



Nachweismethode für eine grünlandbasierte Fütterung

Schriftenreihe, Heft 24/2022



Untersuchung von ^{13}C im Rinderhaar zur
Bestimmung des Maisanteils in der Ration
sowie zur Eignung als quantitativer Nachweis
einer grünlandbasierten Fütterung

Dr. Stefan Kesting

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	7
2	Zielstellung	8
3	Material und Methoden	8
3.1	Probenahme, Probenaufbereitung und Erfassung von Fütterungs- und Tierparametern..	8
3.2	Isotopenanalyse	10
3.3	Statistik.....	10
4	Ergebnisse	11
4.1	Charakterisierung der teilnehmenden Betriebe	11
4.2	Rationszusammensetzung	12
4.3	Isotopenanalyse	14
4.3.1	Unterschiede im Haarprobentyp	15
4.3.2	Einfluss der Fütterung auf die $\delta^{13}\text{C}$ -Werte.....	15
5	Diskussion	20
6	Zusammenfassung	24
	Literaturverzeichnis	25

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Messfertig eingewogene Haarproben in zu Kügelchen verschlossenen Zinnkapseln.....	9
Abbildung 2: Gras-, Mais- und Grobfutteranteil in den Rationen der teilnehmenden Milchkuhbetriebe ..	13
Abbildung 3: Gras- und Krafffutteranteil (inkl. Safffutter) in den Rationen der teilnehmenden Milchkuhbetriebe.....	13
Abbildung 4: Vergleich der $\delta^{13}\text{C}$ -Werte im Deck- und Schwanzhaar der Rinder	15
Abbildung 5: Verhältnis von $\delta^{13}\text{C}$ -Werten im Deckhaare der Rinder und dem Maisanteil in der Ration	16
Abbildung 6: Verhältnis von $\delta^{13}\text{C}$ -Werten im Deckhaare der Rinder und dem Maisanteil in der Ration..	17
Abbildung 7: Verhältnis von $\delta^{13}\text{C}$ -Werten im Schwanzhaar der Rinder (Mittelwerte je Betrieb) und dem Maisanteil (% TS) in der Ration	18
Abbildung 8: Abhängigkeit der $\delta^{13}\text{C}$ -Werte im Rinderhaar vom Maisanteils (% TS) in der Ration	22

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Rasse, durchschnittliche Tagesmilchleistung und durchschnittliches Alter der jeweils acht untersuchten Kühe in den teilnehmenden Betrieben	11
Tabelle 2: Zusammensetzung der Futtermittelration in den teilnehmenden Betrieben	12
Tabelle 3: $\delta^{13}\text{C}$ -Werte von Deck- und Schwanzhaaren der Milchkühe, Mittelwert und Standardabweichung je Betrieb.....	14
Tabelle 4: Ausreißerbetrachtung: von der Berechnung des Einflusses der Fütterung auf die $\delta^{13}\text{C}$ -Werte ausgeschlossene Datensätze.....	16
Tabelle 5: Vorhersagewerte mit Standardfehler für $\delta^{13}\text{C}$ bei unterschiedlichem Maisanteil	19

Abkürzungsverzeichnis

CAM	Crassulaceen-Säurestoffwechsel (Crassulacean Acid Metabolism)
FuE	Forschungs- und Entwicklungsvorhaben
GAM	Generalisiertes Additives Modell
ILUC	Indirekte Landnutzungsänderungen (Indirect Land Use Change)
IQR	Interquartilsabstand (interquartile range)
IRMS	Isotopenverhältnis-Massenspektrometrie (Isotope-ratio mass spectrometer)
LfULG	Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie
PEPC	Phosphoenolpyruvatcarboxylase (Enzym)
REML	Restricted maximum likelihood
RuBisCO	Ribulose-1,5-bisphosphat-carboxylase (Enzym)
SD	Standardabweichung
SE	Standardfehler
TS	Trockensubstanz
TMR	Totale Mischration
VPDB	Vienna Pee Dee Belemnite, Internationaler Referenz-Standard für Kohlenstoff-Isotope

1 Einleitung

Eine grünlandbasierte Milch- und Fleischproduktion wird in mehrfacher Hinsicht als ökologisch vorteilhaft, insbesondere im Hinblick auf Klima- und Umweltschutzziele, bewertet. Die Nutzung von Grünlandaufwüchsen in der Fütterung sichert zum einen den Grünlanderhalt, während gleichzeitig Ackerfläche für andere Nutzungen freigestellt wird. Grünland weist zahlreiche positive Umwelteffekte im Bereich Ressourcenschutz (Wasser, Boden) auf. Darüber hinaus speichern Grünlandböden mehr Kohlenstoff als Acker- und Waldböden (JACOBS ET AL. 2018). Die Verlagerung der Futterproduktion vom Acker auf das Grünland (weniger Silomais) führt daher bei Milch- und Rindfleischprodukten zu einer produktbezogenen Erhöhung der Kohlenstoffspeicherung (Carbon Farming). Aufgrund der hohen Proteingehalte im Gras kann eine grünlandbasierte Fütterung gleichzeitig zur Reduzierung von Futtermittelimporten (Eiweißfuttermittel) und so zur Vermeidung von ILUC-Effekten beitragen. Mit einer grünlandbasierten Fütterung wird i. d. R. eine geringere Milchleistung in Kauf genommen. Betrachtet man die Milch- und Rindfleischerzeugung als Gesamtsystem führt eine geringere Leistungshöhe (Optimum bei 8.000 kg Milch) zu einem geringeren CO₂-Footprint, (FLACHOWSKY 2008).

Neben den positiven Klima- und Umweltwirkungen werden mit der grünlandbasierten Tierproduktion auch eine höhere Produktqualität sowie ein Mehr an Tierwohl in Verbindung gebracht. In diesem Bereich ist zukünftig mit einer wachsenden Nachfrage zu rechnen.

Aufgrund der geringeren Wirtschaftlichkeit von Grünland- gegenüber Maissilagen, besitzen Grünlandaufwüchse aktuell nur eine geringe Bedeutung in der Fütterung. Übliche Grobfuttermittelnationen in der sächsischen Milchproduktion bestehen aktuell zu etwa 60 bis 70 % TS aus Maissilage. Zudem wird Grassilage zu einem großen Teil als Feldfutter produziert, während das Potenzial des Grünlands nicht ausgeschöpft wird. Eine finanzielle Förderung kann daher eine sinnvolle Option sein, um eine grünlandbasierte Milch- und Fleischproduktion in Sachsen zu etablieren.

In der Schweiz gibt es seit 2014 ein vergleichbares Programm zur Förderung einer graslandbasierten Milch- und Fleischproduktion - GMF (MACK ET AL. 2017). Die Anforderungen an die Ration sind 75 % TS (in der Bergzone 85 % TS) Gras und maximal 10 % TS Kraftfutter. Neben Grünland werden hierbei auch Feldfutterkulturen und Zwischenfrüchte angerechnet und gefördert. Das Programm wird sehr gut angenommen und seitens der Verbraucher nachgefragt.

Für die Etablierung und Förderung derartiger Produktionssysteme bedarf es einer Strategie zur Kontrolle der Vorschriften. Bei der GMF-Förderung (Schweiz) erfolgt der Nachweis durch eine Futterbilanzierung, die mit Hilfe eines standardisierten Excel-Tools¹ durchgeführt wird. Für eine grünlandbasierte Produktion existieren in Deutschland noch keine verbindlichen Kriterien und es gibt auch kein Gütesiegel, welches das Grünland in der Fütterung so explizit in den Vordergrund rückt. In Vorbereitung auf die neue Förderperiode wurden daher durch das LfULG Kriterien für eine grünlandbasierte Fütterung (Milchrinder) erarbeitet und zur Diskussion gestellt.

¹ <https://www.blw.admin.ch/blw/de/home/instrumente/direktzahlungen/produktionssystembeitraege/beitrag-fuer-graslandbasierte-milch--und-fleischproduktion.html>

2 Zielstellung

Ziel des Forschungs- und Entwicklungsvorhabens ist es zu prüfen, ob die Stabilisotopenanalyse von Haarproben ein praxistaugliches Verfahren mit hinreichender Genauigkeit darstellt, um retrospektiv auf die Zusammensetzung des Futters zu schließen. Speziell geht es dabei um die Unterscheidung von C₃- (z. B. Grünlandaufwüchse) und C₄-Pflanzen (z. B. Mais, Zuckerrohr, Hirse) mit Hilfe der ¹³C-Signatur. Durch eine Haaranalyse lässt sich der Anteil von C₃- und C₄-Pflanzen im Futter quantitativ nachweisen (HAMMES ET AL. 2017, HERWIG 2010, MINSON ET AL. 1975, SCHWERTL 2005, SCHWERTL ET AL. 2003, 2005, WEST ET AL. 2004, WITTMER ET AL. 2010). Auch die Untersuchung von Milch-, Urin- oder Kotproben lässt Rückschlüsse auf die Fütterung zu (HERWIG 2010, JONES ET AL. 1979, KNOBBE ET AL. 2006, WITTMER ET AL. 2010). Hierbei reagiert das Isotopensignal jedoch innerhalb weniger Tage auf eine Umstellung der Fütterung, während die δ¹³C-Werte im Haar Informationen über einen längeren Zeitraum (die Zeitdauer des Haarwachstums) enthalten. Dies ist ein wesentlicher Vorteil der Haaranalyse, zumal die Haare recht beständig gegenüber Umwelteinflüssen sind und das Isotopensignal nahezu dauerhaft abgespeichert werden kann (TOUZEAU ET AL. 2014).

Bei den C₄-Pflanzen wird es sich in aller Regel um Mais (Maissilage, Körnermais, Proteine auf Maisbasis) handeln. Eine Unterscheidung von Grünland, Feldfutter oder Getreide (Krafffutter) ist mit dieser Methode nicht möglich, da es sich jeweils um C₃-Pflanzen handelt. Das Verhältnis dieser Komponenten kann jedoch mit hinreichender Genauigkeit durch eine betriebliche Grobfutterbilanz abgeschätzt werden. Dies wird hier nicht weiter betrachtet.

3 Material und Methoden

Das Forschungs- und Entwicklungsvorhaben ist in zwei Arbeitspakete gegliedert, welche im Zeitraum 06/2020 bis 09/2021 realisiert wurden. Arbeitspaket 1 umfasste die Probennahme und -aufbereitung. In 20 Praxisbetrieben wurden bei jeweils acht Kühen eine Deck- und eine Schwanzhaarprobe genommen sowie die Fütterungsparameter erfasst. Die Stabilisotopenanalyse (¹³C) erfolgte im Anschluss im Arbeitspaket 2. Die Durchführung der Arbeiten übernahmen die LKS - Landwirtschaftliche Kommunikations- und Servicegesellschaft mbH Niederwiesa (AP 1, 06/2020 bis 7/2021) sowie die Isolab GmbH Schweitenkirchen (AP 2, 08-09/2021).

3.1 Probenahme, Probenaufbereitung und Erfassung von Fütterungs- und Tierparametern

Betriebsaquis und Probennahme

Die LKS besitzt langjährige Erfahrungen und Kenntnisse über die Fütterung sächsischer Milchviehbetriebe. Daher wurde die Aquis der teilnehmenden Betriebe von der LKS übernommen. Als wichtigste Vorgabe sollte ein möglichst weites Spektrum bezüglich der Maisfütterung abgedeckt werden. Die Teilnahme der Betriebe erfolgte anonym, d. h. die konkreten Betriebe sind nur dem Auftragnehmer bekannt. Dadurch sollten die Teilnahmebereitschaft erhöht und datenschutzrechtliche Auflagen vermieden werden. Innerhalb der Betriebe wurden jeweils acht Kühe nach folgenden Kriterien ausgewählt: die Tiere sollten sich mindestens in der zweiten Laktation sowie der zweiten Laktationshälfte befinden und das vergangene Jahr im eigenen Betrieb mit der üblichen Futtermischung gefüttert worden sein. Bei jeder Kuh wurden eine Deckhaarprobe aus dem Schulter- oder Flankenbereich, sowie eine Schwanzhaarprobe aus mindestens zehn Schwanzspitzenhaaren durch Auszupfen entnommen. Anhand der Haarwurzel sollte eine Unterscheidung zwischen aktiven (anagene) und ruhenden (telogenen) Haaren möglich sein. Für die Analyse

der Schwanzhaare sollten nur aktive Haare verwendet werden. Die Probennahme fand im Zeitraum 30.07.2020 bis 22.10.2020 (Betriebe 1-16) sowie zwischen dem 15.04.2021 und 01.07.2021 (Betriebe 17-20) statt.

Aufbereitung der Proben

Die Deck- und Schwanzhaarproben wurden bis zur Aufbereitung bei -18 °C gelagert. Nach dem folgenden Schema wurden sie gewaschen und entfettet: Reinigung im Ultraschallbad mit destilliertem Wasser und anschließender Trocknung für 48 Stunden bei 40 °C, Einweichen der Haare in Methanol-Chloroform-Gemisch (2:1) für zwei Stunden (dabei mehrmals umrühren), Einweichen für 30 Minuten und Spülen mit destilliertem Wasser, Trocknung für 48 Stunden bei 40 °C.

Um eine repräsentative Einwaage zu ermöglichen, wurden die Proben mit Hilfe einer Kugelmühle MM 400 (Firma Retsch) mit drei Zirkonoxidkugeln (Durchmesser 10 mm) bei 30 Schwingungen pro Minute für vier Minuten auf eine Endfeinheit von ca. 50 µm homogenisiert. Die Einwaage von 2 mg homogenisiertem Probenmaterial erfolgte auf einer Halbmikrowaage (Sartorius R 180 D, d = 0,01 mg) in Zinnkapseln (4 x 6 mm) auf 0,1 mg Genauigkeit mit einer vierfachen Wiederholung². Die Zinnkapseln wurden mit Hilfe einer Pinzette verschlossen und in speziellen Boxen aufbewahrt (Abbildung 1).

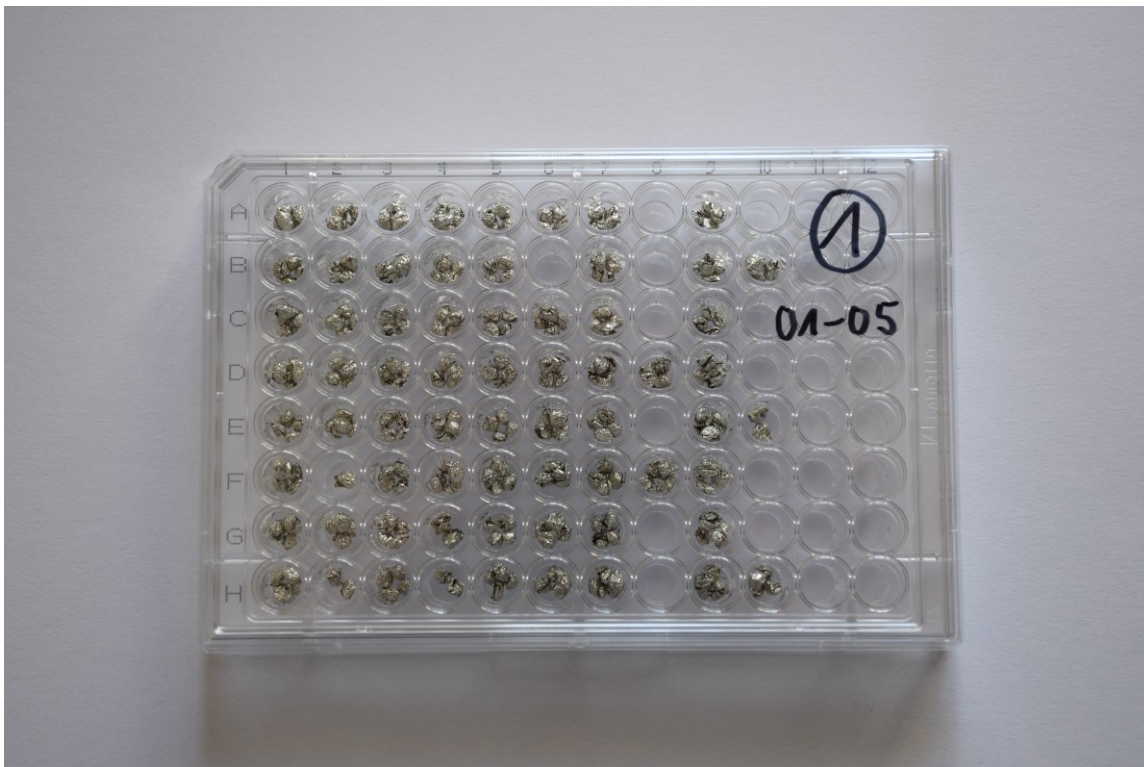


Abbildung 1: Messfertig eingewogene Haarproben in zu Kügelchen verschlossenen Zinnkapseln

² Während der Untersuchung stellte sich heraus, dass das gewählten Aufbereitungsverfahren mit Kugelmühle zu größeren Masseverlusten führt. Dadurch war die angegebene Menge an Schwanzhaaren nicht immer für eine Vierfacheinwaage ausreichend. Die Menge an Schwanzhaaren wurde daher im Verlauf der Untersuchung erhöht.

Erfassung betriebsbezogener Daten

Im Betrieb wurden für jede Kuh die Rasse, das Alter in Monaten, der Laktationstag, die Tagesmilchleistung sowie die Daten zur Ration erfasst. Die Rationsangaben umfassen die Einzelkomponenten und nach Möglichkeit die Zusammensetzung des Kraftfutters. Leider war es nicht möglich Angaben zur Jahresration der einzelnen Kühe zu erhalten.

3.2 Isotopenanalyse

Die messfertig eingewogenen Haarproben wurden mittels Isotopenverhältnis-Massenspektrometrie (IRMS) analysiert. Dabei wird das Isotopenverhältnis $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ relativ zu dem Standard V-PDB angegeben (Angabe in Promille).

$$\delta^{13}\text{C Probe} = \frac{^{13}\text{C}/^{12}\text{C Probe}}{^{13}\text{C}/^{12}\text{C VPDB}} - 1 \quad (1)$$

VPDB Vienna Pee-Dee-Belemnit Standard, $^{13}\text{C}/^{12}\text{C VPDB} = 0,01118021$

Hintergrund

Kohlenstoff liegt in der Atmosphäre hauptsächlich in Form der stabilen Isotopen ^{12}C (98,89 %) und ^{13}C (1,11 %) vor. Bei der Photosynthese wird Kohlenstoff in Form von CO_2 mit Hilfe des Enzyms RuBisCO aufgenommen. Dieses bevorzugt leichte $^{12}\text{CO}_2$ -Moleküle, d. h. es diskriminiert gegenüber $^{13}\text{CO}_2$. In der Folge reichert sich ^{12}C in der Pflanze an. Bei C_4 -Pflanzen (Mais, Zuckerrohr, Hirse) erfolgt die CO_2 -Fixierung in zwei Schritten. Für die Vorfixierung ist das Enzym PEP-Carboxylase (PEPC) zuständig, welches weniger stark gegenüber $^{13}\text{CO}_2$ diskriminiert. C_3 - und C_4 -Pflanzen lassen sich daher durch die Bestimmung des $\delta^{13}\text{C}$ -Wertes unterscheiden (STRASBURGER 1991). Bei C_3 -Pflanzen liegt der $\delta^{13}\text{C}$ -Wert zwischen -32 und -20 ‰ und bei C_4 -Pflanzen zwischen -17 und -9 ‰ (BOWSHER ET AL. 2008).

Durch die $\delta^{13}\text{C}$ -Analyse des Futters kann auf den Anteil an C_4 -Pflanzen im Futter rückgeschlossen werden. In tierischen Produkten wird das Isotopenverhältnis des Futters, unter Berücksichtigung eines Trophiestufeneffektes, abgebildet. D. h. die Untersuchung des tierischen Produktes (Haarprobe) kann ebenso Auskunft über den Anteil an C_4 -Pflanzen im Futter liefern.

Eine weiterer Photosyntheseweg, der zu einer Kohlenstoff-Isotopenfraktionierung führt, ist der Crassulaceen-Säurestoffwechsel (CAM). Während bei C_4 -Pflanzen eine räumliche Trennung der CO_2 -Fixierungsschritte vorliegt, erfolgt hier eine zeitliche Trennung (Tag-Nacht) (STRASBURGER 1991). CAM-Pflanzen, zu denen Vertreter aus der Familie der Dickblattgewächse (Crassulaceae), der Kakteengewächse (Cactaceae) u. a. zählen, kommen v. a. in ariden Gebieten vor und spielen in der heimischen Fütterung keine Rolle.

3.3 Statistik

Zunächst wurden die erfassten Merkmalen der Fütterung als auch die $\delta^{13}\text{C}$ -Werte hinsichtlich vorhandener Korrelationen untersucht. Bis auf den Vergleich der $\delta^{13}\text{C}$ -Werte von Deck- und Schwanzhaaren erfolgte die Auswertung auf Basis aggregierter Werte auf Betriebsebene. Für die weitergehende Analyse kamen einfache lineare Modelle als auch generalisierte, additive Modellen (GAM) zum Einsatz.

Sämtliche Berechnungen wurden mit dem Statistikprogramm R (R CORE TEAM 2021) durchgeführt. Für die Regressionsanalyse wurden die Funktionen `lm` (package `stats`) und `gam` (package `mgcv`) verwendet.

4 Ergebnisse

4.1 Charakterisierung der teilnehmenden Betriebe

Wie geplant konnten 20 Milchviehbetriebe für die Teilnahme an der Untersuchung gewonnen werden. Die am häufigsten vertretenen Rassen waren Holstein-Schwarzbunt (SBT) und Holstein-Rotbunt (RBT). Zwei Betriebe hielten Fleckvieh (FL, CH-FL), ein Betrieb Braunvieh (BV) und zwei Betriebe eine Kreuzung aus Holstein x Fleischrind (XFM) bzw. Holstein x Jersey (XMM). Die durchschnittliche Tagesmilchleistung der untersuchten Kühe je Betrieb betrug 27,2 l bei einem Maximum von 46,9 l und einem Minimum von 8,4 l. Das Durchschnittsalter lag bei 57 Monaten und rangierte zwischen 30 und 77 Monaten im Mittel der acht Kühe³. Die Daten aller 20 Betriebe sind in Tabelle 1 zusammengefasst.

Tabelle 1: Rasse, durchschnittliche Tagesmilchleistung und durchschnittliches Alter der jeweils acht untersuchten Kühe in den teilnehmenden Betrieben

Betrieb	Rasse	Tagesmilchleistung [l]	Alter [Monate]
1	SBT	40,3 ± 6,6	48 ± 19
2	SBT, RBT	46,9 ± 7,8	54 ± 17
3	SBT	25,5 ± 11,2	69 ± 7
4	SBT	25,9 ± 6,3	48 ± 23
5	BV	19,8 ± 5,9	74 ± 12
6	SBT, RBT	18,1 ± 7,1	30 ± 4
7	SBT	31,6 ± 6,1	30 ± 3
8	SBT	16,9 ± 9,4	50 ± 27
9	SBT	25,1 ± 5,7	70 ± 23
10	SBT	27,9 ± 8,3	69 ± 16
11	SBT, RBT	40,1 ± 3,3	53 ± 10
12	SBT	27,4 ± 6,1	54 ± 6
13	SBT, RBT, XFM	32,4 ± 4,4	53 ± 24
14	SBT, RBT, XMM	29,1 ± 7,2	71 ± 13
15	SBT, CH FL	33,1 ± 3,5	49 ± 4
16	SBT	30,8 ± 7,4	70 ± 19
17	FL	8,4 ± 3,0	77 ± 31
18	SBT	22,3 ± 6,9	62 ± 24
19	SBT	14,9 ± 5,8	61 ± 15
20	SBT	27,8 ± 1,5	55 ± 12

³ Die Angaben zur Tierleistung und dem Alter sind nicht repräsentativ für den Gesamtbetrieb.

4.2 Rationszusammensetzung

Die untersuchten Betriebe bzw. Tiere wiesen ein weites Spektrum hinsichtlich der Fütterung und Leistung auf (Tabelle 2). Der Grobfutteranteil an der Ration lag zwischen 46,5 und 99,6 % TS (Median 54,6 %), der Anteil von Kraft- und Saffutter reichte entsprechend von 0 bis 52,5 % TS (Median 43,1 %). Beim Einsatz von Gras und Mais gab es eine große Spannweite, die beim Mais von 0 bis 37,0 % (Median 22,5 %) und beim Gras von 0 bis 99,6 % TS (Median 28,3 %) reichte. Mais wurde hauptsächlich als Maissilage verfüttert. Zum Teil fand sich Mais aber auch im Kraffutter (Körnermais). Dies wurde bei der Angabe des Maisanteils nach Möglichkeit berücksichtigt⁴.

Tabelle 2: Zusammensetzung der Futterrations in den teilnehmenden Betrieben, alle Angaben in % TS

Betrieb	Maisanteil [% TS]	Grasanteil [% TS]	Grobfutter [% TS]	Kraft-/Saffutter ⁵ [% TS]
1	37,0	7,7	48,3	50,1
2	23,0	28,0	53,1	43,7
3	20,9	-	50,3	49,3
4	24,0	39,9	67,2	30,0
5	-	77,0	77,0	22,2
6	29,2	28,1	60,3	34,5
7	34,8	25,7	57,6	41,5
8	22,9	28,5	52,9	44,9
9	19,2	20,9	54,1	44,4
10	24,1	23,4	51,4	45,2
11	34,8	21,0	54,3	44,6
12	29,0	18,8	51,8	48,2
13	36,3	15,5	54,8	42,4
14	13,7	37,7	53,4	43,7
15	22,2	30,8	55,0	42,0
16	-	45,8	46,5	52,5
17	-	99,6	99,6	-
18	3,6	95,8	95,8	3,6
19	9,8	77,7	94,6	-
20	16,2	59,7	75,9	22,5

Abbildung 2 zeigt den Zusammenhang zwischen den Gras-, Mais-, und Grobfutteranteilen in den Rationen. Mit steigendem Maisanteil nehmen der Gras- als auch der Grobfutteranteil ab. Eine Ausnahme bildet Betrieb 16, der bei Verzicht auf Maisfütterung einen relativ geringen Grobfutteranteil in der Ration aufweist. Dies ist durch einen hohen Anteil an Saffutter (Biertreber) zu erklären. Die Betriebe mit einem hohen Maisanteil in der Ration fütterten i. d. R. mehr Kraffutter, Betriebe mit einem hohen Grasanteil setzten dagegen weniger Kraffutter ein (Abbildung 3).

⁴ Für 10 Betriebe lag eine detaillierte Zusammensetzung der Kraffuttermischung vor (Hofmischung), 4 Betriebe verwendeten Handelsmischungen, 3 Betriebe machten keine näheren Angaben.

⁵ Folgende Betriebe setzen Saffutter ein: 3, 10, 13, 16 (Biertreber), 4 (Kartoffeln), 12 (Biertrebersilage)

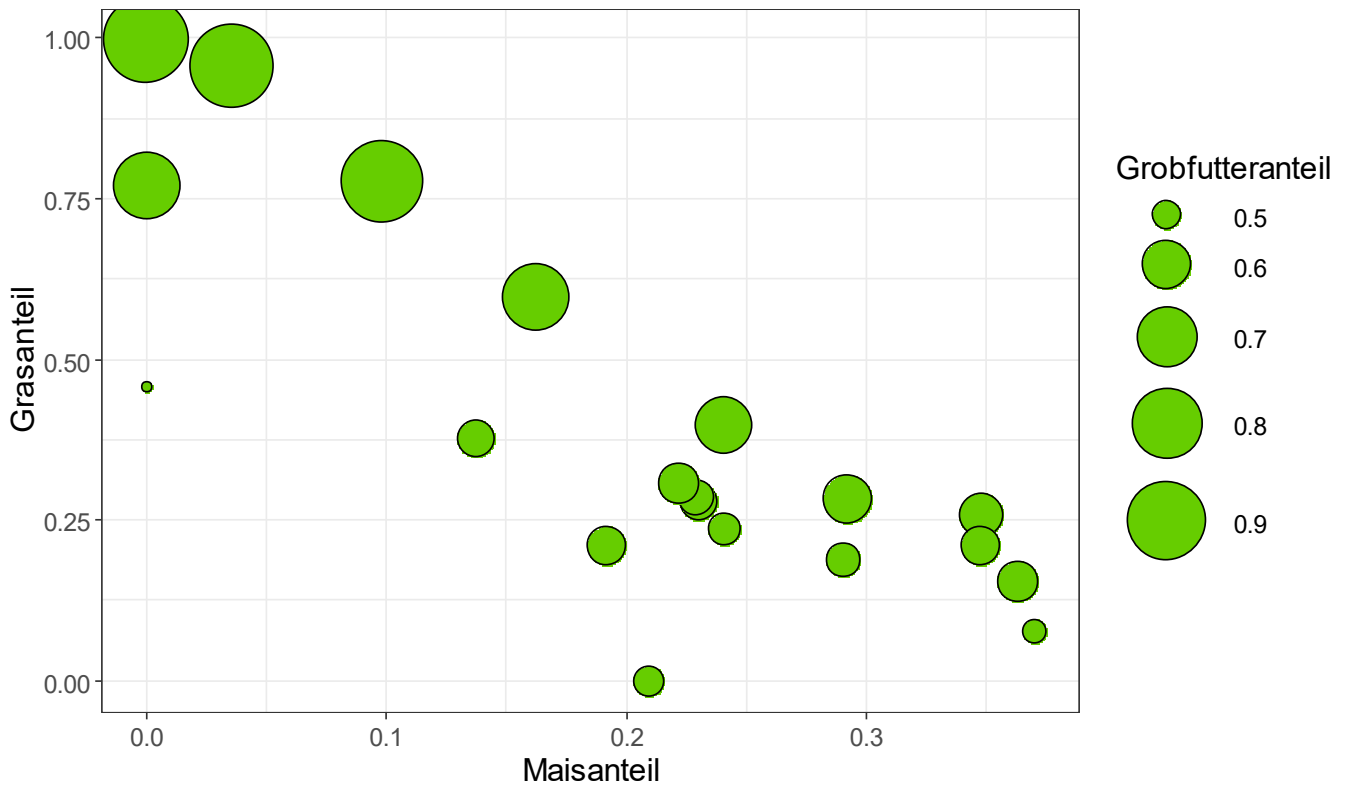


Abbildung 2: Gras-, Mais- und Grobfutteranteil in den Rationen der teilnehmenden Milchkuhbetriebe

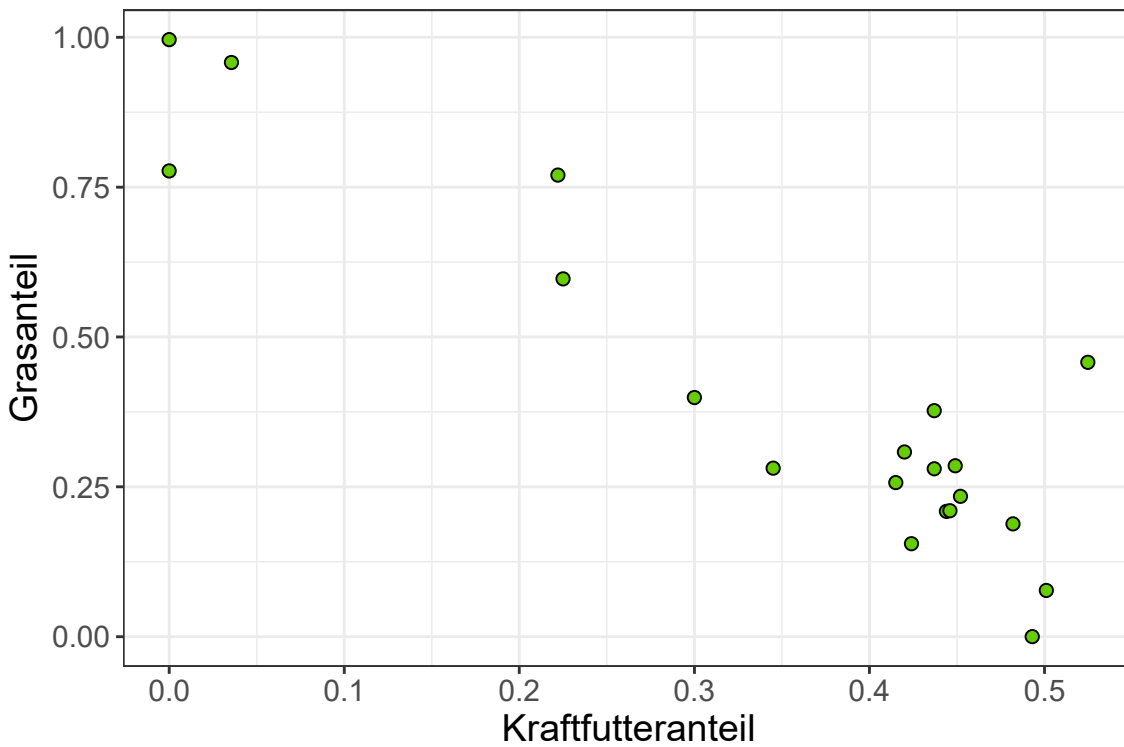


Abbildung 3: Gras- und Krafffutteranteil (inkl. Saftfutter) in den Rationen der teilnehmenden Milchkuhbetriebe

4.3 Isotopenanalyse

Die massenspektrometrisch ermittelten $\delta^{13}\text{C}$ -Werte der Rinderhaare (Einzelwerte) liegen in einem Bereich von -16,78 bis -25,92 ‰ vs. V-PDB. Die Standardabweichung der Messwerte für die einzelne Haarprobe eines Tieres (i. d. R. vierfache Messwiederholung⁶) beträgt im Mittel 0,057 ‰.

Tabelle 3: $\delta^{13}\text{C}$ -Werte von Deck- und Schwanzhaaren der Milchkühe, Mittelwert und Standardabweichung je Betrieb, $\delta^{13}\text{C}$ [‰] vs. V-PDB

Betrieb	$\delta^{13}\text{C}$ [‰] - Deckhaar	N	$\delta^{13}\text{C}$ [‰] - Schwanzhaar	N
1	-20,3 ± 0,80	8	-20,7 ± 0,32	8
2	-20,5 ± 0,27	8	-20,8 ± 0,21	8
3	-20,9 ± 0,41	8	-21,0 ± 0,24	7
4	-23,0 ± 1,22	8	-22,7 ± 1,71	2
5	-24,2 ± 0,31	8	-24,5 ± 0,39	3
6	-22,2 ± 1,54	8	-23,1 ± 1,66	4
7	-19,8 ± 1,67	8	-19,9 ± 1,39	8
8	-21,6 ± 1,04	8	-20,9 ± 0,38	7
9	-21,8 ± 0,21	8	-	-
10	-20,8 ± 0,20	8	-20,9 ± 0,03	2
11	-20,1 ± 0,17	8	-19,5 ± 0,17	4
12	-20,1 ± 0,12	8	-20,2 ± 0,16	6
13	-21,2 ± 0,25	8	-21,3 ± 0,65	8
14	-21,0 ± 0,15	8	-21,1 ± 0,14	6
15	-21,4 ± 0,27	8	-21,4 ± 0,33	6
16	-25,2 ± 0,20	8	-25,1 ± 0,21	6
17	-25,6 ± 0,27	8	-24,7 ± 1,48	7
18	-21,1 ± 0,47	8	-21,3 ± 0,73	8
19	-22,3 ± 0,63	8	-22,7 ± 0,21	7
20	-21,2 ± 1,51	8	-20,9 ± 1,42	7

Tabelle 3 zeigt die aggregierten, mittleren $\delta^{13}\text{C}$ -Werte pro Betrieb. Einige Betriebe weisen eine vergleichsweise hohe Streuung zwischen den untersuchten Tieren auf. Bei den Betrieben 4, 6, 7 und 20 liegt die Standardabweichung bei den Deck- als auch Schwanzhaarproben über 1 ‰, beim Betrieb 8 trifft dies zumindest auf die Deckhaarproben zu. Für die übrigen Betriebe liegt die Streuung durchschnittlich bei 0,37 ‰.

Die Streuung innerhalb einer einzelnen Haarprobe ist im Vergleich dazu sehr gering (0,057 ‰). Daraus lässt sich ableiten, dass die Methode der Stabilisotopenanalyse sehr genaue, reproduzierbare Ergebnisse liefert, und dass die Unterschiede zwischen den Tieren nicht zufällig sind.

⁶ Wie bereits im Kapitel 3.1 erläutert, reichte die Menge der aufbereiteten Schwanzhaarproben oft nicht für die in vierfacher Wiederholung geplante Isotopenanalyse aus. Daher ergibt sich eine unterschiedliche Anzahl an Datensätzen bei den Deckhaar- und Schwanzhaarproben (Tabelle 3). Für die Deckhaarproben liegen jeweils vollständige Datensätze vor.

4.3.1 Unterschiede im Haarprobentyp

Von jedem Einzeltier wurde eine Deck- und eine Schwanzhaarprobe analysiert. Die lineare Regression zeigt einen hochsignifikanten Zusammenhang zwischen den $\delta^{13}\text{C}$ -Werten der Deck- und Schwanzhaare (Abbildung 4). Mit einem Korrelationskoeffizienten von $r = 0,96$ ist der Zusammenhang sehr stark. Bei den Deckhaaren liegen die Werte zwischen $-19,8$ und $-25,6$ ‰, bei den Schwanzhaaren zwischen $-19,5$ und $-25,2$ ‰.

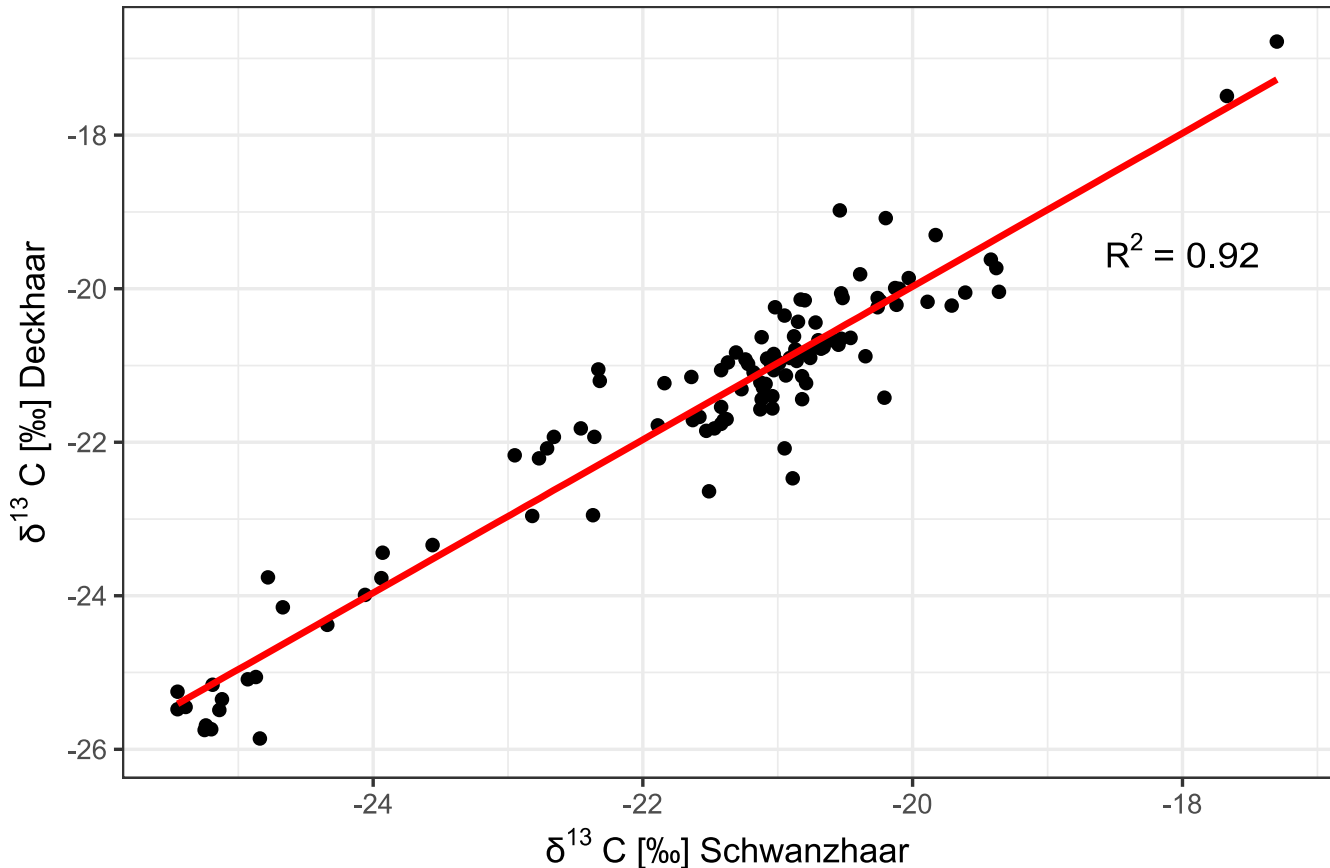


Abbildung 4: Vergleich der $\delta^{13}\text{C}$ -Werte im Deck- und Schwanzhaar der Rinder, lineare Regression: $R^2 = 0,92$; $y = 0,998x - 0,004$, $p < 0,001$

4.3.2 Einfluss der Fütterung auf die $\delta^{13}\text{C}$ -Werte

Aufgrund der sehr hohen Korrelation zwischen den $\delta^{13}\text{C}$ -Werten im Deck- und Schwanzhaar, wurde für die weitere Auswertung vorrangig der vollständige Datensatz der Deckhaarproben verwendet. Mit den Daten der Schwanzhaarproben kommt man auf vergleichbare Ergebnisse. Das Ergebnis der Regressionsanalyse ($\delta^{13}\text{C}$ in Abhängigkeit vom Maisanteil in der Ration) wird zumindest grafisch für beide Varianten dargestellt.

Ausreißerbetrachtung

Innerhalb der Daten eines Betriebes (zwischen den Kühen) gab es z. T. eine erhebliche Streuung der $\delta^{13}\text{C}$ -Werte (vgl. Tabelle 3). Daher wurden Ausreißer detektiert, welche beim Vergleich der ^{13}C -Signatur und der Fütterung unberücksichtigt blieben.

Die Betriebe 4, 6 und 8 wurden aufgrund ihrer besonders hohen Streuung ($\text{SD} > 1$ ‰) komplett ausgeschlossen. Ebenso blieb der Betrieb 18 unberücksichtigt, da die Angaben zur Futtermischung nicht plausibel

erschieden. Als weiteres Kriterium für Ausreißer wurde der 1,5-fache Interquartilsabstand (IQR) herangezogen. Danach sind vier Einzelproben als Ausreißer zu betrachten. In Tabelle 4 sind die entsprechenden Datensätze mit Begründung des Ausschlusses aufgeführt. Insgesamt blieben damit 36 von 160 Datensätzen bei der folgenden Analyse unberücksichtigt.

Tabelle 4: Ausreißerbetrachtung: von der Berechnung des Einflusses der Fütterung auf die $\delta^{13}\text{C}$ -Werte ausgeschlossene Datensätze.

Betrieb	Kuh-Nr.	Begründung	N
4	1-8	hohe Streuung, SD > 1 ‰	8
6	1-8	hohe Streuung, SD > 1 ‰	8
7	1, 3	Ausreißer, > 1,5 IQR	2
8	1-8	hohe Streuung, SD > 1 ‰	8
18	1-8	Futtermenge nicht plausibel	8
19	4	Ausreißer, > 1,5 IQR	1
20	8	Ausreißer, > 1,5 IQR	1

Abbildung 5 zeigt den Zusammenhang zwischen dem Maisanteil in der Ration und den $\delta^{13}\text{C}$ -Werten im Deckhaar. Dargestellt werden die Einzelwerte je Tier. Wie zu erwarten, steigt $\delta^{13}\text{C}$ mit steigendem Maisanteil an. Bei maisloser Fütterung liegt der $\delta^{13}\text{C}$ -Wert bei durchschnittlich -25,0 ‰, bei den vier Betrieben mit den höchsten Maisanteilen (> 34 % TS Mais) wird ein Wert von durchschnittlich -20 ‰ erreicht.

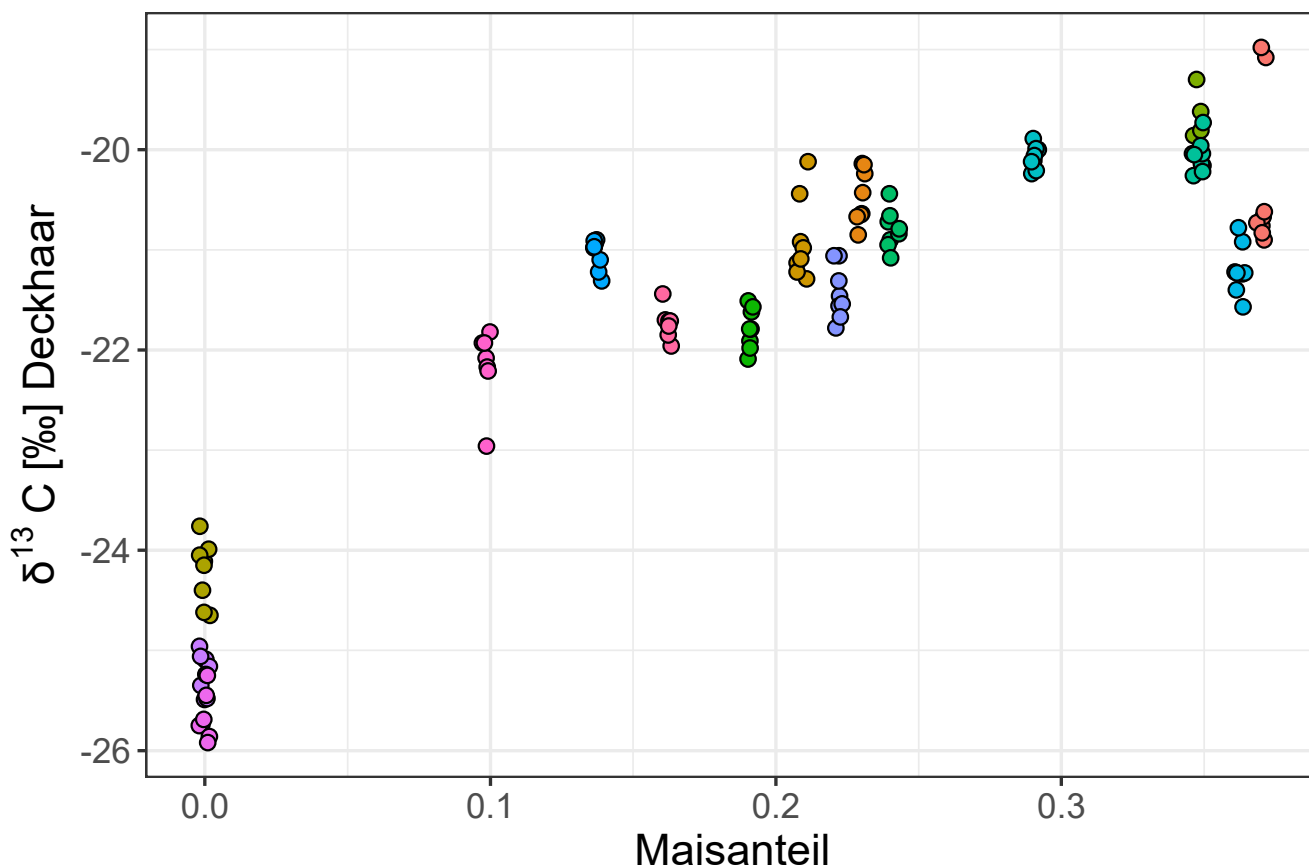


Abbildung 5: Verhältnis von $\delta^{13}\text{C}$ -Werten im Deckhaare der Rinder (Einzelwerte) und dem Maisanteil (% TS) in der Ration. Unterschiedliche Betriebe sind durch unterschiedliche Farben dargestellt.

Der Zusammenhang zwischen dem Maisanteil und dem $\delta^{13}\text{C}$ -Wert wurde durch eine Regressionsanalyse näher untersucht. Da die einzelnen Tiere keine unabhängigen Wiederholungen darstellen, wurden hierfür die Mittelwerte je Betrieb herangezogen. Die lineare Regression zeigt einen relativ starken, positiven Zusammenhang mit einem Bestimmtheitsmaß von $R^2 = 0,78$ (Abbildung 6, durchgezogene Linie, $y = 12,5 x - 24,2$; $p < 0,001$).

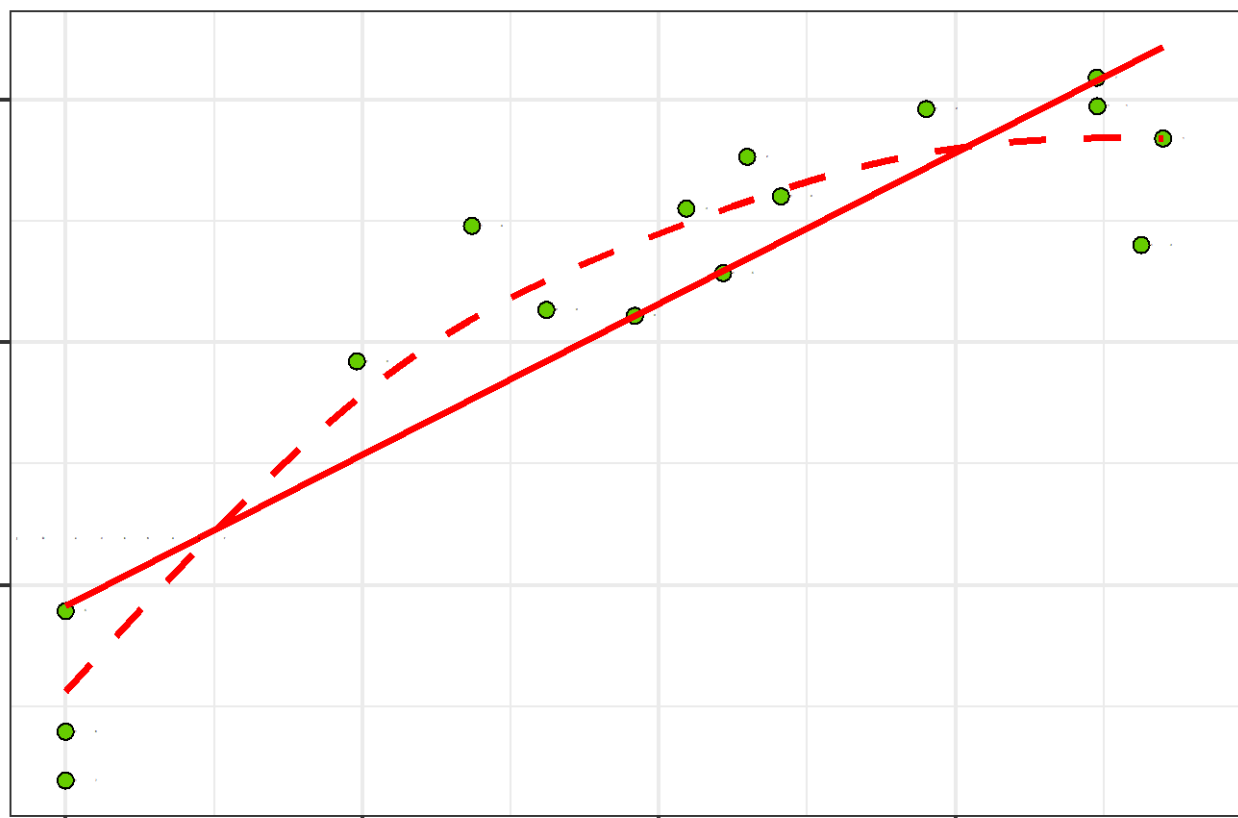


Abbildung 6: Verhältnis von $\delta^{13}\text{C}$ -Werten im Deckhaare der Rinder (Mittelwerte je Betrieb) und dem Maisanteil (% TS) in der Ration. lineare Regression: $R^2 = 0,78$; $y = 12,5 x - 24,2$; $p < 0,001$; nichtparametrische Regression (gestrichelt): GAM mit REML-Schätzer

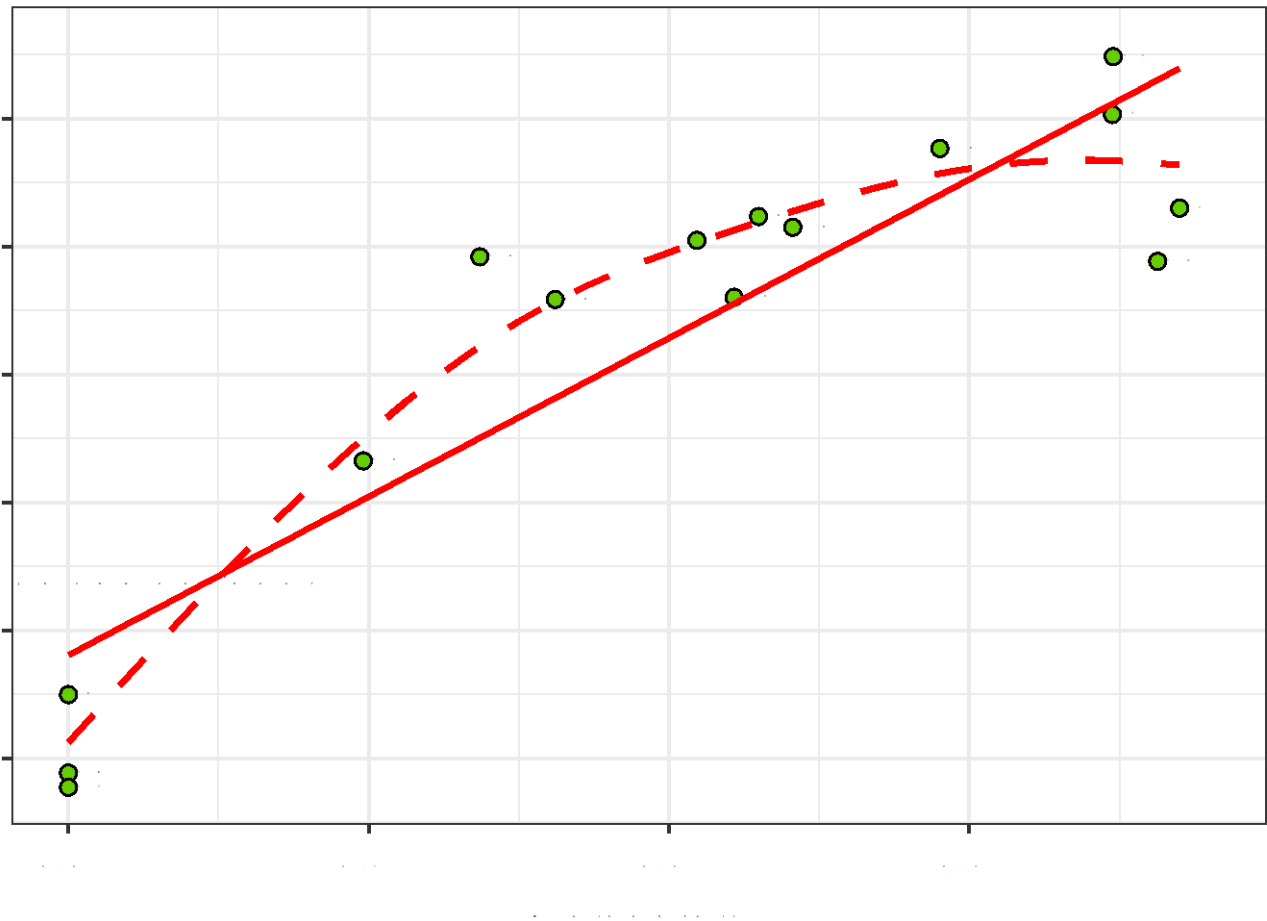


Abbildung 7: Verhältnis von $\delta^{13}\text{C}$ -Werten im Schwanzhaar der Rinder (Mittelwerte je Betrieb) und dem Maisanteil (% TS) in der Ration. lineare Regression: $R^2 = 0,81$; $y = 12,4 x - 24,2$; $p < 0,001$; nichtparametrische Regression (gestrichelt): GAM mit REML-Schätzer

Eine bessere Anpassung des Modells wird durch eine nichtparametrische Regression erzielt. Hierfür wurde ein Generalisiertes Additives Modell (GAM) mit REML-Schätzer verwendet. Das Ergebnis ist ein kurvenförmiger Verlauf, der bis zu einem Maisanteil von 10-15 % stark ansteigt und danach abflacht (Abbildung 6, gestrichelte Linie). In Abbildung 7 ist der gleiche Sachverhalt noch einmal für die Schwanzhaarproben dargestellt.

Der durch das Modell vorhergesagte $\delta^{13}\text{C}$ -Wert beträgt für einen Maisanteil von 10 % $-22,4 \text{ ‰}$, für 20 % Mais $-21,1 \text{ ‰}$ und für 30 % Mais $-20,4 \text{ ‰}$. Für den Wertebereich von 0 bis 34 % Maisanteil sind die vorhergesagten $\delta^{13}\text{C}$ -Werte sowie der dazugehörige Standardfehler in Tabelle 5 angegeben.

Tabelle 5: Vorhersagewerte mit Standardfehler für $\delta^{13}\text{C}$ bei unterschiedlichem Maisanteil; nicht-parametrische Regression: GAM mit REML-Schätzer

Maisanteil [% TS]	$\delta^{13}\text{C}$ [‰]	SE [‰]
0	-24,9	0,31
2	-24,3	0,27
4	-23,8	0,26
6	-23,3	0,28
8	-22,9	0,29
10	-22,4	0,30
12	-22,1	0,28
14	-21,8	0,26
16	-21,5	0,24
18	-21,3	0,23
20	-21,1	0,22
22	-20,9	0,22
24	-20,8	0,23
26	-20,6	0,24
28	-20,5	0,25
30	-20,4	0,25
32	-20,3	0,24
34	-20,3	0,24

5 Diskussion

Rationszusammensetzung

Bei der Akquise der Betriebe zeigte sich, dass es vergleichsweise wenige Betriebe gibt, die einen moderaten Anteil Mais in der Ration einsetzen. So war es relativ einfach, Betriebe mit hohem Maisanteil bzw. Betriebe ohne Maisfütterung zu finden. Letztendlich konnte aber doch eine gute Verteilung hinsichtlich dieses Merkmals erreicht werden. Leicht überrepräsentiert sind Betriebe mit einem Maisanteil von 20-25 % (sechs Betriebe), was etwas oberhalb der Mitte des Gradienten (0-37 %) liegt.

Eine große Herausforderung stellt die exakte Erfassung der Rationszusammensetzung dar. Die Angaben stammten entweder direkt aus den Daten der Fütterungsberatung der LKS oder wurden durch Befragung bei den Betrieben erhoben. Eine Überprüfung der Angaben zur Ration war bei dieser Studie nicht möglich. Bei der Plausibilisierung der Rationen fiel z. B. auf, dass in einigen Fällen (Betriebe 6, 8, 19, 20) die Ration relativ klein in Bezug auf ein angenommenes mittleres Lebendgewicht ist (Trockenmasse/Lebendgewicht < 3). Bei Betrieb 18 scheint die Rationszusammensetzung unter Berücksichtigung der $\delta^{13}\text{C}$ -Werte nicht plausibel. Der Betrieb gibt an, nahezu ausschließlich Gras zu verfüttern, was mit den Messwerten nicht im Einklang steht. Auch durch Nachfragen konnten manche Ungewissheiten nicht aufgeklärt werden. Eine hohe Streuung der $\delta^{13}\text{C}$ -Werte innerhalb eines Betriebes deutet zudem auf eine unterschiedliche Fütterung bzw. Futteraufnahme der Einzeltiere hin. Dies war bei drei Betrieben der Fall, weshalb diese, ebenso wie der Betrieb 18, von der weiteren Untersuchung ausgeschlossen wurden.

Einfluss von Haarlänge und Zeit

Die Isotopensignatur kann innerhalb eines Haares variieren, und zwar entsprechend der jeweiligen Rationszusammensetzung zum Zeitpunkt des Haarwachstums. Bei einem angenommenen Wachstum der Schwanzhaare von 0,7-1 mm pro Tag (SCHWERTL ET AL 2003) wird in einem 20 cm langen Haar die Information von bis zu 9 Monaten gespeichert. Durch die Untersuchung von Haarabschnitten ist es möglich, die Fütterung in einem speziellen Zeitfenster zu erfassen. Dabei ist für die Analyse bereits ein Abschnitt von einem Zentimeter eines einzelnen Haares ausreichend (HAMMES ET AL. 2017, SCHWERTL ET AL 2003). Bei der Untersuchung des gesamten Haares erhält man dagegen eine Aussage zur mittleren Rationszusammensetzung über einen längeren Zeitraum. Diese retrospektive Betrachtung einer mittleren Rationszusammensetzung stand im Fokus dieser Untersuchung. Dabei wurde auf das Zeitfenster (Haarlänge) nicht näher eingegangen, um das Verfahren zu vereinfachen.

Leider konnten keine Daten zur zeitlichen Veränderung der Rationen oder Angaben zur Gesamtjahresration erfasst werden. Es kann nicht ausgeschlossen werden, dass die Rationszusammensetzung innerhalb des betrachteten Zeitraums Schwankungen unterlag, und die gemachten Angaben von den tatsächlichen Rationen abweichen. Unterschiedliche Laktationsstadien oder unterschiedliche Leistungsniveaus mit individuellen Kraftfuttermengen können daher eine Erklärung für verschiedene $\delta^{13}\text{C}$ -Werte innerhalb eines Betriebes sein. Ebenso kann Futterselektion zu unterschiedlichen Ergebnissen führen. Für die Herleitung von belastbaren Grenzwerten wäre aus jetziger Sicht ein kontrolliertes Fütterungsexperiment besser geeignet.

Unterschiede im Haarprobentyp

Zwischen den $\delta^{13}\text{C}$ -Werten der Deck- und Schwanzhaare fand sich eine sehr hohe Korrelation ($r = 0,96$). Dieser starke Zusammenhang überraschte, da Deck- und Schwanzhaare ein unterschiedliches Wachstum aufweisen. Bei den Deckhaaren erfolgt ein regelmäßiger Haarwechsel im Frühjahr, weshalb das Alter der Deckhaare und damit die gespeicherte Information eine andere als bei den Schwanzhaaren sein kann. Zudem sind Dauer der Wachstumsphase als auch die Länge der Deckhaare genetisch festgelegt, also von der Rasse aber auch vom gesundheitlichen Zustand der Tiere abhängig. Vor diesem Hintergrund muss der Zeitpunkt der Probennahme beachtet werden. In dieser Untersuchung erfolgte die Probennahme vorrangig in den Monaten August bis September, bei den Betrieben 17-20 zwischen Mitte April und Anfang Juli. Ein Einfluss des Zeitpunktes der Probennahme als auch der Rasse auf das Ergebnis war statistisch nicht nachzuweisen.

Die Ergebnisse legen nahe, dass für die Bestimmung des Maisanteils in der Ration sowohl Deck- als auch Schwanzhaare geeignet sind. Der Zeitpunkt der Untersuchung sollte bei der Deckhaaranalyse aber beachtet werden.

Zusammenhang zwischen dem $\delta^{13}\text{C}$ -Wert und dem Maisanteil in der Ration

Der positive Zusammenhang zwischen dem $\delta^{13}\text{C}$ -Wert und dem Maisanteil, d. h. dem Anteil an C_4 -Pflanzen in der Ration, konnte bestätigt werden. Die beste Beschreibung hierfür lieferte eine nichtparametrische Regression mit einer zunächst ansteigenden, sich später abflachenden Kurve. Dies steht im Widerspruch zu den Untersuchungen von SCHWERTL ET AL. (2005) und HAMMES ET AL. (2017), die jeweils einen linearen Zusammenhang zwischen dem Maisanteil und dem $\delta^{13}\text{C}$ -Wert im Rinderhaar fanden. In Abbildung 8 wird das Ergebnis dieser Arbeit mit den Regressionsgeraden der genannten Autoren verglichen. Die festgestellten $\delta^{13}\text{C}$ -Werte liegen fast durchweg über den Literaturangaben. SCHWERTL ET AL. (2005) beprobten 51 Tiere aus 13 Betrieben, HAMMES ET AL. (2017) 46 Tiere aus 23 Betrieben, die Untersuchungen sind also durchaus vergleichbar. Die höchsten $\delta^{13}\text{C}$ -Werte ($-14,1\text{‰}$) fanden SCHWERTL ET AL. (2005) bei einem Bullenmastbetrieb mit einem Maisanteil von über 75 % TS. Damit war der Gradient wesentlich weiter gefasst, allerdings lagen im Bereich von 10-30 % TS Mais lediglich drei Betriebe. Auch in der Studie von HAMMES ET AL. (2017) gab es keine homogene Verteilung der Betriebe bzgl. des Maisanteils. Ein Drittel der Betriebe lag im Bereich von 30-40 % TS Mais, während es nur einen Betrieb gab, der zwischen 10 und 30 % TS Mais in der Ration einsetzte.

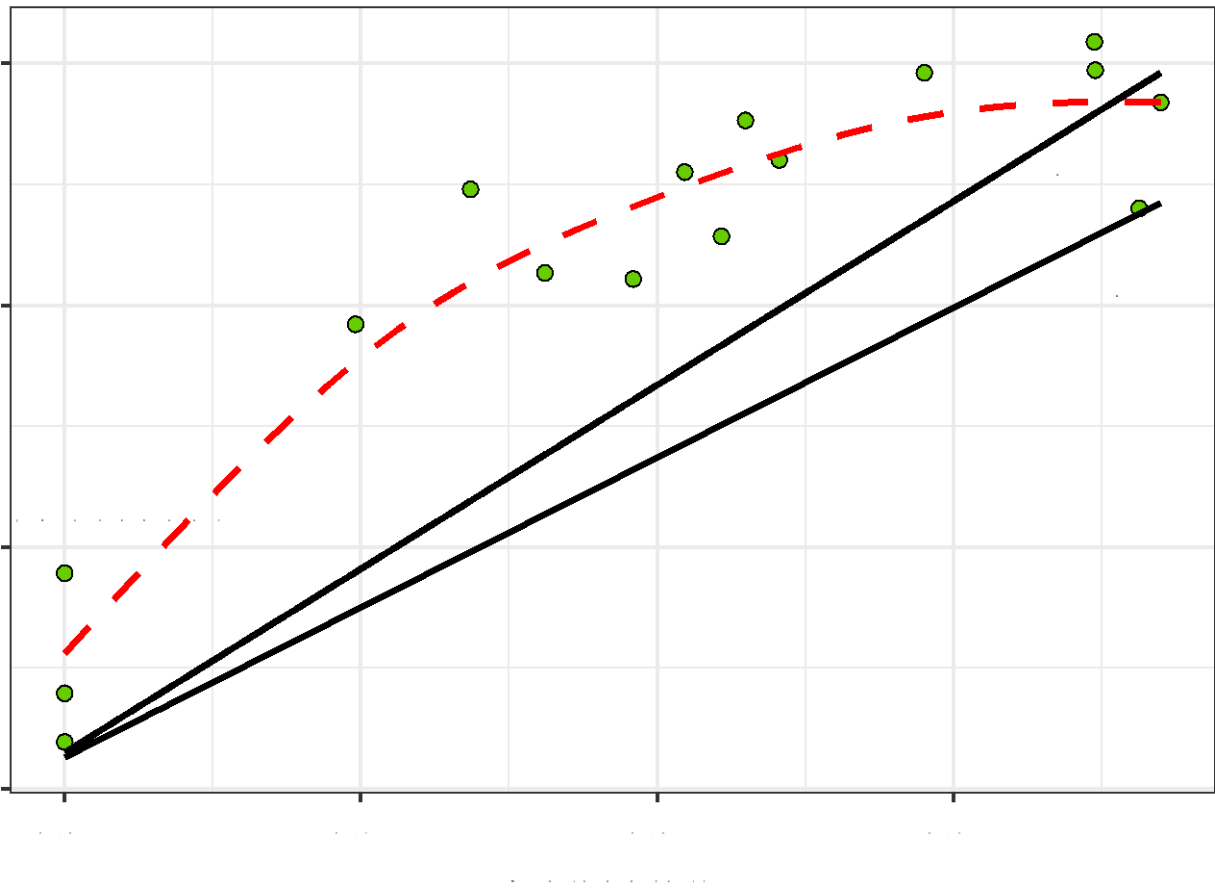


Abbildung 8: Abhängigkeit der $\delta^{13}\text{C}$ -Werte im Rinderhaar vom Maisanteils (% TS) in der Ration. Vergleich der nichtparametrischen Regression (gestrichelt) mit Angaben aus der Literatur. A: Schwertl et al. (2005); $y = 15,2 x - 25,7$; B: Hammes et al. (2017); $y = 12,4 x - 25,74$

Die höchsten in dieser Studie festgestellten $\delta^{13}\text{C}$ -Werte im Haar (Einzelwerte) lagen mit maximal $-16,78\text{‰}$ deutlich über der in Abbildung 8 gezeigten Regressionskurve. Eine Extrapolation des (horizontal asymptotischen) Kurvenverlaufs ist daher für Maisanteile größer 35 % nicht zielführend. Gleichwohl sprechen unsere Daten für einen nichtlinearen Verlauf im Bereich von 0 bis 35 % Maisanteil. Es wird vermutet, dass für den nichtlinearen Verlauf andere Effekte, wie z. B. der in diesem Bereich stark ansteigende Kraffutteranteil, eine Rolle spielen (statistisch konnte dies nicht bestätigt werden). Einen Hinweis hierzu liefert die Studie von Schwertl et al. (2005). Die Autoren untersuchten auch die Einzelkomponenten des Futters auf ihre ^{13}C -Signatur. Für C_3 -Futterpflanzen (Frischfutter, Heu oder Silage von Grünland und Kleegras-Gemengen) fanden sie ein $\delta^{13}\text{C}$ von $-28,4\text{‰} \pm 0,5\text{‰}$ und für Mais ein $\delta^{13}\text{C}$ von $-12,5\text{‰} \pm 0,4\text{‰}$. Bei C_3 -Konzentraten lagen die Werte um etwa 2‰ über denen der C_3 -Futterpflanzen ($\delta^{13}\text{C}$ $-26,8\text{‰} \pm 1,1\text{‰}$). Das bedeutet, dass der Anteil an Konzentraten im Futter einen Einfluss auf den $\delta^{13}\text{C}$ -Wert hat. Ein Kraffutteranteil von 50 % würde demnach im Vergleich zu 0 % Kraffutter ein um 1‰ höheres $\delta^{13}\text{C}$ bedeuten. Damit wäre die festgestellte Abweichung vom linearen Zusammenhang zumindest teilweise zu erklären. Die gleichen Autoren fanden einen Anstieg des $\delta^{13}\text{C}$ im Haar gegenüber dem $\delta^{13}\text{C}$ im Futter um durchschnittlich $2,7\text{‰}$. Dies wird als Trophiestufeneffekt bezeichnet. Wodurch dieser Effekt beeinflusst wird, ist noch nicht vollständig geklärt. In diesem Zusammenhang wird die chemische Zusammensetzung des Futters, z. B. Protein- und Fettgehalt, oder auch die Verdaulichkeit diskutiert.

Eignung der Stabilisotopenanalyse als Kontrollinstrument einer grünlandbasierten Fütterung

Die Stabilisotopenanalyse von Rinderhaaren ist ein sehr exaktes wissenschaftliches Instrument, um den Anteil von C₄-Pflanzen (Mais) im Futter quantitativ nachzuweisen. Maissilage und Grasprodukte (als Silage oder Frischfutter) sind die Hauptfutterkomponenten in der Milchviehfütterung. Bei Kenntnis des Maisanteils kann man daher auf den Anteil von Grasprodukten im Grobfutter schließen. Ist der Anteil an Kraft- und Saffutter bekannt, lässt sich dies auch auf die Gesamtration umrechnen. Eine Unterscheidung von verschiedenen C₃-Pflanzen ist mit der ¹³C-Methode allerdings nicht möglich.

Um das Verfahren praxistauglich zu gestalten, wurden einige Kompromisse eingegangen. So wurden die Haarlänge und damit der erfasste Zeitraum nicht weiter betrachtet. Dies stellte sich im Nachhinein als problematisch heraus, zudem auch keine zeitlich differenzierten Rationszusammensetzungen erfasst werden konnten. Die Verwendung von Deckhaaren, die ebenso eine Vereinfachung des Verfahrens verspricht, scheint dagegen gut geeignet zu sein. Bei den Deckhaaren lässt sich darüber hinaus durch den Zeitpunkt der Probenahme auf das Alter der Haare (Zeitdauer nach Haarwechsel) schließen.

Prinzipiell ist die Stabilisotopenanalyse von Rinderhaaren (¹³C) gut geeignet, um eine grünlandbasierte Fütterung nachzuweisen. Die vorliegende Untersuchung zeigte jedoch einige Schwierigkeiten auf, die bei der praktischen Umsetzung zu berücksichtigen sind. Daher können die gefundenen Grenzwerte (Tabelle 5) nicht als abschließend betrachtet werden. Der betrachtete Zeitraum als auch die Wirkung von Einzelfuttermitteln auf die Isotopenfraktionierung sind Aspekte, die zukünftig noch näher untersucht werden müssten.

6 Zusammenfassung

Ziel der vorliegenden Arbeit war es zu prüfen, ob mit Hilfe der Stabilisotopenanalyse von Rinderhaaren ein praxistaugliches Verfahren entwickelt werden kann, um eine grünlandbasierte Fütterung retrospektiv nachzuweisen. Aus der Literatur ist bekannt, dass die Analyse des Kohlenstoff-Isotopenverhältnisses ($^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$) von Rinderhaaren eine sehr exakte Methode ist, um den Anteil von C_4 -Pflanzen in der Ration (i. d. R. Mais) quantitativ nachzuweisen (HAMMES ET AL. 2017, HERWIG 2010, SCHWERTL 2005, SCHWERTL ET AL. 2003, 2005, WEST ET AL. 2004, WITTMER ET AL. 2010). Diese Arbeit konzentrierte sich nun auf die Überprüfung der Methode an einer Stichprobe sächsischer Milchviehbetriebe mit unterschiedlichen Fütterungsstrategien bzgl. des Gras- und Maiseinsatzes. Dabei sollte ein möglichst einfaches Verfahren zum Einsatz kommen.

Es konnte bestätigt werden, dass es einen sehr starken Zusammenhang zwischen dem $\delta^{13}\text{C}$ -Wert im Haar und dem Maisanteil in der Fütterung gibt. Im Vergleich zu andere Autoren (HAMMES ET AL. 2017, SCHWERTL ET AL. 2005), welche einen linearen Zusammenhang fanden, wurde für den Bereich von 0 bis 35 % Maisanteil ein zunächst stärkerer Anstieg des $\delta^{13}\text{C}$ -Wertes mit folgendem abflachenden Verlauf festgestellt. Es wird vermutet, dass der mit dem Maisanteil steigende Krafffutteranteil hierzu beiträgt. Auf Basis dieser Regression wird eine Tabelle für $\delta^{13}\text{C}$ -Werte bei entsprechendem Maisanteil (0-35 % TS) in der Ration angegeben (Tabelle 5).

Prinzipiell ist es also möglich, mit Hilfe der Stabilisotopenanalyse des Rinderhaars den Maisanteil in der Ration zu bestimmen, und darüber den Grasanteil abzuschätzen⁷. Kritisch müssen jedoch die gefundenen absoluten Werte betrachtet werden, die den Zusammenhang zwischen dem $\delta^{13}\text{C}$ -Wert und dem Maisanteil wiedergeben. Die größten Unsicherheiten in der vorliegenden Studie betreffen die Angaben zur Rationszusammensetzung. Der $\delta^{13}\text{C}$ -Wert im Haar repräsentiert die Zusammensetzung des Futters über den Zeitraum des Haarwachstums. Daher sind einerseits die Zeitdauer des Haarwachstums (kann über die Haarlänge abgeschätzt werden) und andererseits die Futteraufnahme in dieser Zeit entscheidend. Leider konnten keine zeitlich differenzierten Angaben zu den Rationen erhoben werden. Mögliche Umstellungen in der Fütterung sind daher nicht berücksichtigt. Einer hohen Streuung der $\delta^{13}\text{C}$ -Werte innerhalb eines Betriebes belegt darüber hinaus, dass es auch Unterschiede in der Futteraufnahme der Einzeltiere (sei es durch unterschiedliche Ration oder Selektion) gab. Diese Unsicherheiten könnten bei einer weiteren Untersuchung durch ein kontrolliertes Fütterungsexperiment vermieden werden. Ungeklärt bleibt aber weiterhin der Einfluss einzelner Futterkomponenten (z. B. Krafffutter) auf die Isotopenfraktionierung.

Neben der klassischen Analyse von Schwanzhaaren wurden auch Deckhaare untersucht. Hierbei zeigte sich, dass die Untersuchung von Deckhaaren, die einfacher zu beproben und aufzubereiten sind, zu gleichen Ergebnissen kommt. Dabei sollte der Zeitpunkt der Probennahme (Haarwechsel) beachtet werden. Als Fazit kann man feststellen, dass die Stabilisotopenanalytik (^{13}C) ein sehr exaktes wissenschaftliches Instrument ist. Vor einer Anwendung in der Praxis zum Nachweis einer grünlandbasierten Fütterung gilt es jedoch noch einige offene Fragestellungen zu klären.

⁷ Die Unterscheidung von Grünland und anderen Grasprodukten (C_3 -Pflanzen) ist mit der ^{13}C -Methode nicht möglich, dies muss über eine betriebliche Grobfutterbilanz erfolgen.

Literaturverzeichnis

- BOWSER, C., STEER, M. W., TOBIN, A. K. (2008): *Plant Biochemistry*. 1. Aufl., New York: Garland Pub.
- FLACHOWSKY, G. (2008): Wie kommen wir zu CO₂-Footprints für Lebensmittel tierischer Herkunft? *Arch. Tierz., Dummerstorf* 51, Sonderheft, 67-82.
- HAMMES, V., NÜSSE, O., ISSELSTEIN, J., KAYSER, M. (2017): Using ¹³C in cattle hair to trace back the maize level in the feeding regime - A field test. *PLoS ONE* 12(11): e0188926. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0188926>
- HERWIG, N. (2010): Isotopenanalytik zur Bestimmung des Einflusses der Ernährung auf die Isotopenzusammensetzung in Rinderproben. BAM-Dissertationsreihe, Band 62, Berlin.
- JACOBS, A., FLESSA, H., DON, A. (2018): Landwirtschaftlich genutzte Böden in Deutschland - Ergebnisse der Bodenzustandserhebung. Braunschweig: Johann Heinrich von Thünen-Institut, 316 p, Thünen Rep 64.
- JONES, R. J., LUDLOW, M. M., TROUGHTON, J. H., BLUNT, C. G. (1979): Estimation of the proportion of C₃ and C₄ plant species in the diet of animals from the ratio of natural ¹²C and ¹³C isotopes in the faeces. *Journal of Agricultural Science, Cambridge* 92: 91-100.
- KNOBBE, N., VOGL, J., PRITZKOW, W., PANNE, U., FRY, H., LOCHOTZKE, H. M., PREISS-WEIGERT, A. (2006): C and N Stable Isotope Variation in Urine and Milk of Cattle depending on the Diet. *Analytical and Bioanalytical Chemistry* 386: 104-108.
- MACK, G., HEITKÄMPER, K., KÄUFELER, B., MÖBIUS, S. (2017): Evaluation der Beiträge für Grasland-basierte Milch- und Fleischproduktion (GMF). *Agroscope Science* 54.
- MINSON, D. J., LUDLOW, M. M., TROUGHTON, J. H. (1975): Differences in natural carbon isotope ratios of milk and hair from cattle grazing tropical and temperate pastures. *Nature* 56: 602.
- R CORE TEAM (2021): R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>
- SCHWERTL, M., AUERSWALD, K., SCHNYDER, H. (2003): Reconstruction of the isotopic history of animal diets by hair segmental analysis. *Rapid Communications in Mass Spectrometry* 17: 1312-1318.
- SCHWERTL, M. (2005): Nitrogen and carbon isotope signatures in cattle hair – recorders of agroecosystem processes. Dissertation, TU München.
- SCHWERTL, M., AUERSWALD, K., SCHÄUFELE, R., SCHNYDER, H. (2005): Carbon and nitrogen stable isotope composition of cattle hair: ecological fingerprints of production systems? *Agriculture, Ecosystems and Environment* 109, 153–165. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2005.01.015>
- STRASBURGER, E. (1991): *Lehrbuch der Botanik für Hochschulen*. 33. Aufl., neubearb. von Peter Sitte, Stuttgart, Jena, New York: G. Fischer.
- TOUZEAU, A., AMIOT, R., Blichert-Toft, J., FLANDROIS, J.-P., FOUREL, F., GROSSI, V., MARTINEAU, F., RICHARDIN, P., LÉCUYER, C. (2014): Diet of ancient Egyptians inferred from stable isotope systematics. *Journal of Archaeological Science*: 46: 114-124.
- WEST, A. G., AYLIFFE, L., K., CERLING, T. E., ROBINSON, T. F., KARREN, B., DEARING, M. D., EHLERINGER, J. R. (2004): Short-term diet changes revealed using stable carbon isotopes in horse tail-hair. *Functional Ecology* 18(4): 616-624.
- WITTMER, M. H. O. M., AUERSWALD, K., SCHÖNBACH, P., SCHÄUFELE, R., MÜLLER, K., YANG, H., BAI, Y. F., SUSENBETH, A., TAUBE, F., SCHNYDER, H. (2010): Do grazer hair and faeces reflect the carbon isotope composition of semi-arid C₃/C₄ grassland? *Basic and Applied Ecology* 11: 83-92.

Herausgeber:

Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie
(LfULG)

Pillnitzer Platz 3, 01326 Dresden

Telefon: +49 351 2612-0

Telefax: +49 351 2612-1099

E-Mail: Poststelle.LfULG@smekul.sachsen.de

www.lfulg.sachsen.de

Das LfULG ist eine nachgeordnete Behörde des Sächsischen
Staatsministeriums für Energie, Klimaschutz, Umwelt und
Landwirtschaft.

Diese Veröffentlichung wird finanziert aus Steuermitteln auf Grundlage
des vom Sächsischen Landtag beschlossenen Haushalts.

Autor:

Dr. Stefan Kesting

Abteilung 7 / Referat 75

Christgrün 13, 08525 Pöhl

Telefon: +49 37439 742-29

Telefax: +49 37439 742-20

E-Mail: stefan.kesting@smekul.sachsen.de

Fotos:

Dr. Stefan Kesting

Auflage:

1. Auflage

Redaktionsschluss:

22.02.2022

ISSN:

1867-2868

Hinweis:

Die Broschüre steht nicht als Printmedium zur Verfügung, kann aber als
PDF-Datei unter <https://publikationen.sachsen.de> heruntergeladen
werden.

Verteilerhinweis

Diese Informationsschrift wird von der Sächsischen Staatsregierung im
Rahmen ihrer verfassungsmäßigen Verpflichtung zur Information der
Öffentlichkeit herausgegeben.

Sie darf weder von Parteien noch von deren Kandidaten oder Helfern
zum Zwecke der Wahlwerbung verwendet werden. Dies gilt für alle
Wahlen. Missbräuchlich ist insbesondere die Verteilung auf
Wahlveranstaltungen, an Informationsständen der Parteien sowie das
Einlegen, Aufdrucken oder Aufkleben parteipolitischer Informationen
oder Werbemittel. Untersagt ist auch die Weitergabe an Dritte zur
Verwendung bei der Wahlwerbung.

*Täglich für
ein gutes Leben.*

www.lfulg.sachsen.de