8,54 ^b	4,93 ^b
RGT Vegga	60,6 ^b	61,7 ^b	58,4 ^b	48,6 ^{abc}	49,4 ^b	87,1 ^b	8,59 ^b	4,97 ^b
NutriGrain	62,9 ^{bc}	64,5 ^{bc}	57,3 ^b	51,6 ^{bc}	45,6 ^{ab}	92,3 ^c	9,00 ^{bc}	5,26 ^{bc}
Primsilo	60,7 ^{bc}	61,4 ^b	57,6 ^b	44,0 ^{ab}	43,9 ^{ab}	89,4 ^{bc}	8,73 ^{bc}	5,06 ^{bc}
RGT Ggaby	65,4 ^c	66,8 ^c	63,2 ^b	53,1 ^c	52,4 ^b	88,2 ^{bc}	9,49 ^c	5,59 ^c
Erntezeitpunkt								
Früh	60,0	61,1	53,9	51,0 ^b	49,9 ^b	85,6 ^a	8,48	4,90
Mittel	61,6	62,7	56,3	48,9 ^{ab}	46,9 ^{ab}	88,9 ^b	8,79	5,11
Spät	60,2	61,1	56,8	46,9 ^a	45,3 ^a	87,8 ^{ab}	8,61	4,99
Jahr								
2016	60,4 ^a	61,3 ^{ab}	52,2 ^a	47,7 ^a	45,9	87,8	8,58 ^{ab}	4,97 ^{ab}
2017	58,8 ^a	59,9 ^a	55,7 ^{ab}	47,6 ^a	46,6	85,9	8,39 ^a	4,84 ^a
2018	62,6 ^b	63,6 ^b	59,0 ^b	51,5 ^b	49,6	88,5	8,91 ^b	5,20 ^b
Statistik								
p Sorte	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
p Erntezeitpunkt	0,198	0,150	0,406	0,012	0,021	0,007	0,083	0,085
p Jahr	0,002	0,002	0,020	0,009	0,057	0,066	0,004	0,004
rSD	2,5	2,5	6,2	3,6	4,3	2,7	0,37	0,26
R ²	73,2	78,2	59,0	55,1	49,8	65,5	78,4	78,4
Silomais								
	73,0	74,0	71,6	59,7	57,3	93,2	10,69	6,45

TM = Trockenmasse; OM = Organische Masse; XP = Rohprotein; XF = Rohfaser; NDF = Neutral-Detergentien-Faser; ADF = Säure-Detergentien-Faser; NFC = Nicht-Faser-Kohlenhydrate; ME = Umsetzbare Energie; NEL = Nettoenergie Laktation; rSD = Residual-Standardabweichung; R² = Bestimmtheitsmaß

Hinsichtlich des im Hammelversuch ermittelten ME- und NEL-Gehalts wurden deutliche Unterschiede zwischen Biomasse-, Silo- und Körnerhirse-Sorten festgestellt. Der ME-Gehalt der Biomassehirse-Sorte lag um rund 1,0 bis 1,5 MJ unter jenem der Silohirse-Sorten, während die wiederum einen um rund 0,5 bis 1,0 MJ niedrigeren ME-Gehalt als die Körnerhirse-Sorte aufwiesen. Innerhalb der Silohirse-Sorten hatte die Sorte NutriGrain den höchsten Energiegehalt, was auf deren hohe OM-Verdaulichkeit zurückzuführen ist. Im Vergleich zu Silomais waren sowohl die Gesamtverdaulichkeit als auch der *in vivo*-Energiegehalt der Hirsensilage deutlich niedriger.

Der Erntezeitpunkt hatte keinen Einfluss auf die Gesamtverdaulichkeit der TM und OM. Allerdings ging die NDF- und ADF-Verdaulichkeit zwischen frühem und spätem Erntezeitpunkt signifikant zurück. Im Gegenzug nahm die NFC-Verdaulichkeit zwischen frühem und mittlerem Erntezeitpunkt deutlich zu, was vermutlich auf den Anstieg des Stärkegehalts in dieser Reifephase zurückzuführen ist. Der steigende Stärkegehalt dürfte zudem auch den Rückgang in der NDF-Verdaulichkeit ausgeglichen haben, da sich der ME- und NEL-Gehalt mit fortschreitender Reife nicht signifikant änderte. Beim Vergleich der Jahre fällt vor allem die signifikant höhere TM-, OM- und NDF-Verdaulichkeit sowie der höhere ME- und NEL-Gehalt im Jahr 2018 im Vergleich zu 2017 auf.

4 Diskussion

Im aktuellen Versuch bestanden zwischen den Hirse-Sorten deutliche Unterschiede im Ertrag. Während die Biomassehirse einen höheren TM-Ertrag als Silomais aufwies, lagen die TM-Erträge aller anderen Sorten deutlich darunter. Laut Bolsen und White (2007) kann beim Anbau von Körnerhirse-Sorten mit einem TM-Ertrag von rund 10 bis 15 t/ha gerechnet werden, was durch die Ergebnisse von Ettle et al. (2016) bestätigt wurde. Im aktuellen Versuch (16,7 t/ha) und im Versuch von Di Marco et al. (2009) (15,8 t/ha) lag der Ertrag der Körnerhirse-Sorte über dem von Bolsen und White (2007) angegebenen Bereich. Der Ertrag wird jedoch wesentlich von den jährlichen Witterungsbedingungen (z.B. Temperatursumme, Niederschlagsmenge) beeinflusst (Farré und Faci 2006). Die günstigen Witterungsbedingungen in den drei Versuchsjahren könnten ein Grund für die vergleichsweise hohen TM-Erträge im vorliegenden Projekt sein.

Der ME-Ertrag der Hirsesilagen lag im aktuellen Versuch deutlich unter jenem von Silomais. Sowohl der TM- als auch der ME-Ertrag stiegen zwischen erstem und zweitem Erntezeitpunkt signifikant an. Das steht im Widerspruch zu den Ergebnissen von Black et al. (1980). In ihrer Studie wurde der höchste Energieertrag im Stadium „Ende Milchreife bis Beginn Teigreife“ erreicht, was dem ersten Zeitpunkt in der vorliegenden Untersuchung entspricht. Obwohl in späteren Reifestadien der Rispenanteil noch deutlich zunahm und der Restpflanzenanteil sank, ging der Energieertrag deutlich zurück (Black et al. 1980).

Eine Anhebung der Erntehöhe von 12 cm auf 65 cm führte im Versuch von Hart (1990) zu einem deutlichen Ertragsrückgang, was durch die aktuellen Ergebnisse bestätigt wird. Die Anhebung der Erntehöhe von 10 cm auf 60 cm führte im vorliegenden Projekt jedoch zu einer Abnahme des Faser- und einer Zunahme des NFC- und Stärkegehalts. Dadurch stieg auch der ME-Gehalt bei den Silo- und Körnerhirsesorten um rund 0,3 bis 0,5 MJ/kg TM an. Die Anhebung der Erntehöhe hat jedoch nicht nur positive Effekte auf den Futterwert. Mit der Anhebung der Erntehöhe auf 65 cm ging bei Hart (1990) die NDF- und ADF-Verdaulichkeit zurück, da der Pflanzenteil unterhalb der Rispe die geringste Verdaulichkeit aufweist. Bei 65 cm Erntehöhe wurde zudem ein geringerer Milchsäuregehalt der Hirsesilage festgestellt, der pH-Wert wurde jedoch nicht beeinflusst.

Im Vergleich zur frischen Hirsepflanze war der XL- und NFC-Gehalt der Hirse-Ganzpflanzensilage höher und der NDF-Gehalt niedriger. Peyrat et al. (2014) stellten bei

Silomais ebenfalls eine Abnahme des NDF-Gehalts im Zuge der Silierung fest. Eine detailliertere Analyse zeigte, dass der Anteil der Hemizellulose an der NDF abnahm. Das deutet darauf hin, dass im Zuge der Silierung ein Teil der Hemizellulose abgebaut wurde.

Aufgrund eines geringeren Gehalts an löslichen Kohlenhydraten war im Versuch von Johnson et al. (1971) die Produktion von Milchsäure bei Hirsesilagen deutlich geringer als bei Maissilagen. In der aktuellen Studie waren die Milchsäuregehalte von Hirsesilage mit Maissilage vergleichbar bzw. zum Teil sogar höher. Allerdings war die pH-Wert-Absenkung bei einigen Sorten geringer als bei Maissilage, was auf eine geringere Absäuerung hinweist. Ettle et al. (2016) und Khosravi et al. (2018) schrieben dagegen Hirse jedoch eine gute Siliereignung zu, da in ihren Versuchen eine ausreichende pH-Absenkung erreicht wurde.

Ein weiterer Nachteil, insbesondere von Silohirsesilagen, ist auch der geringe TM-Gehalt, welcher sowohl im eigenen Versuch als auch in früheren Untersuchungen (Colombini et al. 2010, Fasching 2014, Ettle et al. 2016) beobachtet wurde. Ein geringer TM-Gehalt kann zu hohen Sickersaftverlusten sowie hohen Essigsäure- und Ethanolgehalten führen (Bolsen und White 2007, Ettle et al. 2016). Durch die Verwendung von Silierzusätzen wurde in der Studie von Bolsen und White (2007) eine Reduktion des Essigsäure- und eine Erhöhung des Milchsäuregehalts erreicht. Hart (1990) stellte zudem mit fortschreitender Reife einen Rückgang des Essigsäure-Gehalts fest, was durch die eigenen Ergebnisse nicht bestätigt wird.

Im aktuellen Projekt und in früheren Versuchen war der NDF-Gehalt von Hirsesilage im Vergleich zu Maissilage höher (Marsalis et al. 2010, Fasching 2014, Pino und Heinrichs 2017, Khosravi et al. 2018, Sánchez-Duarte et al. 2019, Yang et al. 2019) und der Stärkegehalt niedriger. Dies führte zu einer verringerten TM-Verdaulichkeit bzw. -Abbaubarkeit (Colombini et al. 2010, Fasching 2014, Sarubbi et al. 2014, Pino und Heinrichs 2017, Khosravi et al. 2018, Yang et al. 2019). Weiters wurde in Hirsesilage ein höherer XP-Gehalt festgestellt als in Maissilage, was auch von Khosravi et al. (2018) bestätigt wird. Dagegen unterschied sich der XP-Gehalt in der Studie von Yang et al. (2019) nicht zwischen Hirse- und Maissilage.

Hinsichtlich der effektiven NDF-Abbaubarkeit lagen drei Sorten unter und drei Sorten über dem Wert von Silomais, was auf eine große Heterogenität der aktuell untersuchten Hirse-Sorten (in Bezug auf diesen Futterwert-Parameter) hindeutet. Die NDF-Gesamtverdaulichkeit lag dagegen bei allen Hirse-Sorten unter dem Niveau von Silomais. Fox et al. (1970) kamen zum Schluss, dass die geringere Verdaulichkeit von Hirsesilage im Vergleich zu Maissilage vor allem durch eine geringere Verdaulichkeit der Restpflanze und von unaufgeschlagenen Hirsekörnern bedingt ist. Um das Problem von unaufgeschlagenen Hirsekörnern zu vermeiden,

empfehlen daher Daniel et al. (2018) den Einsatz von Kornaufbereitern bei der Ernte von Hirse-Silagen. Die oben genannten Ergebnisse stehen im Widerspruch zu den Versuchen von Marsalis et al. (2010) und Sánchez-Duarte et al. (2019), in welchen die NDF-Verdaulichkeit von Hirsesilage höher war als jene von Maissilage. Jedoch war die Hirsesilage der Maissilage hinsichtlich des Energiegehalts unterlegen (Marsalis et al. 2010), was auch mit Ergebnissen von Fasching (2014) übereinstimmt.

Fasching (2014), Cattani et al. (2015) und Ehteshami et al. (2018) stellten jedoch fest, dass der Futterwert zwischen einzelnen Hirsesorten stark variiert. Die Unterschiede im Futterwert der Hirsesorten scheinen zudem deutlich größer zu sein als zwischen verschiedenen Maissorten (Fasching 2014). Die vorliegenden Untersuchungen zeigen, dass der NDF- und Stärkegehalt von Hirsesilage stark von Nutzungstyp abhängt. Körnerhirsen und kornreiche Silohirsen hatten einen höheren Gehalt an leicht verdaulichen Nährstoffen als kornarme Silohirsen und Biomassehirsen. Etle et al. (2016) verglichen in ihrer Studie „Körnertypen“ und „Futtertypen“ und stellten dabei ebenfalls bei Körnertypen einen höheren XP- und Stärkegehalt sowie einen niedrigeren Gehalt an Faserbestandteilen fest, was auch eine höhere OM-Verdaulichkeit zur Folge hatte. Den Energiegehalt von Körnerhirsesilagen verglichen Etle et al. (2016) mit jenem von „guten Grassilagen“, der Energiegehalt von „guten Maissilagen“ wurde in ihrem Versuch jedoch nicht erreicht.

Weiters kann bei Hirse-Sorten zwischen brown midrib (bmr)-Sorten und „normalen“ (konventionellen) Sorten unterschieden werden. In früheren Versuchen wurde zwischen Maissilage und Hirsesilage einer brown midrib (bmr)-Sorte kein Unterschied in der TM-Verdaulichkeit festgestellt, während jene von normaler Hirsesilage deutlich niedriger war (Lusk et al. 1984, Grant et al. 1995, Oliver et al. 2004, Sánchez-Duarte et al. 2019). Colombini et al. (2010) stellten dagegen auch bei bmr-Hirsesilagen eine signifikant niedrigere effektive TM-Abbaubarkeit fest als bei Maissilage, während die effektive NDF-Abbaubarkeit vergleichbar war.

Der wesentlichste Unterschied zwischen bmr- und normalen Hirsesorten lag in den Studien von Aydin et al. (1999), Oliver et al. (2004), Marsalis et al. (2010) und Sánchez-Duarte et al. (2019) im niedrigeren ADL-Gehalt sowie in der höheren Faser-Abbaubarkeit und -Verdaulichkeit von bmr-Hirse. Oliver et al. (2004) und Sánchez-Duarte et al. (2019) stellten bei normalen Hirse-Sorten zudem einen höheren NDF- und ADF-Gehalt fest als bei bmr-Sorten, während in den Versuchen von Aydin et al. (1999) und Marsalis et al. (2010) keine Unterschiede auftraten. Im Versuch von Di Marco et al. (2009) unterschied sich dagegen weder der NDF- und ADF-Gehalt noch der ADL-Gehalt zwischen bmr-Hirse- und Körnerhirse-Sorten. Der Nachteil

von bmr-Hirse-Sorten liegt jedoch im deutlich geringeren TM-Ertrag im Vergleich zu normalen Hirse-Sorten (Oliver et al. 2004, Marsalis et al. 2010, Sánchez-Duarte et al. 2019).

Neben dem Futterwert und den Gäreigenschaften sind in der Rinderhaltung natürlich auch Produktionskennzahlen (Futtermittelaufnahme, Milch- bzw. Zuwachslleistung, Futtermittelverwertung) von großem Interesse. Vorangegangene Studien zeigen, dass auch hierbei große Unterschiede zwischen Hirse-Sorten bestehen. Bei Verfütterung von bmr-Hirsesilage wurde im Versuch von Lusk et al. (1984) eine höhere TM-Aufnahme festgestellt als bei Maissilage-Fütterung, während sich die Milchleistung zwischen den beiden Fütterungsvarianten nicht unterschied. In den Studien von Grant et al. (1995), Oliver et al. (2004), Colombini et al. (2010) lagen sowohl Futtermittelaufnahme als auch Milchleistung bei Verfütterung von Maissilage bzw. bmr-Hirsesilage auf einem ähnlichen Niveau. Bei Verfütterung einer normalen Hirsesilage wurde jedoch eine deutlich niedrigere TM-Aufnahme (Grant et al. 1995) und Milchleistung (Grant et al. 1995, Oliver et al. 2004) als bei Verfütterung von bmr-Hirse- und Maissilage festgestellt.

Bei Verfütterung von normaler Hirsesilage ist zu dem mit einer niedrigeren Futtermittelverwertung zu rechnen als bei Maissilage-Fütterung (Grant et al. 1995, Aydin et al. 1999, Oliver et al. 2004). Zur Futtermittelverwertung bei bmr-Hirsesilage-Fütterung gibt es bislang sehr unterschiedliche Ergebnisse. Je nach Studie war die Futtermittelverwertung von bmr-Hirsesilage höher (Aydin et al. 1999), ähnlich hoch (Oliver et al. 2004) oder niedriger (Grant et al. 1995) als jene von Maissilage.

Colombini et al. (2010), Fasching (2014) und Lyons et al. (2019) gaben jedoch an, dass bei Hirsesilage-Rationen (unabhängig vom Sortentyp) eine höhere Ergänzung mit energiereichen Kraftfuttermitteln erforderlich ist, um ähnliche Milchleistungen zu erzielen. Yang et al. (2019) fütterten in ihrem Versuch gleiche Anteile an bmr-Hirse- bzw. Maissilage (mit gleicher Kraftfuttermittelzusammensetzung bei beiden Silagen) und stellten bei Hirsesilage-Fütterung eine signifikant niedrigere TM-Aufnahme und Milchleistung fest. Fasching (2014) ging davon aus, dass in der Milchviehfütterung bei einer Einsatzmenge von 6 kg TM Hirsesilage pro Tag zusätzlich 350 kg Kraftfutter pro Laktation ergänzt werden muss, um den gleichen Energiegehalt der Ration zu erreichen als bei Maissilagefütterung.

In der Rindermast wurden bislang ähnliche Erfahrungen wie in der Milchviehfütterung gemacht. Fox et al. (1970) führten einen Ochsenmastversuch durch, indem sie den Tieren als Energiekomponente ausschließlich Hirsesilage, Maissilage, Hirsekörner oder Maiskörner verfütterten. Als Ergänzung wurde ein Eiweißkraftfutter sowie Heu (bei den Körnervarianten) eingesetzt. Auch sie stellten bei Hirsesilage- bzw. Hirsekörnerfütterung deutlich geringere

Tageszunahmen und eine ungünstigere Futterverwertung fest als bei Maissilage- bzw. Maiskörnerfütterung. Der Grund dafür lag in einer geringeren Verdaulichkeit und daraus folgend in einem geringeren Energiegehalt der Hirse-Futtermittel.

Zum Futterwert von Hirsekörnern in der Mast von Wiederkäuern gibt es auch Versuchsergebnisse, welche auf eine gute Eignung von Hirsekörnern als Ersatz für Körnermais hinweisen. Sun et al. (2018) untersuchten den Einsatz von geschroteten Hirse- bzw. Maiskörnern in der Lämmermast und Wang et al. (2018) die Verwendung von gequetschten Hirsekörnern bzw. geschroteten Maiskörnern in der Stiermast. In beiden Versuchen wurden steigende Tageszunahmen mit zunehmendem Einsatz von Hirsekörnern festgestellt. Die TM- und Faser-Verdaulichkeit unterschied sich im Versuch von Sun et al. (2018) nicht zwischen Mais- und Hirsefütterung, allerdings nahm die XP-Verdaulichkeit mit steigendem Hirseanteil in der Ration ab. Um detailliertere Informationen dazu zu erhalten (z.B. Einsatzmöglichkeit in der Milchviehfütterung), sollten in Zukunft weitere Forschungsprojekte zu diesem Thema durchgeführt werden.

Der Gehalt an Zellwandbestandteilen und XP in der Hirsesilage ging in den Versuchen von Johnson et al. (1971), Black et al. (1980), Bolsen und White (2007) und Lyons et al. (2019) mit fortschreitender Reife deutlich zurück, während der Gehalt an NFC und Stärke anstieg (Black et al. 1980, Lyons et al. 2019). Diese Ergebnisse stimmen weitgehend mit jenen aus dem vorliegenden Projekt überein, einzig der Proteingehalt änderte sich im aktuellen Versuch nicht mit fortschreitender Reife. Die Verdaulichkeit der OM blieb in der Studie von Johnson et al. (1971) konstant, während sie bei Black et al. (1980) und Hart (1990) zurückging. Die Verdaulichkeit der Faserbestandteile, des XP und der Stärke nahm jedoch mit fortschreitender Reife deutlich ab (Johnson et al. 1971, Black et al. 1980, Hart 1990). Im vorliegenden Versuch nahm die NDF-Verdaulichkeit zwischen Beginn und Ende Teigreife deutlich ab. Die höchste NFC-Verdaulichkeit wurde im Reifestadium „Mitte Teigreife“ erreicht, während die OM-Verdaulichkeit und die effektive ruminale Abbaubarkeit der Hirsesilage vom Erntezeitpunkt nicht beeinflusst wurde. Die numerisch höchste OM-Verdaulichkeit und somit auch der höchste ME- und NEL-Gehalt wurden jedoch ebenfalls in der mittleren Teigreife erreicht.

Als optimaler Erntezeitpunkt stellte sich daher das Reifestadium „Mitte Teigreife“ heraus. Bolsen und White (2007) gaben dagegen „Ende Teigreife“ als optimales Erntestadium für Hirse an. Aufgrund ihrer Ergebnisse ist bei früherer Ernte mit einem geringeren Ertrag und einem sehr geringen TM-Gehalt der Hirsesilage zu rechnen, eine spätere Ernte führt zu einem geringeren TM-Ertrag und Futterwert. Im aktuellen Versuch wurden zwischen den Reifestadien „Mitte Teigreife“ und „Ende Teigreife/Beginn Vollreife“ keine

Ertragsunterschiede festgestellt. Allerdings stieg, wie bei Bolsen und White (2007) beschrieben, der TM-Gehalt der Hirsensilagen zwischen diesen beiden Reifestadien an.

Bei der Interpretation des Energiegehalts von Hirsensilagen sollte auch darauf geachtet werden, mit welcher Methode dieser bestimmt wurde. Beim Vergleich der *in vivo*-Energiegehalte mit den *in vitro*-Energiegehalten der Hirse-GPS fiel auf, dass der *in vivo*-ME-Gehalt jeweils um rund 0,75 bis 1,00 MJ unter dem *in vitro*-ME-Gehalt lag. Da der *in vivo*-ME-Gehalt direkt am Tier gemessen wird, sollte diesem mehr Vertrauen geschenkt werden. Der Grund für die deutlichen Unterschiede zwischen den beiden Methoden liegt wahrscheinlich darin, dass für die Berechnung des *in vitro*-Energiegehalts Regressionsformeln für Maissilagen herangezogen wurden. Auch Di Marco et al. (2009) fanden zum Teil deutliche Unterschiede in der Verdaulichkeit von Hirsensilage, je nachdem, ob sie *in vitro* oder *in vivo* untersucht wurde. Sie wiesen daher auf die Wichtigkeit von *in vivo*-Verdaulichkeitsuntersuchungen bei der Analyse des Futterwerts von Hirsensilagen hin.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass Körnerhirse-Silagen einen höheren Futterwert aufweisen als Biomasse- und Silohirse-Silagen, was auch durch frühere Untersuchungen bestätigt wird (White et al. 1991, Bolsen und White 2007). Bolsen und White (2007) geben an, dass der Futterwert von Körnerhirse-Silage rund 5 bis 10 % unter jenem von Maissilage liegt. Innerhalb der Silohirsens wird der Futterwert am wesentlichsten durch den Kornanteil bestimmt – ein höherer Kornanteil führt auch zu einem höheren Futterwert der Hirsensilage (White et al. 1991). Fasching (2014) empfiehlt aufgrund des geringeren Futterwerts keinen kompletten Austausch von Maissilage durch Hirsensilage in der Rinderfütterung. Das steht im Widerspruch zu den Schlussfolgerungen von Khosravi et al. (2018), wonach Maissilage ohne Milchleistungseinbußen durch Hirse ersetzt werden kann. Allerdings hatten diese Autoren den niedrigeren Stärkegehalt der Hirsensilage durch einen höheren Einsatz von Körnermais ausgeglichen.

Hirse hat vor allem in Trockengebieten bzw. in trockenen Jahren Vorteile gegenüber Mais. Sie nutzt das vorhandene Wasser effizienter, indem sie auch Wasser aus tieferen Bodenschichten aufnimmt und somit auch in trockenen Jahren noch akzeptable Korn- bzw. Ganzpflanzen-Erträge erzielt (Grant et al. 1995, Farré und Faci 2006, Pino und Heinrichs 2017). Weiters hat Hirse auch eine kürzere Vegetationsperiode (gelangt rascher zur Reife) als Mais. Das bedeutet, dass Hirse speziell bei Trockenperioden im Spätsommer geringere Ertragsrückgänge aufweist, da die Ertragsbildung bis dahin weitestgehend abgeschlossen ist (Farré und Faci 2006, Pino und Heinrichs 2017). Durch die kürzere Vegetationsperiode ist es in Gunstlagen auch möglich, Hirse als Zweitfrucht, z.B. nach Wintergetreide, anzubauen (Daniel et al. 2018, Lyons et al.

2019). Weitere Nachteile von Mais sind, dass sich die Blattfläche (welche für Photosynthese nutzbar ist) unter Trockenstress stärker reduziert als bei Hirse (Farré und Faci 2006) und Mais zudem einen höheren Nährstoffbedarf aufweist (Pino und Heinrichs 2017). Steht jedoch ausreichend Wasser zu Verfügung, so sind die Silomaiserträge höher als die Hirseerträge, wie sowohl der aktuelle Versuch als auch die Ergebnisse von Farré und Faci (2006) und Fasching (2014) zeigen.

Ein weiterer Vorteil von Hirse im Vergleich zu Mais ist, dass sie kaum vom Maiswurzelbohrer befallen wird (Ettle et al. 2016) und somit ein wertvolles Fruchtfolgeglied darstellen kann. Denn die Einhaltung einer Fruchtfolge ist die wirksamste Maßnahme um Schäden durch den Maiswurzelbohrer zu reduzieren (Fragner und Böck 2017). Trockene Witterung kann den Schädlingsdruck zusätzlich erhöhen, da durch den Wassermangel die Regenerationsfähigkeit der Maispflanze reduziert wird (Fragner und Böck 2017). Das bedeutet, dass speziell in Regionen mit hohem Befallsdruck durch den Maiswurzelbohrer und hohem Risiko für Trockenperioden Hirse eine interessante Alternative zu Mais darstellt.

5 Schlussfolgerung

Hirse-Sorten unterscheiden sich deutlich hinsichtlich ihres Ertrags und Futterwerts. Hohe Erträge werden vor allem mit hochwüchsigen Sorten erreicht, welche vorwiegend als Substrat für Biogasanlagen eingesetzt werden (Biomassehirsen). Diese Sorten eignen sich jedoch aufgrund des hohen Fasergehalts, des niedrigen NFC- und XS-Gehalts, der niedrigen Pansenabbaubarkeit und Gesamtverdaulichkeit und des damit verbundenen geringen Energiegehalts nicht als Futter für Wiederkäuer. Silo- und Körnerhirse-Sorten weisen einen deutlich höheren Futterwert auf, wobei dieser stark vom Rispenanteil beeinflusst wird. Mit zunehmendem Rispenanteil steigen XS-Gehalt, Pansenabbaubarkeit, Gesamtverdaulichkeit und Energiegehalt an. Daher sollten bei der Erzeugung von Hirsesilagen Sorten mit hohem Rispenanteil (Körnerhirse oder kornreiche Silohirsensorten) bevorzugt werden. Im Vergleich zu Silomais weisen jedoch selbst Hirsesilagen aus kornreichen Sorten einen geringeren Futterwert auf. Die Gründe dafür liegen vor allem im geringeren XS-Gehalt und der geringeren Gesamtverdaulichkeit der Nährstoffe, was auch einen deutlich niedrigeren Energiegehalt zur Folge hat. Ein Vorteil von Hirsesilage im Vergleich zu Silomais ist der höhere XP-Gehalt. Der optimale Futterwert von Hirsesilagen wird im Reifestadium „Mitte Teigreife“ erreicht. Bis zu diesem Zeitpunkt nimmt der XS-Gehalt signifikant zu, was einen Anstieg der OM-Verdaulichkeit und des Energiegehalts nach sich zieht. Im weiteren Reifeverlauf steigt der XS-Gehalt nicht mehr an, während die NDF-Verdaulichkeit und damit auch der Energiegehalt zurückgeht.

Die Vergärungseigenschaften von Hirse sind grundsätzlich mit jenen von Silomais vergleichbar. Silagen von Silohirse-Sorten weisen jedoch vor allem bei früher Ernte geringe TM-Gehalte auf, was sie anfällig für Gärstoffverluste macht. Weiters treten in Hirsesilagen im Vergleich zu Silomais höhere Gehalte an den Puffersubstanzen XP und XA auf, was zu einer unzureichenden pH-Absenkung führen kann. Silagen von Silohirse-Sorten enthalten zudem teilweise hohe Ethanolgehalte, weshalb aus Sicht der Gärqualität Silagen aus Körnerhirse-Sorten zu bevorzugen sind.

Unter günstigen Witterungsbedingungen, wie sie in den drei Versuchsjahren herrschten, hat Hirse quantitative (Ertrag) und qualitative Nachteile im Vergleich zu Silomais. In Jahren mit hohem Maiswurzelbohrerdruck oder langen Trockenperioden können jedoch Silagen aus kornreichen Hirsesorten eine interessante Alternative sein, da Hirse weniger anfällig gegenüber dem Maiswurzelbohrer ist und Wasser effizienter nutzt als Silomais.

6 Zusammenfassung

In den letzten Jahren haben das Auftreten des Maiswurzelbohrers und zunehmende Trockenperioden im Sommer vermehrt zu Schäden und Ernteaussfällen im Maisanbau geführt. Um das Risiko für derartige Schäden zu reduzieren, stellte sich die Frage nach Alternativkulturen, welche in der Rinderfütterung ähnliche Futtereigenschaften aufweisen wie Silomais. Aus diesem Grund kam zunehmend Hirse-Ganzpflanzensilage (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) als Alternativfuttermittel in der Rinderfütterung ins Gespräch. Da jedoch bislang kaum Informationen zum Futterwert von Hirsesilage vorlagen, war es Ziel eines Forschungsprojektes, Ertrag, Nährstoffzusammensetzung, Gäreigenschaften, Pansenabbaubarkeit und Gesamtverdaulichkeit von Hirsesilagen verschiedener Sorten zu untersuchen und mit Maissilage zu vergleichen. Der Versuch war Teil des EIP-Projekts „Innobrotics“, erstreckte sich über drei Erntejahre (2016 bis 2018) und umfasste sechs verschiedene Sorghumhirse-Sorten, welche sich hinsichtlich ihres vorwiegenden Nutzungstyps unterschieden: ES Aristos (Biomassehirse), ES Harmattan, RGT Vegga, NutriGrain, Primsilo (jeweils Silohirse) und RGT Ggaby (Körnerhirse). Um auch Informationen über den optimalen Erntezeitpunkt zu erhalten, wurden alle Sorten in drei verschiedenen Reifestadien (Ende Milchreife/Beginn Teigreife, Mitte Teigreife und Ende Teigreife/Beginn Vollreife) geerntet. Als Referenz wurde zudem eine Silomais-Sorte (Angelo) untersucht, welche jedoch aus versuchstechnischen Gründen nur zum mittleren Erntezeitpunkt geerntet wurde. Der Anbau und die Ernte der untersuchten Hirse- und Silomais-Sorten erfolgte an der Landwirtschaftlichen Fachschule Hafendorf (Kapfenberg, Steiermark). Bei der Ernte wurde jede Sorte gesondert gehäckselt und das Häckselgut in Kunststofffässer einsiliert. Die Futterwert- und Gärqualitätsuntersuchungen erfolgten an der HBLFA Raumberg-Gumpenstein, wobei die Nährstoffzusammensetzung sowohl von Hirse-Ganzpflanzensilage als auch von frischer Hirse (Rispe, Restpflanze und Ganzpflanze) untersucht wurde.

Der Ertrag der Biomassehirse lag deutlich über jenem von Silomais, während alle anderen Sorten niedrigere Erträge als Silomais aufwiesen. Die Nährstoffzusammensetzung der frischen Restpflanze, Rispe und Ganzpflanze sowie der Ganzpflanzensilage wurde signifikant von der Sorte beeinflusst. Die Nährstoffzusammensetzung der frischen und silierten Ganzpflanze wurde dabei vor allem vom Rispenanteil beeinflusst. Mit zunehmendem Rispenanteil sank der Gehalt an Faserkohlenhydraten und stieg der Gehalt an Nicht-Faserkohlenhydraten an. Aus diesem Grund wiesen kornreiche Sorten auch eine höhere effektive Pansenabbaubarkeit und Gesamtverdaulichkeit und somit auch einen höheren Energiegehalt auf. Der Erntezeitpunkt

hatte keinen Einfluss auf die Nährstoffzusammensetzung der Restpflanze. In der frischen Rispe sowie in der frischen und silierten Gesamtpflanze nahm dagegen der Stärkegehalt auf Kosten des Fasergehalts bis Mitte der Teigreife signifikant zu. Deshalb wurden zu diesem Erntezeitpunkt auch die höchste Verdaulichkeit der Organischen Masse und der höchste Energiegehalt erzielt.

Zusammenfassend war der Futterwert von Hirsesilage im Vergleich zu Maissilage deutlich geringer, was vor allem auf einen geringeren Stärkegehalt und eine geringere Gesamtverdaulichkeit zurückzuführen war. Weiters wiesen vor allem Silagen aus Silohirse-Sorten einen deutlich niedrigeren Trockenmassegehalt auf als Maissilagen, was Gärverluste zur Folge hatte. Die Gärqualität der Hirsesilage war mit jener von Maissilage vergleichbar. Bei einigen Hirsesilagen führte die Gärung jedoch zu keiner ausreichenden pH-Absenkung. Auffällig waren auch zum Teil hohe Ethanolgehalte in den Silagen von Biomasse- und Silohirsensorten.

Der geringere Futterwert im Vergleich zu Maissilage spricht gegen den Einsatz von Hirse-Ganzpflanzensilage in der Rinderfütterung. Vor allem bei hohem Maiswurzelbohrerdruck oder langen Trockenperioden im Sommer kann jedoch Hirsesilage eine interessante Alternative zu Maissilage sein. Bei der Erzeugung von Hirsesilagen sollte jedenfalls auf kornreiche Sorten gesetzt werden und die Ernte im Reifestadium „Mitte Teigreife“ erfolgen.

7 Summary

In the last years, the occurrence of the Western Corn Rootworm and dry periods in summer led to increasing damages and crop failures in maize cultivation. One possibility to reduce the risk of such damages is the use of alternative crops, which have similar feed characteristics in cattle feeding to forage maize. For this reason, whole crop silage from sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) was discussed as alternative cattle feed. However, so far, there is only little information on nutritive value of whole crop sorghum silage (WCSS) in Middle European regions. Thus, a project was started with the aim of examining yield, nutrient composition, fermentation characteristics, ruminal degradability and whole tract digestibility of WCSS from different varieties and comparing these with whole crop maize silage (WCMS). This trial was part of the EIP project "Innobrotics", lasted for three years (2016 to 2018) und included six different sorghum varieties, which were classified by their predominant usage: ES Aristos (biomass sorghum), ES Harmattan, RGT Vegga, NutriGrain, Primsilo (each silage sorghum) and RGT Ggaby (grain sorghum). Varieties were harvested at three different maturity stages (late milk stage/early dough stage, soft dough stage, hard dough stage/physiological maturity) to get information about the optimal harvest date of WCSS. Furthermore, an often-used forage maize variety (Angelo) was tested as reference. However, this forage maize variety was only harvested at the middle maturity stage due to capacity reasons. Cultivation and harvest of the sorghum varieties was carried out at the agricultural school in Hafendorf (Kapfenberg, Styria). At harvest, each variety was chopped separately and the shredded feed was ensiled in small plastic silos. The examination of nutritive value and fermentation characteristics was carried out at AREC Raumberg-Gumpenstein. Nutrient composition was tested both in WCSS and fresh sorghum (panicle, stover and whole plant).

Yield of biomass sorghum was significantly higher while yield of all other tested varieties was lower compared to forage maize. Nutrient composition of fresh stover, panicle and whole plant as well as WCSS was significantly affected by variety. Nutrient composition of fresh and ensiled whole plant was mainly influenced by the panicle percentage in the whole plant. A rising panicle percentage led to a lower content of fibre carbohydrates and to a higher content of non-fibre carbohydrates. Therefore, grain-rich varieties had a higher effective ruminal degradability and whole tract digestibility and, as a consequence, a higher energy content. Harvest date did not affect nutrient composition of stover. However, starch content rose and fibre content sank until the middle of dough stage in panicle as well as in fresh and ensiled

whole plant. Therefore, highest whole tract digestibility of organic matter and highest energy content was achieved at this maturity stage.

In summary, nutritive value of WCSS was markedly lower compared to forage maize, which was mainly due to a lower starch content and a lower whole tract digestibility. Furthermore, especially in silages from silage sorghum varieties leachate losses were found which were due to significantly lower dry matter content of WCSS compared to WCMS. Fermentation characteristics of WCSS were comparable to WCMS. However, drop of pH during fermentation was not satisfactory in several WCSS. Furthermore, high ethanol content was found especially in silages from biomass and silage sorghum varieties.

The lower nutritive value compared to WCMS is an argument against the use of WCSS in cattle feeding. However, especially in regions with high occurrence of the Western corn rootworm or long dry periods in summer, WCSS can be an interesting alternative to WCMS. In the production of WCSS, grain-rich varieties should be used preferentially and harvested at the middle of the dough stage.

8 Literatur

- AGES (Österreichische Agentur für Gesundheit und Ernährungssicherheit), 2019: Maiswurzelbohrer - Verbreitung. <https://www.ages.at/themen/schaderreger/maiswurzelbohrer/verbreitung/>, besucht am 22.01.2019.
- Aydin, G., R.J. Grant und J. O'Rear, 1999: Brown midrib sorghum in diets for lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.* 82, 2127-2135.
- Black, J.R., L.O. Ely, M.E. McCullough und E.M. Sudweeks, 1980: Effects of stage of maturity and silage additives upon the yield of gross and digestible energy in sorghum silage. *J. Anim. Sci.* 50, 617-624.
- Bolsen, K.K. und J.S. White, 2007: Sorghum Silage: A summary of 25 years of research at Kansas State University. XI Cattle Production Conference, 15.-16.03.2007, Uberlandia, Brazil,
- Cattani, M., L. Maccarana, A. Sartori, R. Converso und L. Bailoni, 2015: Chemical composition and *in vitro* fermentation of silages from different sorghum hybrids cultivated in three plot farms. *Poljopriveda* 21, 126-129.
- Colombini, S., L. Rapetti, D. Colombo, G. Galassi und G.M. Crovetto, 2010: Brown midrib forage sorghum silage for the dairy cow: nutritive value and comparison with corn silage in the diet. *Ital. J. Anim. Sci.* 9, 273-277.
- Daniel, J.L.P., T.F. Bernardes, C.C. Jobim, P. Schmidt und L.G. Nussio, 2018: Production and utilization of silages in tropical areas. XVIII International Silage Conference, 24.-26.07.2018, Bonn, 348-367.
- Di Marco, O.N., M.A. Ressia, S. Arias, M.S. Aello und M. Arzadún, 2009: Digestibility of forage silages from grain, sweet and bmr sorghum types: Comparison of *in vivo*, *in situ* and *in vitro* data. *Anim. Feed Sci. Technol.* 153, 161-168.
- DLG (Deutsche Landwirtschafts-Gesellschaft), 2012: Praxishandbuch Futter- und Substratkonservierung. 8., vollständig überarbeitete Auflage, DLG-Verlag, Frankfurt am Main, 416 S.
- Ehteshami, S.M., K. Khavazi und A. Asgharzadeh, 2018: Forage sorghum quantity and quality as affected by biological phosphorous fertilization. *Grass Forage Sci.* 73, 926-937.
- Ettle, T., A. Obermaier und J. Eder, 2016: Futterwert von Ganzpflanzensilage aus Körnerhirsesorten in der Wiederkäuerfütterung. Forum angewandte Forschung in der Rinder- und Schweinefütterung, 12.-13.04.2016, Fulda, 73-76.
- Farré, I. und J.M. Faci, 2006: Comparative response of maize (*Zea mays* L.) and sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench) to deficit irrigation in a Mediterranean environment. *Agr. Water Manage.* 83, 135-143.
- Fasching, C., 2014: Futterwert von Sorghum-Hirse und deren Verwendung in der Milchproduktion. 41. Viehwirtschaftliche Fachtagung, 09.-10.04.2014, HBLFA Raumberg-Gumpenstein, Irdning, 129-140.
- Fox, D.G., E.W. Klosterman, H.W. Newland und R.R. Johnson, 1970: Net energy of corn and bird resistant grain sorghum rations for steers when fed as grain or silage. *J. Anim. Sci.* 30, 303-308.

Fragner, H. und A. Böck, 2017: Maiswurzelbohrer in Österreich – Bestandsaufnahme und Lösungsansätze. *Landwirt* 20/2017, 38-41.

GfE (Gesellschaft für Ernährungsphysiologie – Ausschuss für Bedarfsnormen), 1991: Leitlinien für die Bestimmung der Verdaulichkeit von Rohnährstoffen an Wiederkäuern. *J. Anim. Physiol. Anim. Nutr.* 65, 229-234.

GfE (Gesellschaft für Ernährungsphysiologie - Ausschuss für Bedarfsnormen), 2001: Energie- und Nährstoffbedarf landwirtschaftlicher Nutztiere, No. 8: Empfehlungen zur Energie- und Nährstoffversorgung der Milchkühe und Aufzuchttrinder. DLG-Verlag, Frankfurt/Main, 135 S.

GfE (Gesellschaft für Ernährungsphysiologie - Ausschuss für Bedarfsnormen), 2008: New equations for predicting metabolisable energy of grass and maize products for ruminants. *Proc. Soc. Nutr. Physiol.* 17, 191-198.

Grant, R.J., S.G. Haddad, K.J. Moore und J.F. Pedersen, 1995: Brown midrib sorghum silage for midlactation dairy cows. *J. Dairy Sci.* 78, 1970-1980.

Gross, F. und K. Riebe 1973: Gärfutter – Betriebswirtschaft, Erzeugung, Verfütterung. Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart, 283 S.

Hart, S.P., 1990: Effects of altering the grain content of sorghum silage on its nutritive value. *J. Anim. Sci.* 68, 3832-3842.

Johnson, R.R., V.P. De Faria und K.E. McClure, 1971: Effects of maturity on chemical composition and digestibility of bird resistant sorghum plants when fed to sheep as silages. *J. Anim. Sci.* 33, 1102-1109.

Khosravi, M., Y. Rouzbehan, M. Rezaei und J. Rezaei, 2018: Total replacement of corn silage with sorghum silage improves milk fatty acid profile and antioxidant capacity of Holstein dairy cows. *J. Dairy Sci.* 101, 10953-10961.

Krawielitzki, K., T. Schmidt, J. Voigt, J. Kowalczyk und M. Gabel, 2006: Dynamics of microbial contamination of protein during ruminal *in situ* incubation of feedstuffs. *J. Anim. Feed Sci.* 15, 313-328.

Lusk, J.W., P.K. Karau, D.O. Balogu und L.M. Gourley, 1984: Brown midrib sorghum or corn silage for milk production. *J. Dairy Sci.* 67, 1739-1744.

Lütke Entrup, N., F.J. Schwarz und H. Heilmann 2013: Handbuch Mais – Grundlagen, Anbau, Verwertung, Ökonomie. DLG-Verlag, Frankfurt am Main, 451 S.

Lyons, S.E., Q.M. Ketterings, G.S. Godwin, D.J. Cherney, J.H. Cherney, M.E. Van Amburgh, J.J. Meisinger und T.F. Kilcer, 2019: Optimal harvest timing for brown midrib forage sorghum yield, nutritive value, and ration performance. *J. Dairy Sci.* 102, 7134-7149.

Mahlkow-Nerge, K., 2018: Dürre-Mais – Wie halten Sie die Milch? *Top Agrar* 10/2018, 18-21.

Marsalis, M.A., S.V. Angadi und F.E. Contreras-Govea, 2010: Dry matter yield and nutritive value of corn, forage sorghum, and BMR forage sorghum at different plant populations and nitrogen rates. *Field Crops Res.* 116, 52-57.

McDonald, I., 1981: A revised model for the estimation of protein degradability in the rumen. *J. Agr. Sci.* 96, 251-252.

Oliver, A.L., R.J. Grant, J.F. Pedersen und J. O'Rear, 2004: Comparison of brown midrib-6 and -18 forage sorghum with conventional sorghum and corn silage in diets of lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.* 87, 637-644.

Ørskov, E.R. und I. McDonald, 1979: The estimation of protein degradability in the rumen from incubation measurements weighted according to rate of passage. *J. Agr. Sci.* 92, 499-503.

- Ørskov, E.R., F.D. Hovell und F. Mould, 1980: The use of the nylon bag technique for the evaluation of feedstuffs. *Trop. Anim. Prod.* 5, 195-213.
- Ørskov, E.R. und M. Ryle 1990: Energy nutrition in ruminants. Elsevier Applied Science, London, 149 S.
- Peyrat, J., P. Nozière, A. Le Morvan, A. Féraud, P.V. Protin und R. Baumont, 2014: Effects of ensiling maize and sample conditioning on *in situ* rumen degradation of dry matter, starch and fibre. *Anim. Feed Sci. Technol.* 196, 12-21.
- Pino, F. und A.J. Heinrichs, 2017: Sorghum forage in precision-fed dairy heifer diets. *J. Dairy Sci.* 100, 224-235.
- Sánchez-Duarte, J.I., K.F. Kalscheur, A.D. García und F.E. Contreras-Govea, 2019: Short communication: Meta-analysis of dairy cows fed conventional sorghum or corn silages compared with brown midrib sorghum silage. *J. Dairy Sci.* 102, 419-425.
- Sarubbi, F., A. Chiariotti, R. Baculo, G. Contò und S.A. Huws, 2014: Nutritive value of maize and sorghum silages: fibre fraction degradation and rumen microbial density in buffalo cows. *Czech J. Anim. Sci.* 59, 278-287.
- Südekum, K.H., 2005: Möglichkeiten und Grenzen einer Standardisierung der *in situ*-Methodik zur Schätzung des ruminalen Nährstoffabbaus. *Übers. Tierern.* 33, 71-86.
- Sun, H.X., T.S. Gao, R.Z. Zhong, Y. Fang, G.L. Di und D.W. Zhou, 2018: Effects of corn replacement by sorghum in diets on performance, nutrient utilization, blood parameters, antioxidant status, and meat colour stability in lambs. *Can. J. Anim. Sci.* 98, 723-731.
- Terler, G., L. Gruber und W. Knaus, 2019: Effects of ruminal degradability of ensiled whole crop maize varieties on feed intake and milk production of dairy cows. *Animal*, 1-10.
- VDLUFA (Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten), 2012: Handbuch der landwirtschaftlichen Versuchs- und Untersuchungsmethodik (VDLUFA-Methodenbuch), Bd. III. Die chemische Untersuchung von Futtermitteln. VDLUFA-Verlag, Darmstadt, 2190 S.
- Vendrami, J.M.B., J. Erickson, M.L.A. Silveira, A.D. Aguiar, J.M.D. Sanchez, W.L. Da Silva und H.M. Da Silva, 2018: Nutritive value and fermentation characteristics of sweet sorghum silage. XIII International Silage Conference 2018, 24.-26. 07. 2018, Bonn, 190-191.
- Wang, C., Q. Liu, G. Guo, W.J. Huo, Y.L. Zhang, C.X. Pei, S.L. Zhang, W.Z. Yang und H. Wang, 2018: Effects of substituting corn with steam-flaked sorghum on growth, digestion and blood metabolites in young cattle fed feedlot diets. *Anim. Prod. Sci.* 58, 299-306.
- Weißbach, F. und S. Kuhla, 1995: Stoffverluste bei der Bestimmung des Trockenmassegehaltes von Silagen und Grünfütter: Entstehende Fehler und Möglichkeiten der Korrektur. *Übers. Tierern.* 23, 189-214.
- White, J.S., K.K. Bolsen, G. Posler und J.W. Neill, 1991: Forage sorghum silage dry matter disappearance as influenced by plant part proportion. *Anim. Feed Sci. Technol.* 33, 313-322.
- Wilhelm, R., 2014: Eine Landplage breitet sich aus – Landwirtschaftliche Produktion durch gefräßige Larven gefährdet. <https://stmk.lko.at/media.php?filename=download%3D%2F2014.10.24%2F1414137096401159.pdf&rn=Sch%E4dlinge%20und%20Unkr%E4uter.pdf>, besucht am 22.01.2019.
- Yang, Y., G. Ferreira, B.A. Corl und B.T. Campbell, 2019: Production performance, nutrient digestibility, and milk fatty acid profile of lactating dairy cows fed corn silage- or sorghum silage-based diets with and without xylanase supplementation. *J. Dairy Sci.* 102, 2266-2274.

ZAMG (Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik), 2015: Werden Dürre-Perioden im Alpenraum häufiger? <https://www.zamg.ac.at/cms/de/klima/news/werden-duerre-perioden-im-alpenraum-haeufiger>, besucht am 26.04.2018.

9 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Überblick über die im Versuch verwendeten Hirse-Sorten (<i>Sorghum bicolor</i>)	9
Tabelle 2: Erntetermine der Hirse-Sorten in den Versuchsjahren	12
Tabelle 3: Ertrag von Sorghumhirse bei einer Erntehöhe von 10 cm	19
Tabelle 4: Ertrag von Sorghumhirse bei einer Erntehöhe von 60 cm	20
Tabelle 5: Rispenanteil sowie Trockenmassegehalt von frischer Restpflanze, frischer Rispe und frischer Ganzpflanze sowie Hirse-Ganzpflanzensilage bei unterschiedlicher Erntehöhe	21
Tabelle 6: Nährstoffzusammensetzung der frischen Restpflanze von Sorghumhirse	23
Tabelle 7: Nährstoffzusammensetzung der frischen Rispe von Sorghumhirse	24
Tabelle 8: Nährstoffzusammensetzung von frischer Hirse bei einer Erntehöhe von 10 cm	25
Tabelle 9: Nährstoffzusammensetzung von frischer Hirse bei einer Erntehöhe von 60 cm	26
Tabelle 10: Nährstoffzusammensetzung von Hirse-Ganzpflanzensilage bei 10 cm Erntehöhe	27
Tabelle 11: <i>In vitro</i> -Energiegehalt von frischer Restpflanze, frischer Rispe und frischer Ganzpflanze (bei 10 und 60 cm Erntehöhe) und Hirse-Ganzpflanzensilage (10 cm Erntehöhe)	29
Tabelle 12: TM-Gehalt und Gärparameter von Sorghum-GPS verschiedener Sorten bei unterschiedlichen Kornreifegraden im Vergleich zu Maissilage	33
Tabelle 13: TM-Gehalt, Gärverluste und chemische Charakteristika des Gärstoffes von Sorghum-GPS verschiedener Sorten bei unterschiedlichen Kornreifegraden im Vergleich zu Maissilage	34
Tabelle 14: Parameter des ruminalen Trockenmasse-Abbaus von Hirse-Ganzpflanzensilage	35
Tabelle 15: Parameter des ruminalen Rohprotein-Abbaus von Hirse-Ganzpflanzensilage	37
Tabelle 16: Parameter des ruminalen Neutral-Detergentien-Faser-Abbaus von Hirse-Ganzpflanzensilage	38
Tabelle 17: Parameter des ruminalen Nicht-Faser-Kohlenhydrate-Abbaus von Hirse-Ganzpflanzensilage	39
Tabelle 18: Gesamtverdaulichkeit und <i>in vivo</i> -Energiegehalt von Hirse-Ganzpflanzensilage	40

10Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Wuchshöhenvergleich der im Versuch verwendeten Sorten	9
Abbildung 2: Monatliche Mitteltemperatur und Niederschlagsmenge am Versuchsstandort in den Jahren 2016 bis 2018	10
Abbildung 3: Hirsebestand am 21.08.2016	12
Abbildung 4: Mischen und Abfüllen der Hirsesilagen nach Entleerung der Versuchssilos	13
Abbildung 5: TM-Gehalte von Hirse-GPS in Abhängigkeit verschiedener Sorten und Kornreifegrade im Vergleich zu Silomais	30
Abbildung 6: Beziehung zwischen TM-Gehalt und pH-Wert von Hirse-GPS im Vergleich zu Maissilage	31

HBLFA Raumberg-Gumpenstein

Landwirtschaft

Raumberg 38, 8952 Irdning-Donnersbachtal

raumberg-gumpenstein.at