

Konservierung von Hirse zu Ganzpflanzensilage (Hirse-GPS)

Conservation of sorghum to whole plant silage (sorghum-WPS)

Reinhard Resch^{1*} und Georg Terler¹

Zusammenfassung

Die Silierung von Hirse-Sorten (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) zu Ganzpflanzensilage wird in Österreich aufgrund zunehmender Temperaturen und schlechter Wasserverfügbarkeit durch Trockenstress in den Sommermonaten, insbesondere auf weniger fruchtbaren Böden, wahrscheinlich an Bedeutung gewinnen. Die in den drei Versuchsjahren verwendeten Sorghum-Typen (Biomasse-, Silo- und Körnerhirse) waren in der Siliereignung aufgrund höherer Gehalte an Pufferstoffen etwas schlechter gestellt als der Silomais. Trotz deutlicher Nachteile der Hirsen mit geringeren TM-Gehalten, speziell bis zur mittleren Kornreife, kamen die Ergebnisse in der Silagequalität mehr oder weniger nahe an die der Maissilage heran. Der große Nachteil des niedrigen TM-Gehaltes der Hirsen bewirkte bei allen getesteten Sorten des Silotyps eine Gärstoffproduktion bis 12 % der einsilierten Menge und damit verbunden deutliche Massen- und Qualitätsverluste. Die Biomasse-Hirse hatte zwar keine Gärstoffverluste zu verzeichnen, allerdings scheidet dieser Hirse-Typ für Rinderbetriebe wegen der schlechten Verdichtbarkeit und des ungünstigen Futterwertes aus. Letzten Endes konnten in der Gesamtbewertung der Futterkonservierung zu Ganzpflanzensilage nur die körnerreichen Hirsesorten mit der Maissilage einigermaßen in der Gärqualität mithalten. Die im Rahmen des EIP-Projektes „Innobrotics“ ermittelten Erkenntnisse zur Hirse-GPS stellen somit für die österreichischen Rinderbauern wichtige Praxisgrundlagen zur Sortenwahl dar.

Schlagwörter: Silagequalität, Silierbarkeit, Pufferwirkung, Sorghum-GPS, Sorghum-Typ, Gärung, Tannine, Flavonoide, Blausäure

Summary

The ensilage of sorghum varieties (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) as whole plant silage (WPS) is likely to become more important in Austria with increasing temperatures and poor water availability due to drought stress in the summer months, especially on less fertile soils. The silage suitability of sorghum types (biomass, silo, grain sorghum) was slightly lower, compared to silage maize due to higher content of buffer substances. Despite clear disadvantages of sorghum varieties with lower DM content, especially up to medium grain maturity, the results in silage quality were more or less close to those of maize silage. The major disadvantage of the low DM content of the sorghum was effluent production of up to 12 % of the ensiled quantity in tested varieties of the silo type, which resulted in significant losses in mass and nutritive value. Biomass sorghum did not show any effluent losses, but this type of sorghum is not suitable for cattle farms due to its insufficient compactibility and unfavourable feed value. Ultimately, in the overall assessment of feed preservation to WPS, only the grain-rich sorghum varieties

¹ HBLFA Raumberg-Gumpenstein, Institut für Pflanzenbau und Kulturlandschaft, Institut für Nutztierforschung, Raumberg 38, A-8952 Irdning-Donnersbachtal

* Ansprechpartner: Ing. Reinhard Resch, email: reinhard.resch@raumberg-gumpenstein.at

were able to keep pace with maize silage in terms of quality to some extent. The findings of the EIP „Innobrotics“ project on sorghum-GPS provide Austrian cattle farmers with an important practical basis for selecting the right variety.

Keywords: silage quality, ensilability, buffer effect, sorghum WPS, sorghum type, fermentation, tannins, flavonoids, cyanide

1. Einleitung

In Österreich konnte in den letzten Jahren eine Zunahme von Phasen mit Sommertrockenheit beobachtet werden (GOBIET 2019). Abgesehen von tropischen Regionen gewinnen Hirsen (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) in vielen gemäßigten Zonen mit geringerer Bodenfruchtbarkeit immer mehr an Bedeutung (MANN et al. 1983). Neben dem Trockenstress bedrohen Schädlinge wie der westliche Maiswurzelbohrer (*Diabrotica virgifera*) immer häufiger die Maisernten (RESCH und TERLER 2019). Hinsichtlich der Ertrags- und Qualitätssicherheit von selbst angebautem Futter werden alternative Kulturen in Zukunft für die Rinderernährung wichtiger werden. Über Hirsesorten und deren Nährwert für das Vieh gibt es in Mitteleuropa nur wenige Erfahrungen, in Nordamerika fanden BOLSEN et al. (2003) einen geringeren Futterwert als bei Maissilage. Darüber hinaus gibt es Sorghum-Sorten mit unterschiedlichen Eigenschaften (Biomassetyp [Bm], Silagetypp [Si], Korntyp [Ko]). Es ist jedoch nicht klar, welche Sorghumsorte für die Viehhalter die optimale Wahl ist. Die European Innovation Partnership (EIP) fördert Projekte, die sich auf die landwirtschaftliche Produktivität und Nachhaltigkeit konzentrieren. Das Projekt „Nährwert und Vergärung von Ganzpflanzensilagen aus verschiedenen Sorghum-Sorten in der Rinderfütterung“ ist Teil des EIP-Projekts „Innobrotics“ und wurde 2016 von verschiedenen Partnern gestartet, um Antworten auf Fragen zur Pflanzenproduktion, Futterkonservierung und Tierernährung zu erhalten. Während der Beitrag von TERLER et al. (2020) Informationen zum Ertrag und Futterwert von Hirse-Sorten in der Rinderfütterung enthält, beschäftigt sich dieser Beitrag mit Fragen der Konservierbarkeit von Sorghum-Sorten zu einer Ganzpflanzensilage (GPS).

2. Material und Methoden

2.1 Versuchsdesign

Sechs verschiedene Sorghum-Sorten (i Aristos^{Bm}, ii ES Harmattan^{Si}, iii RGT Vegga^{Si}, iv Nutrigrain^{Si/Ko}, v RGT Primsilo^{Ko}, vi RGT Ggaby^{Ko}) wurden am Standort Hafendorf angebaut (R 15°18'40.7"; H 47°27'19.3") und in drei Jahren (2016 bis 2018) mit Maissilage (Sorte Angelo) verglichen. Die Bewirtschaftung der Kulturen (Anbau, Düngung, Pflege) wurde unter Berücksichtigung der Empfehlungen der guten fachlichen Praxis durchgeführt. Die Sorghumernte wurde in drei verschiedenen Reifestadien (Kornreife: i früh = Ende Milchreife/Beginn Teigreife, ii mittel = Teigreife, iii spät = physiologische Reife) durchgeführt. Von jeder Sorghum-Sorte wurde der Ertrag an der gesamten Grünmasse sowie an den getrennten Rispen (Samenträger) und Restpflanzen (Stängel und Blätter) gemessen.

2.2 Probenziehung und chemische Untersuchung

Das Material der gehäckselten Ganzpflanzen wurde in mehrere Kunststofffässer (60 bzw. 120 Liter) gepresst und mittels Kunststoffdeckel und Spannring hermetisch verschlossen. Alle Fässer wurden am Tag der Ernte nach Gumpenstein (R 14°06'13.0"; H 47°29'36.9") zur Lagerung transportiert. Für verschiedene Versuche (Gärung, Gärstoffbildung, *in vivo* und *in vitro* Verdaulichkeit, *in situ* Abbaubarkeit) wurden ca. 70 kg Trockenmasse (TM) Sorghum-Silage benötigt. Nach vier Monaten wurden die Fässer gewogen und geöffnet, um Proben von Silage und Gärstoff zu erhalten. Die Proben des getrennten Pflanzen-

materials wurden für die chemische Analyse durch Ofentrocknung (48 h bei 50 °C) und anschließende Vermahlung auf 1 mm Partikelgröße vorbereitet. Die chemischen Analysen (TM, Nährstoffe, Gerüstsubstanzen, Mineralien, pH-Wert, NH₃-N, flüchtige organische Verbindungen [VOC]) wurden im Labor der HBLFA Raumberg-Gumpenstein mit standardisierten nasschemischen Methoden durchgeführt (VDLUFA 1976). Von 16 Silageproben aus dem Jahr 2017 wurde die Analyse der Ester an der Humboldt-Universität Berlin an konservierten und tiefgekühlten Extrakten durchgeführt.

2.3 Statistische Auswertung

Die statistischen Berechnungen wurden an der HBLFA Raumberg-Gumpenstein 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 (Honestly Significant Difference) durchgeführt. Die berechneten P-Werte beziehen sich auf ein Konfidenzniveau von 95 %.

3. Ergebnisse und Diskussion

3.1 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 1). 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 Primisilo 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 Kornstyps. Die Biomasse-Sorte Aristos enthielt im Stängelinneren ein schwammiges Mark, daher wies diese Sorte eine deutlich schlechtere Verdichtbarkeit auf als die übrigen Sorghum-Sorten.

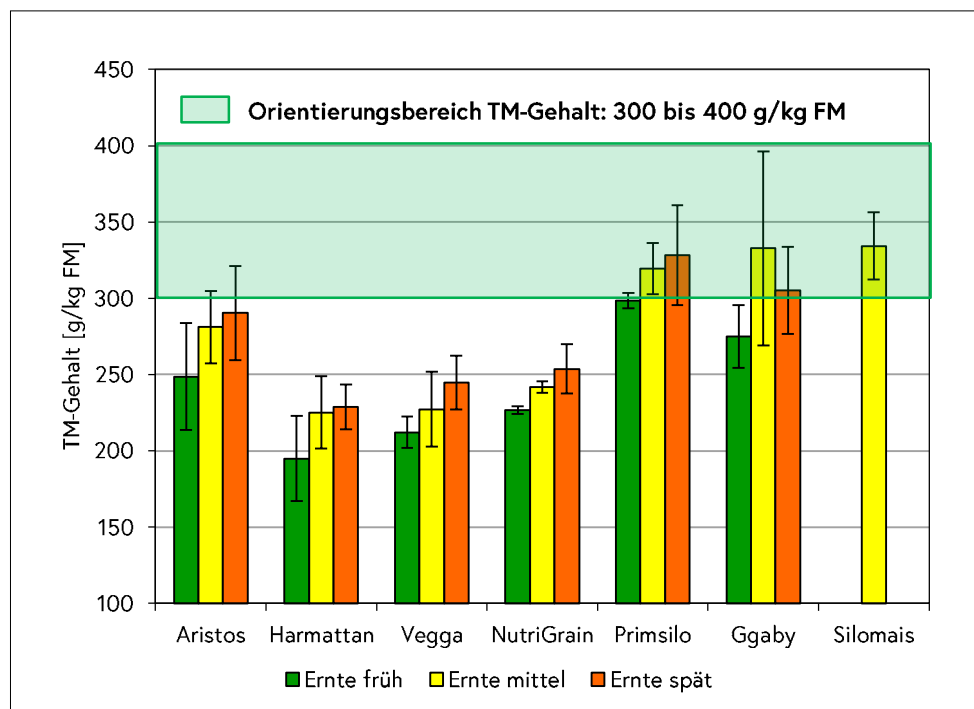


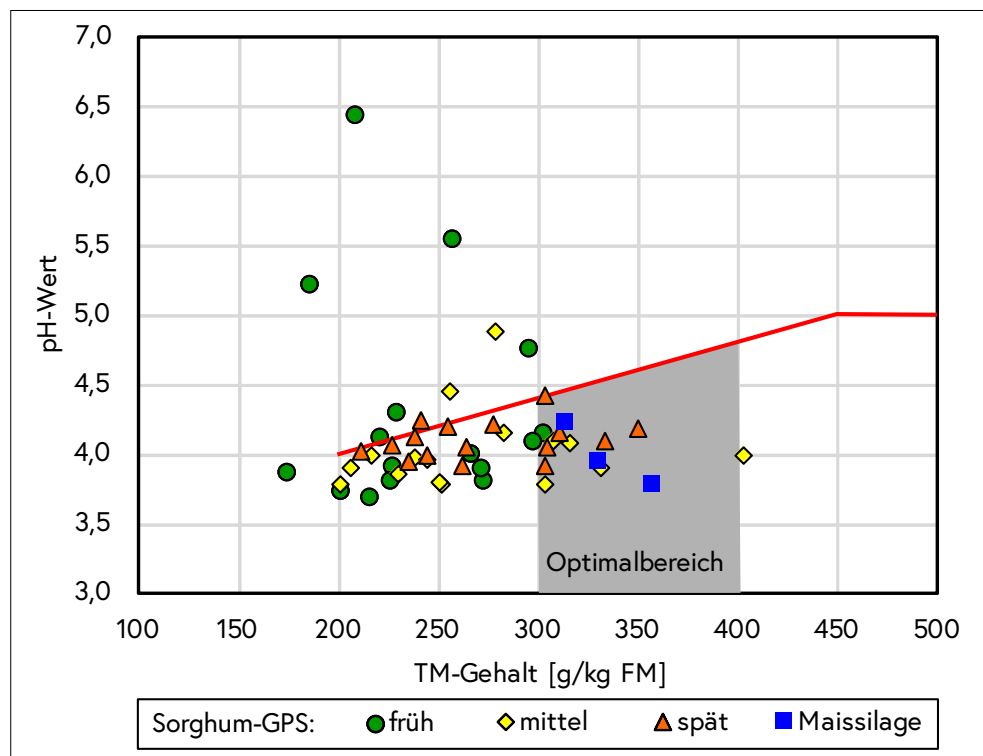
Abbildung 1: TM-Gehalte von Hirse-GPS in Abhängigkeit verschiedener Sorten und Kornreifegrade im Vergleich zu Silomais

Bis auf die Sorte Aristos (65 g XP/kg TM) enthielten alle getesteten Sorghum-Sorten einen höheren Rohproteingehalt (XP) als Maissilage (67 g XP/kg TM). Die Sorte NutriGrain erreichte den höchsten XP-Gehalt mit 85 g/kg TM. Der Rohaschegehalt der untersuchten Sorghum-Sorten war mit durchschnittlich 74 g/kg TM signifikant höher als jener der Maissilage mit 43 g/kg TM. 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 von 238 bis 439 g NFC/kg TM zu beobachten. Im Vergleich zu Mais (439 g NFC/kg TM) hatten die Sorghum-Typen Biomasse bzw. Silo einen deutlich geringeren NFC-Gehalt (unter 300 g/kg TM), die kornreichen Typen hatten einen NFC-Gehalt von durchschnittlich 351 g/kg TM. Die Biomasse-Hirse (Aristos) enthielt in der GPS nur 62 g Stärke (XS)/kg TM, die Sorten des Silotyps erreichten im Durchschnitt 136 g und nur die kornreichen Sorghum-Typen (Primsilo und RGT Ggaby) kamen mit 276 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 6,8 g; RGT Ggaby 10,8 g XZ/kg TM). Die Sorten des Sorghum-Silotyps lagen zwischen 16,8 und 17,6 g XZ/kg TM und somit minimal höher als Silomais mit 14,9 g XZ/kg TM. Der Biomasse-Typ (Aristos) enthielt 25,8 g XZ/kg TM. In der Tendenz muss der teilweise auftretende Zuckermangel im Sorghum-Kornotyp kritisch betrachtet werden, speziell hinsichtlich einer ausreichenden Absenkung des pH-Wertes (Abbildung 2).

Der Gehalt an strukturierten Kohlenhydraten (NDF, ADF, ADL) war in den Sorghum-GPS revers zu den NFC-Gehalten. Maissilage wies im Mittel die geringsten NDF-Gehalte auf (424 g NDF/kg TM), die Sorten des Silagetyps lagen zwischen 515 und 589 g und der Biomassetyp (Aristos) lag mit 606 g NDF/kg TM am höchsten. RGT Ggaby^{ko} war die Sorghum-Sorte mit dem geringsten NDF-Gehalt (452 g/kg TM). Die NDF-Gehalte hatten

Abbildung 2: Beziehung zwischen TM-Gehalt und pH-Wert von Hirse-GPS im Vergleich zu Maissilage



in den Versuchen keinen Einfluss auf die Gärqualität, jedoch einen signifikanten Effekt auf Verdaulichkeit und Energiekonzentration (TERLER et al. 2020).

Als erstes Zwischenfazit kann festgehalten werden, dass alle geprüften Sorghum-Sorten keinen Vorteil hinsichtlich Silierbarkeit gegenüber Silomais aufwiesen. Der geforderte TM-Gehalt konnte nur von Körnerhirsen ab mittlerer Kornreife erreicht werden. Zu späte Ernte hatte bei der Sorte RGT Ggaby das Ausrieseln der Körner mit Verlust an Futterwert zur Folge. Der Gehalt an Zuckern ist bei Körnerhirsen im kritisch niedrigen Bereich, womit eine gewisse Gefahr der zu geringen Säurebildung und ungünstiger aerober Stabilität verbunden sein kann.

3.2 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 sich beim Silomais 100 % der pH-Werte im optimalen Bereich von TM-Gehalt und pH-Wert befanden, erreichten dies bei den Sorghum-Sorten insgesamt nur 19 % (Abbildung 2).

Tabelle 1: 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)	
		\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}	sd
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}	
Aristos ^{Bm}	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
Harmattan ^{Si}	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
Vegga ^{Si}	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 ^{Si/Ko}	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 ^{Si/Ko}	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
Ggaby ^{Ko}	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 (Kontrolle)	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

Im Durchschnitt wurde bei den Sorghum-Sorten vom Silotyp 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 Ganzpflanzensorghum-Silagen traten keine Probleme mit *Clostridium tyrobutyricum* auf, da der durchschnittliche Gehalt an Buttersäure unter 1,0 g/kg TM lag. Nur eine Probe der Sorte Primsilo enthielt im Jahr 2018 18,2 g/kg TM Buttersäure, ein Ausreißer. Deshalb stieg der Durchschnittsgehalt der Sorte auf 9,2 g/kg TM. ETTLE et al. (2016) und VENDRAMINI 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 Sorghum-Typen Biomasse und Silo zeigten eine deutliche Proteolyse, weil der Ammoniakgehalt über 8 % des Gesamtstickstoffs einnahm. Die Zunahme der Kornreife führte zu einem Rückgang des Gehalts an einigen VOC und Ammoniak in Sorghum-Silagen (Tabelle 1).

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. Unsere Ergebnisse zeigten eindeutig, dass eine frühe Silierung in der Milchreife der Körner aufgrund der schlechteren Gärqualität für die Praxis nicht zu empfehlen ist.

3.3 Gärstoffverluste von Hirse-GPS

Aufgrund des geringen TM-Gehaltes bei früher und mittlerer Kornreife (unter 280 g/kg FM) entstand während der Gärung vorwiegend bei Sorghum-Sorten des Silotyps Gärstoff im Ausmaß von bis zu 12,4 % der einsilierten Frischmasse (Tabelle 2). Die Sorte Aristos enthielt im Inneren der Stängel ein schwammiges Mark, sodass der Gärstoff selbst unter den niedrigen TM-Gehalten durch das Mark vollständig gebunden wurde. Mit zunehmender Reife war der Anfall von Gärstoff im Sorghum-Silotyp rückläufig.

Der TM-Gehalt der beprobten Gärstoffe 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 Gärstoffe 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 Gärstoff insbesondere Phosphor (P) und Kalium (K) verloren. Je kg Gärstoff-FM waren 0,5 bis 0,8 g P bzw. rund 4,6 bis 8,2 g K enthalten. Der Anteil des gesamten Stickstoffs (N) im Gärstoff betrug zwischen 1,2 bis 2,1 g/kg FM. Das entspricht etwa der Hälfte des N-Gehaltes von Rindergülle. Der Ammoniakanteil im Gärstoff betrug im Durchschnitt weniger als 5 % des gesamten Stickstoffs. Mit dem Gärstoff 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 Gärstoffen war der pH-Wert entsprechend tief. Wir konnten pH-Werte von 3,8 bis 4,0 messen.

In den Auswertungen wurden mit Ausnahme der Gärstoff-FM keine Massenverluste angeführt. Bei Bedarf können aus den Daten der Tabelle 2 TM-Verluste, N-Verluste u.a. für unterschiedliche Silogrößenordnungen berechnet werden.

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

Tabelle 2: TM-Gehalt, Gärstoffverluste und chemische Charakteristika des Gärstoffes von Sorghum-GPS verschiedener Sorten bei unterschiedlichen Kornreifegraden im Vergleich zu Maissilage

	Parameter	Sorghum-GPS (TM-Gehalt)		Gärstoff (FM-Verlust)		Gärstoff (TM-Gehalt)		Gärstoff (XA-Gehalt)		Gärstoff (N-Gehalt)		Gärstoff (NH ₃ -Gehalt)		Gärstoff (Gehalt)		Gärstoff (VOC-Gehalt)		Gärstoff (pH-Wert)	
		\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}	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			
Aristos ^{Bm}	früh	249	35	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	mittel	281	24	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	spät	290	31	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Harmattan ^{Si}	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
Vegga ^{Si}	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 ^{Si/Ko}	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 ^{Si/Ko}	früh	298	5	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	mittel	319	17	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	spät	328	33	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ggaby ^{Ko}	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 (Kontrolle)	mittel	334	22	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

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

3.4 Weitere Aspekte zur Eignung von Sorghum als Futtermittel

Abseits von Gärqualität sowie Nährstoff- und Mineralstoffgehalten sind in Hirsen weitere relevante chemische Verbindungen erwähnenswert. Diese können für die Pflanzen selbst und in weiterer Folge für die Nutztiere von Bedeutung sein, darum werden einige davon nachstehend besprochen. Die HBLFA Raumberg-Gumpenstein hat im EIP-Projekt allerdings keine dieser Substanzen untersucht.

Tannine und Antioxidantien

Alle Hirsen (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) enthalten phenolische Säuren und die meisten auch Flavonoide. Phenolsäuren sind allgemein auch als Tannine oder Gerbstoffe bekannt. Nach HASLAM (1989) definiert man Tannine als wasserlösliche polymerische Phenole, die an Protein binden. Diese Bindung macht Proteine in gewisser Weise resistent gegenüber dem Angriff von Proteasen (VAN SOEST 1994). So gesehen können tanninhaltige Sorghum-Sorten wahrscheinlich unter etwas geringeren Proteolyseverlusten siliert werden. Nachteilig werden durch Tannine die mikrobiologische Aktivität und die Verdau-

lichkeit beeinflusst. Die Typen und Gehalte an polyphenolischen Substanzen sind in den Sorghumkörnern genetisch festgelegt. Nur Varietäten mit pigmentierter Samenschale enthalten kondensierte Tannine. Diese schützen die Körner am besten gegen Vogelfraß und Schimmelbildung, sind jedoch bitter. In der Vergangenheit wurden diesen Substanzen teilweise toxische Wirkungen bei der Verfütterung an Wiederkäuer nachgesagt (DYKES und ROONEY 2006). Neuere Erkenntnisse entkräften diese Befürchtungen. Betreffend diese Stoffe werden Sorghum-Sorten aufgrund ihrer Genetik und anhand der chemischen Analysen in drei Gruppen eingeteilt (ROONEY und MILLER 1982).

Phenolsäuren

Von den Phenolsäuren sind in Sorghum meist die Ferula- und die Cumarsäure mit den höchsten Gehalten zu finden. Daneben können noch weitere 10 phenolische Säuren in freier oder gebundener Form vorkommen. DYKES und ROONEY (2006) fanden in den Sorghum-Sorten Gehalte zwischen 4 und 300 mg/kg TM. In Kolbenhirsen (*Setaria italica* (L.) P.Beauv.) traten noch deutlich höhere Gehalte einzelner Phenolsäuren bis über 2.000 mg/kg TM auf.

Farbstoffe

Etwa 25 verschiedene Farbstoffe aus der Gruppe der Anthocyanide (Flavonoide) u.a. kommen in Sorghum hauptsächlich in blauer, purpurner und roter Ausprägung zur Geltung. Sorghum mit schwarzem Perikarp haben mit rund 10 mg/kg TM dreimal höhere Gehalte an 3-Deoxyanthocyaninen als rote oder braune Typen (AWIKA et al. 2004). Rotes Perikarp enthält Flavan-4-ol Komponenten, die eine wichtige Rolle bei der Schimmelresistenz einnehmen (AUDILAKSHMI et al. 1999).

Kondensierte Tannine

Die kondensierten Tannine, auch als Proanthocyanidine oder Procyanidine bekannt, beschränken sich auf die Sorghum-Typen II und III mit Gehaltswerten zwischen 0,2 und 3,5 g/kg TM (EARP et al. 1981). Nach der Aufnahme bewirken diese Tannine keine Toxizität für Nutztiere! Die toxische und dadurch problematische Tanninsäure kommt in Sorghum nicht vor. Sorghum-Sorten mit pigmentierter Samenschale weisen die höchsten Tanningehalte auf. Tannine und Polyphenole sind Antioxidantien und haben damit auch eine gewisse gesundheitsfördernde Wirkung (AWIKA und ROONEY 2004). Darüber hinaus wird speziell den Hochtanninsorten eine anti-karzinogene und anti-mutagene Wirkung nachgesagt (TURNER et al. 2006).

Blausäure

Bei Sorghum wird auch über das Vorkommen von Blausäure (HCN) bzw. Cyaniden berichtet (GORZ et al. 1977). Blausäure kommt vorwiegend in Keimlingen und jungen Pflanzen bis ca. 80 cm Wuchshöhe vor. Die Gehaltswerte können bis zu 1.400 mg HCN/kg TM betragen. Untersuchungen von getrockneten und bearbeiteten Sorghumkörnern unterschiedlicher Sorten und Reife ergaben HCN-Gehalte von 8 bis 38 mg/kg TM (OSUNTOGUN et al. 1989). Nach ETTLE et al. (2016) traten in den untersuchten Sorghum-Silagen HCN-Gehalte in Abhängigkeit des Erntejahres von 0 bis 181 mg/kg TM auf. Die Aufnahme an Blausäure bzw. Cyaniden von 1 bis 10 mg/kg Körpergewicht kann beim Wiederkäuer bereits zu stark toxischen Wirkungen bis hin zum Tod führen (CRAN 1985). Mit zunehmender Reife der Sorghumpflanzen sinken die HCN-Gehalte, sodass sie in der Regel keine Gefahr mehr für Mensch und Tier darstellen. Bei den heutzutage erhältlichen Zuchtsorten sollte ab der Milchreife der Körner keine HCN-Gefahr bestehen.

4. Schlussfolgerungen

Die Untersuchungen zur Siliereignung von Ganzpflanzen unterschiedlicher Sorghum-Typen an der HBLFA Raumberg-Gumpenstein ergaben ein ernüchternd mäßiges Ergebnis für die Silo-Hirsesorten Harmattan und Vegga. Grund dafür waren, unabhängig vom Erntezeitpunkt, ein zu geringer TM-Gehalt und in der Folge Gärproduktionsverluste mit entsprechenden Qualitätsverlusten. Die Biomasse-Hirsesorte Aristos fiel durch deutlich schlechtere Verdichtbarkeit und bei der Gärung durch etwas höheren Eiweißabbau auf, ansonsten war die Gärqualität ähnlich wie bei Maissilage. Diese Sorte konnte vor allem im Futterwert nicht überzeugen. Als Sorghum-GPS kämen für die Praxis am ehesten körnerreiche Sorten wie RGT Ggaby oder Sorten, die zwischen Silo- und Korntyp liegen, wie Primsilo bzw. NutriGrain, in Frage. Damit für die Silierung ein akzeptabler TM-Gehalt erreicht werden kann, ist die Beobachtung der mittleren Kornreife entscheidend. Eine frühe Ernte gegen Ende der Milchreife der Körner brachte nämlich allgemein ungünstigere Gärqualitäten hervor und ist daher nicht zu empfehlen. Die besten Ergebnisse hinsichtlich Gärerfolg von Sorghum-GPS konnten bei mittlerer bis später Teigreife der Körner erzielt werden.

5. Literatur

AUDILAKSHMI, S., J.W. STENHOUSE, T.P. REDDY und M.V.R. PRASAD, 1999: Grain mould resistance and associated characters of sorghum genotypes. *Euphytica* 107, 91-103.

AWIKA, J.M. und L.W. ROONEY, 2004: Sorghum phytochemicals and their potential impact on human health. *Phytochemistry*, 1199-1221.

AWIKA, J.M., L.W. ROONEY und R.D. WANISKA, 2004: Properties of 3-deoxyanthocyanins from sorghum. *J. Agric. and Food Chem.* 52, 4388-4394.

BOLSEN, K.K., K.J. MOORE, W.K. COBLENTZ, M.K. SIEFERS und J.S. WHITE, 2003: Sorghum silage. *Silage science and technology*, Agronomy 42, American Society of Agronomy, Crop Science Society of America, Soil Science Society of America, 31-94, 609-632.

CRAN, H.R., 1985: Suspected hydrocyanic acid poisoning in cattle. *Veterinary record*, 116, 349-350.

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. *Proceedings of the XIII International Silage Conference 2018*, University of Bonn (Germany), 24.-26. July 2018, 348-367.

DLG, 2012: *Praxishandbuch Futter- und Substratkonservierung*. 8. vollständig überarbeitete Auflage, DLG Verlag, Frankfurt am Main, 416 S.

DYKES, L. und L.W. ROONEY, 2006: Sorghum and millet phenols and antioxidants. *J. Cereal Sci.* 44, 236-251.

EARP, C.F., J.O. AKINGBALA, S.H. RING und L.W. ROONEY, 1981: Evaluation of several methods to determine tannins in sorghums with varying kernel characteristics. *Cereal Chemistry* 58, 234-238.

ETTLE, T., A. OBERMAIER und J. EDER, 2016: Futterwert von Ganzpflanzensilage aus Körnerhirsesorten in der Wiederkäuerfütterung. *Forum angewandte Forschung*, 12.-13.04.2016, 73-76.

GOBIET, A., 2019: Szenarien zum Klimawandel im Alpenraum. 21. Alpenländisches Expertenforum zum Thema Klimawandel im Alpenraum – Auswirkungen auf das Ökosystem Grünland und dessen Bewirtschaftung, HBLFA Raumberg-Gumpenstein, 26. und 27. März 2019, 1-2.

- GORZ, H.J., W.C. HAAG, J.E. SPECHT und F.A. HASKINS, 1977: Assay of p-hydroxybenzaldehyde as a measure of hydrocyanic acid potential in sorghums. *Crop Sci.* 17, 578-582.
- GROSS, F. und K. RIEBE, 1973: *Gärfutter – Betriebswirtschaft, Erzeugung, Verfütterung.* Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart, 283 S.
- HASLAM, E., 1989: *Plant Polyphenols. Vegetable Tannins Revisited.* Cambridge Univ. Press, Cambridge, p. 230.
- MANN, J.A., C.T. KIMBER und F.F. MILLER, 1983: The origin and early cultivation of sorghums in Africa, Bulletin 1454, Texas Agricultural Experiment Station, TX, USA.
- OSUNTOGUN, B.A., S.R.A. ADEWUSI, J.O. OGUNDIWIN und C.C. NWASIKE, 1989: Effect of cultivar, steeping, and malting on tannin, total polyphenol, and cyanide content of Nigerian sorghum. *Cereal Chem.* 66, 87-89.
- RESCH, R. und G. TERLER, 2019: Impact of maturity stages from different sorghum varieties on fermentation characteristics and leachate losses. 18th International Symposium Forage Conservation, Brno (Czech Republic), 13.-16. August 2019, 118-119.
- ROONEY, L.W., F.R. MILLER und J.V. MERTIN, 1982: Sorghum Grain Quality. Proceedings of the International Symposium on ICRISAT, Patancheru, AP, India, 143-162.
- TERLER, G., R. RESCH, S. GAPPMAIER, A. SCHAUER, J. KAUFMANN und L. GRUBER, 2020: Ertrag und Futterwert von Hirse-Ganzpflanzensilage in der Rinderfütterung im Vergleich zu Silomais. 47. Viehwirtschaftliche Fachtagung, 01.-02. April 2020, Bericht HBLFA Raumberg-Gumpenstein, Irdning-Donnersbachtal, 15-25.
- TURNER, N.D., A. DIAZ, S.S. TADDEO, J. VANAMALA, C.M. McDONOUGH, L. DYKES, M.E. MURPHY, R.J. CAROLL und L.W. ROONEY, 2006: Bran from black or brown sorghum suppresses colon carcinogenesis. *FASEB Journal* 20, A599.
- VAN SOEST, P.J., 1994: *Nutritional Ecology of the Ruminant.* Second Edition, Cornell University Press, New York, 476 P.
- VDLUFA, 1976: *Methodenbuch Band III – Die chemische Untersuchung von Futtermitteln,* inkl. Ergänzungsblätter 1983, 1988, 1993, 1997, VDLUFA-Verlag, Darmstadt.
- VENDRAMINI, 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. Proceedings of the XIII International Silage Conference 2018, University of Bonn (Germany), 24.-26. July 2018, 190-191.