

Institut für Tierwissenschaften

**Fütterungsstrategien zur Optimierung der Energie- und
Nährstoffversorgung laktierender Milchkühe**

Dissertation

zur Erlangung des Grades

Doktor der Agrarwissenschaften (Dr. agr.)

der Landwirtschaftlichen Fakultät

der Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn

von

Jana Denißen

aus

Geldern

Bonn 2020

Referent: Prof. Dr. Karl-Heinz Südekum
Korreferent: Prof. Dr. Hubert Spiekers
Tag der mündlichen Prüfung: 31. Januar 2020
Erscheinungsjahr: 2020

Die Förderung des Vorhabens erfolgte teilweise aus Mitteln des Bundesministeriums für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) aufgrund eines Beschlusses des deutschen Bundestages. Die Projektträgerschaft im Projekt „optiKuh“ erfolgte über die Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (BLE) im Rahmen des Programms zur Innovationsförderung.

Meinem Vater

ZUSAMMENFASSUNG

Fütterungsstrategien zur Optimierung der Energie- und Nährstoffversorgung laktierender Milchkühe

Eine effiziente Nutzung von Energie und Nährstoffen spielt nicht nur vor dem Hintergrund einer bedarfsdeckenden Versorgung der Kühe, sondern auch im Hinblick auf die Umweltwirkung und die Wirtschaftlichkeit der Milchkuhhaltung eine entscheidende Rolle. Verschiedene Standortfaktoren und einzelbetriebliche Strukturen erfordern unterschiedliche Lösungsansätze hinsichtlich der Rationsgestaltung in der Milchkuhfütterung. Entscheidende Größen zur Beeinflussung der Energie- und Nährstoffnutzung sind unter anderem die Aufbereitung sowie die sensorischen und physikalischen Eigenschaften der eingesetzten Grobfutter, die Energiedichte des Grobfutters und die Kraftfuttermenge. In dieser Arbeit werden die Auswirkungen unterschiedlicher Fütterungsstrategien auf die Futteraufnahme und die Leistung von Kühen der Rasse Deutsche Holstein beschrieben.

Eine grundlegende Fragestellung stellt der langfristige Einfluss unterschiedlicher Energiedichten im Grobfutter sowie unterschiedlicher Kraftfuttermengen dar. Dazu wurde ein Fütterungsversuch mit vier unterschiedlichen Versorgungsintensitäten durchgeführt. In diesem Versuch konnte bei einer höheren Energiedichte im Grobfutter eine stärkere Grobfutterverdrängung durch Kraftfutter festgestellt werden. Die Energiedichte im Grobfutter hatte einen größeren Effekt auf die energiekorrigierte Milchleistung als die Kraftfuttermenge, so dass mit energiereichem Grobfutter Kraftfutter ersetzt werden kann. Die Gesamtbetrachtung der vorliegenden Ergebnisse lässt darauf schließen, dass unterschiedliche Intensitäten insbesondere hinsichtlich der Kraftfuttermenge möglich sind, wenn die gute fachliche Praxis der Milcherzeugung ansonsten eingehalten wird.

In der Milchkuhfütterung haben Grobfutter eine besondere Bedeutung. Sie stellen die Grundlage jeder Milchkuhration dar. Maissilage enthält neben hohen Stärkegehalten auch beachtliche Mengen an strukturwirksamen Gerüstsubstanzen und dient damit nicht nur als Energiequelle, sondern auch als Strukturkomponente. Die Ergebnisse der zweiten Studie verdeutlichen das Potential einer bestmöglichen Aufbereitung des Erntegutes bei der Maisernte, eines optimierten Silomanagements und einer bedarfsgerechten Rationsgestaltung mit genügend strukturwirksamer Faser. Die beschriebenen Faktoren beeinflussen die Energie- und

Nährstoffnutzung sowie das Leistungs- und Gesundheitsgeschehen der Milchkühe maßgeblich, so dass eine optimierte Rationsgestaltung bereits bei der Ernte der Futterpflanzen beginnt.

Neben den chemischen und physikalischen Eigenschaften der eingesetzten Futtermittel spielt das Fressverhalten der Kühe bei der bedarfsgerechten Versorgung der Tiere eine entscheidende Rolle. Kühe sind in der Lage die vorgelegte Ration durch Kopf- und Maulbewegungen zu entmischen und selektiv vermehrt feine Futterpartikel aufzunehmen. Aus der vorliegenden dritten Studie ergeben sich neue Erkenntnisse hinsichtlich der Wasserzugabe zu Gesamtmischrationen unter hiesigen Bedingungen. Aus den Ergebnissen ist abzuleiten, dass Gesamtmischrationen mit Trockenmassegehalten $> 42\%$ verstärkt selektiv gefressen werden. Diese Ergebnisse bestätigen, dass mit einer Wasserzugabe zur Gesamtmischration das selektive Fressverhalten vermindert und die Trockenmasseaufnahme gesteigert werden kann. Die Ergebnisse verdeutlichen die Bedeutung einer gleichmäßigen, nicht selektiven Futterraufnahme bei hochleistenden Milchkühen.

Eine optimierte Rationszusammensetzung, die eine bedarfsgerechte Nährstoff- und Strukturversorgung ermöglicht sowie eine selektive Futterraufnahme verhindert, bietet erhebliche Möglichkeiten zur Optimierung der Energie- und Nährstoffversorgung der Milchkühe. Ein entscheidender Faktor ist die Aufbereitungsform der Futterpflanzen, die eine verbesserte Energieverfügbarkeit und Strukturwirkung ermöglichen kann. Folglich beginnt die optimierte Rationsgestaltung bereits bei der Ernte der Futterpflanzen. Im weiteren Prozessverlauf stellt die Herstellung einer homogenen Ration eine wichtige Optimierungsmöglichkeit dar.

SUMMARY

Feeding strategies to optimise energy and nutrient provision in lactating dairy cows

Efficient energy and nutrient utilisation not only play a decisive role in meeting the dietary requirements of cows, but also in how keeping dairy cows affects the environment and how profitable dairy farming is as a business. Varying location factors and individual business models require different solution applications for composing feed rations for dairy cows. How the animal feed is prepared, its sensory and physical properties, the energy density of forage and the quantity of feed concentrate provided, among other factors, are all decisive in how energy and nutrient utilisation can be affected. This study illustrates the effects of different feeding strategies on the feed intake and performance of German Holstein cows.

The underlying question surrounds the long-term effect of different energy densities forage and the application of different feed concentrate amounts. For this purpose, a feed trial was carried out using four different levels of feeding intensity. During the trial, cows were more likely to replace forage with concentrates when they were fed coarse feed with a higher energy density. The energy density of the forage had a greater effect on energy-corrected milk yield than the feed concentrate amount, meaning feed concentrate can be replaced with energy-rich forage. When analysed as a whole, the results lead to the conclusion that different intensities are possible – particularly in feed concentrate – as long as best practice is followed in all other aspects of milk production.

Forage is particularly important when feeding dairy cows. It forms the basis of all dairy rations. Corn silage contains considerable amounts of structurally effective substances alongside high starch contents, and is therefore a good source of structural components as well as energy. The results of the second study illustrate the potential gained through optimum preparation of the corn crop at the time of harvesting, managing the silo as effectively as possible and assembling ration based on requirements, including sufficient structurally effective fibre. The considerable influence these factors have on energy and nutrient utilisation, and on cows' performance and health, highlight that optimum ration composition starts as soon as the forage is harvested.

Alongside the chemical and physical properties of the feed provided, the feeding behaviour of cows when they are fed based on their requirements also plays a decisive role. Cows are able to mix up the ration provided using their head and mouth movements, and thus selectively consume a higher proportion of fine feed particles. The third study presents new findings with

regard to the addition of water to total mixed rations under local conditions. These results suggest that selective feeding behaviour is more likely to be observed when total mixed rations have a dry matter content of >42%. The results confirm that by adding water to total mixed ration, selective feeding behaviour can be reduced, and dry matter intake can be increased. The results highlight the significance of a regular, non-selective feed intake for high performing dairy cows.

Optimised ration composition, which enables nutrients and structural material to be provided based on requirements and prevents selective feed intake, presents significant potential for increasing energy and nutrient utilisation in dairy cows. Forage preparation methods that can enable improved energy supply and structural effectiveness are a deciding factor. Optimised ration composition, therefore, begins at the point of harvesting the forage. Further down the line, producing a standardised ration can provide significant optimisation potential.

INHALTSVERZEICHNIS

Zusammenfassung	I
Summary	III
Inhaltsverzeichnis	V
Abbildungsverzeichnis	VI
Tabellenverzeichnis	VII
Abkürzungsverzeichnis	IX
Kapitel 1	- 1 -
Einleitung	- 1 -
Kapitel 2	- 4 -
Inhalt der Arbeit	- 4 -
Kapitel 3	- 7 -
Einfluss der Energiedichte im Grobfutter und der Kraftfuttermenge auf die Futteraufnahme, das Wiederkauverhalten und die Milchleistung von Milchkühen der Rasse Deutsche Holstein in der Gesamtlaktation	
Kapitel 4	- 41 -
Einfluss der Partikelgrößenverteilung bei der Maisernte auf die Silagequalität sowie die Futteraufnahme und Leistung von Milchkühen	
Kapitel 5	- 72 -
Influence of the addition of water to total mixed rations on the feeding behaviour, feed intake and milk performance of high-yielding dairy cows	
Kapitel 6	- 95 -
Gesamtdiskussion	- 95 -
Danksagung	- 103 -
Tagungsbeiträge	- 104 -
Veröffentlichungen	- 105 -

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Kapitel 3

Abb. 1: Zuteilung von Milchleistungsfutter über die Kraftfutterstation im Laktationsverlauf....	- 16 -
Abb. 2: Einfluss der Fütterungsvariante auf die Gesamt-TM-Aufnahme im Laktationsverlauf .	- 24 -
Abb. 3: Einfluss der Fütterungsvariante auf die Leistung an energiekorrigierter Milch im Laktationsverlauf	- 25 -
Abb. 4: Einfluss der Fütterungsvariante auf den Energiesaldo im Laktationsverlauf	- 26 -

Kapitel 4

Abb. 5: Die Shredlage-Crackerwalzen mit dem groben Sägezahnprofil und der umlaufenden Spiralnut bewirken eine intensive Aufbereitung des Materials. Foto: J. Denißen	- 47 -
Abb. 6: Partikelgrößenverteilung im Siliergut aus konventioneller und Shredlage-Ernte sowie von den Gesamtmischrationen mit konventioneller und Shredlage-Maissilage (Pries et al., 2016)	- 58 -

Kapitel 5

Fig. 7: Particle size distribution of the dry TMR (46.4% dry matter) throughout the day in Trial I	- 84 -
Fig. 8: Particle size distribution of the wet TMR (37.3% dry matter) throughout the day in Trial I	- 84 -
Fig. 9: Temperature changes in the dry TMR and wet TMR after feeding.....	- 86 -

TABELLENVERZEICHNIS

Kapitel 3

Tab. 1: Durchschnittliche Mengenanteile (% der Trockenmasse, TM) der eingesetzten Futtermittel in den Teilmischrationen der Versuchsgruppen N und H sowie der einphasigen Trockensteherration	- 12 -
Tab. 2: Zusammensetzung des eingesetzten Milchleistungsfutters (MLF) und Nährstoffgehalte der eingesetzten Futtermittel.....	- 14 -
Tab. 3: Analysierte Energie- und Proteingehalte sowie die Kennzahlen zur Beschreibung der Strukturversorgung der gefütterten Rationen während der Laktation und der Trockenstehphase	- 15 -
Tab. 4: Anzahl der abgegangenen Tiere nach Abgangsursache im gesamten Versuchszeitraum	- 20 -
Tab. 5: Einfluss der Fütterungsvariante auf Futter- und Energieaufnahme sowie die Wiederkaudauer während der Laktation und der Trockenstehphase.....	- 21 -
Tab. 6: Einfluss der Fütterungsvariante auf Milchmenge und -leistungsmerkmale laktierender Kühe vom 6. bis zum 350. Laktationstag	- 22 -
Tab. 7: Einfluss der Fütterungsvariante auf Energiesaldo, Lebendmasse und Body Condition Score während der Laktation und der Trockenstehphase	- 23 -
Tab. 8: Vergleich der Ergebnisse des aktuellen Versuches mit den Ergebnissen von Baum (1984). Betrachtung vom 5. bis zum 270. Laktationstag.....	- 33 -

Kapitel 4

Tab. 9: Notwendige Gehalte an $\text{peNDF}_{\text{om}>1,18}$ (% der Trockenmasse, TM) in Abhängigkeit von der TM Aufnahme und dem Gehalt an pansenabbaubarer Stärke aus Getreide (GfE, 2014).....	- 49 -
Tab. 10: Notwendige Gehalte an $\text{peNDF}_{\text{om}>8}$ (% der Trockenmasse, TM) in Abhängigkeit von der TM-Aufnahme und dem Gesamt-Stärkegehalt der Ration (GfE, 2014)	- 49 -

Tab. 11: Versuchsaufbau und Ergebnisse von Fütterungsversuchen mit laktierenden Milchkühen zum Einsatz von Shredlage-Maissilage in den USA.....	- 52 -
Tab. 12: Verdichtung von Maissilagen in den Fahrsilos in kg TM/m ³ (Pries et al., 2016).	- 54 -
Tab. 13: Versuchsaufbau und Ergebnisse der Fütterungsversuche mit Milchkühen zum Einsatz von Shredlage- bzw. Langschnitt-Maissilage in Deutschland (Pries et al. (2016), Speit et al. (2017), Ettle et al. (2017a), Ettle et al. (2017b), Kampf et al. (2017)).....	- 61 -

Kapitel 5

Tab. 14: Ration composition of the dry and wet total mixed rations (TMR) provided in Trials I and II	- 76 -
Tab. 15: Ingredient composition of the dairy compound feed (DCF) and chemical composition of ration ingredients	- 77 -
Tab. 16: Energy, protein fibre and non-fibre-carbohydrate values of the fed total mixed rations	- 78 -
Tab. 17: Influence of the type of total mixed ration (TMR) on daily intakes, rumination, body weight and body condition score	- 86 -
Tab. 18: Influence of the type of total mixed ration (TMR) on milk yield and composition	- 87 -

ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

a.p.	ante partum
Abb	Abbildung
ADFom	Säure-Detergenzien-Faser nach Veraschung, acid detergent fibre expressed exclusive of residual ash
aNDFom	Neutral-Detergenzien-Faser nach Amylasebehandlung und Veraschung, neutral detergent fibre assayed with a heat stable amylase and expressed exclusive of residual ash
BCS	Body Condition Score
bXS	beständige Stärke
CP	Crude protein
CS	Corn silage
CSPS	Corn Silage Processing Score
d	Day
DCF	Dairy compound feed
DIM	Days in milk
DLG	Deutsche Landwirtschafts-Gesellschaft
DM	Dry matter
DMI	Dry matter intake
DWI	Drink water intake
ECM	Energiekorrigierte Milch, energy-corrected milk
EE	Ether extract
EN	Ernährungsniveau
ES	Energiesaldo
ESOM	Enzyme-soluble organic matter
FCM	Fettkorrigierte Milch
Fig	Figure
FM	Frischmasse
GfE	Gesellschaft für Ernährungsphysiologie
GP	Gas production
GRE	Ground rapeseed extract
GS	Grassilage, grass silage

HGT	Hohenheim gas test
LD	Lactation day
LH	lucerne hay
LM	Lebendmasse
LSM	Last Square Means
LT	Laktationstag
ME	Umsetzbare Energie, metabolizable energy
MLF	Milchleistungsfutter
MPF	Milk performance feed
MR	Mischration
MS	Maissilage, maize silage
MW	Mittelwert
n.a.	not analysed
n.b.	nicht bekannt
n.r.	not recorded
NEL	Netto-Energie-Laktation, net energy for lactation
NFC	Nichtfaser-Kohlenhydrate, non-fibre carbohydrates
p.p.	post partum
peNDFom	physikalisch-effektiven Neutrale-Detergenzien-Faser nach Veraschung
PMR	Teilmischration, partial mixed ration
PSPS	Penn-State-Particle-Separator
RES	Rapsextraktionsschrot
RSM	Rapeseed meal
SAS	Statistical Analysis System
SD	Standardabweichung
SE	Standardfehler, standard error
SW	Strukturwert
Tab	Tabelle
tHL	theoretische Häcksellänge
TM	Trockenmasse
TMR	Gesamtmischration, total mixed ration
TWI	Total water intake

uCP	utilisabable crude protein
XF	Rohfaser
XP	Rohprotein
XS	Stärke
XZ	Zucker

Fütterungsversuche***Kapitel 3***

N150	Fütterungsvariante mit 6,1 MJ NEL/kg TM im Grobfutter und 150 g MLF/kg ECM
N250	Fütterungsvariante mit 6,1 MJ NEL/kg TM im Grobfutter und 250 g MLF/kg ECM
H150	Fütterungsvariante mit 6,5 MJ NEL/kg TM im Grobfutter und 150 g MLF/kg ECM
H250	Fütterungsvariante mit 6,5 MJ NEL/kg TM im Grobfutter und 250 g MLF/kg ECM

Kapitel 4

KOS	TMR mit konventioneller Maissilage ohne Strohzulage
KMS	TMR mit konventioneller Maissilage mit Strohzulage
SOS	TMR mit Shredlage-Maissilage ohne Strohzulage
SMS	TMR mit Shredlage-Maissilage mit Strohzulage

Kapitel 5

Dry TMR	Gesamtmischung ohne Wasserzugabe
Wet TMR	Gesamtmischung mit Wasserzugabe

KAPITEL 1

Einleitung

Eine wiederkäuergerechte Rationsgestaltung zur Gesunderhaltung der Tiere mit gleichzeitigem Blick auf Milchleistung, Wirtschaftlichkeit und Umweltwirkung ist der Grundbaustein für eine zukunftsfähige, erfolgreiche und nachhaltige Milchproduktion mit hohen Lebensleistungen. Die Reaktion der Tiere auf die vorgelegte Ration unterliegt dabei multifaktoriellen Einflussgrößen, so dass eine optimierte Rationsgestaltung, welche im Laufe der Laktation unterschiedlichen Anforderungen gerecht werden muss, eine komplexe Herausforderung darstellt. So benötigen Wiederkäuer zur Sicherung physiologischer Bedingungen im Pansen neben adäquaten Mengen an Energie und Nährstoffen auch eine ausreichende Versorgung mit strukturwirksamer Faser.

Der Zeitraum nach der Kalbung stellt für die genetisch hochveranlagte Milchkuh eine äußerst sensible Phase dar, da sie sich im negativen Energiesaldo (ES) befindet. In Folge dessen steigt die Anfälligkeit gegenüber verschiedener Erkrankungen deutlich an (Breves, 2007). Ursächlich für den negativen ES zu Laktationsbeginn ist die Tatsache, dass der Peak der maximalen täglichen Futtermittelaufnahme zeitverzögert nach der maximalen täglichen Milchleistung auftritt. Um das Ausmaß des negativen ES möglichst im Rahmen zu halten, werden in der landwirtschaftlichen Praxis energiereiche Rationen mit höheren Kraftfutteranteilen erforderlich. Der forcierte Einsatz von Kraftfutter führt zu Einbußen in der Strukturwirksamkeit der Ration. Bei gleichzeitig hohen Anteilen an leicht fermentierbaren Kohlenhydraten gehen die pH-Werte im Panseninhalt zurück. Liegen diese Bedingungen über eine längere Zeit vor, kann dies zu einer subakuten Pansenazidose führen (Zebeli et al., 2008).

Zur Strukturergänzung werden in der Wiederkäuerfütterung Grobfutter eingesetzt, deren Anteile an strukturwirksamer Faser die Wiederkäuergerechtheit der Ration steigern. Sie bewirken eine entsprechende Kau- und Wiederkautätigkeit. Der dabei sezernierte Speichel dient als pH-Puffer zur Aufrechterhaltung eines stabilen Pansenmilieus. Zusätzlich ist eine ausreichende Faserversorgung für die Schichtung des Panseninhaltes von großer Bedeutung. Die Schichtung ermöglicht vor allem eine entsprechende Verweildauer der Faserpartikel im Pansen und gewährleistet damit eine hohe Abbaubarkeit (Khol-Parisini und Zebeli, 2012).

Die Strukturwirksamkeit des Grobfutters wird von chemischen und physikalischen Eigenschaften beeinflusst. Hohe Anteile an schwer verdaulichen pflanzlichen Zellwandbestandteilen erhöhen die Strukturwirksamkeit, führen jedoch auch zu einer Verringerung der Energiedichte im Futtermittel. Die physikalischen Eigenschaften des Grobfutters werden maßgeblich durch die Aufbereitungsform und die Partikelgröße bestimmt. Die Vorlage einer zu strukturreichen Ration verursacht einen Rückgang der Trockenmasse (TM)-Aufnahme (Zebeli et al., 2015) sowie, aufgrund der verringerten mikrobiellen Proteinsynthese im Pansen, eine Erhöhung des Futteraufwandes (Yang und Beauchemin, 2006). Die Optimierung des Verhältnisses zwischen strukturreichem Grobfutter und energiereichem Kraftfutter ist somit eine wichtige Herausforderung für eine angemessene Versorgung der Kühe.

Neben den chemischen und physikalischen Eigenschaften der eingesetzten Futtermittel spielt das Fressverhalten der Kühe bei der bedarfsgerechten Versorgung der Tiere eine entscheidende Rolle. Kühe sind in der Lage, die vorgelegte Ration durch Kopf- und Maulbewegungen zu entmischen und selektiv vermehrt feine Futterpartikel aufzunehmen. Daraus kann sich, abweichend von der Rationskalkulation, eine forcierte Aufnahme an leicht verdaulichen Kohlenhydraten und eine geringere Aufnahme an Faserkomponenten ergeben. Dies kann in der Folge ebenfalls zu einem Abfall des Pansen pH-Wertes führen und das Risiko für die Entwicklung einer subakuten Pansenazidose erhöhen (DeVries et al., 2008).

Die Gestaltung und Herstellung einer ausgewogenen Ration, die eine bestmögliche Pansenfunktion ermöglicht und zu einer Optimierung der Energie- und Nährstoffversorgung beiträgt, stellt somit eine komplexe Herausforderung dar. Dabei erfordern differenzierte Standortfaktoren und einzelbetriebliche Strukturen unterschiedliche Fütterungsstrategien und Lösungsansätze. Entscheidender Einflussfaktor bei der Entwicklung einer Fütterungsstrategie ist die Grobfuttergrundlage des Betriebes. Der Anteil an Gras- und Maissilage sowie deren hygienische Qualität und sensorischen Eigenschaften stellen die Grundlage jeder Rationsgestaltung dar. Aus der Erntetechnik, der Aufbereitung der Futterpflanze, der Einsatzmenge, der Ergänzung der betriebseigenen Futtermittel und der Rationsgestaltung ergibt sich dann eine betriebsindividuelle Fütterungsstrategie, die die physiologischen Anforderungen der Milchkühe erfüllen soll. Diese optimierte Ausgestaltung der Fütterung beeinflusst die Kosten und die Leistungen in der Milchkuhhaltung maßgeblich und ist somit eine zentrale Stellgröße für eine erfolgreiche Milchproduktion.

LITERATUR

Breves, G. (2007): Züchtung und Stoffwechselstabilität beim Rind - Empfehlungen für Zucht und Haltung. *Züchtungskunde* 79, 52-58.

DeVries, T. J., F. Dohme und K. A. Beauchemin (2008): Repeated ruminal acidosis challenges in lactating dairy cows at high and low risk for developing acidosis: Feed sorting. *J. Dairy Sci.* 91, 3958-3967.

Khol-Parisini, P. J. und Q. Zebeli (2012): Die Milchkuh im Spannungsfeld zwischen Leistung, Gesundheit und Nährstoffeffizienz. 39. Viehwirtschaftliche Fachtagung, Raumberg-Gumpenstein 2012, 43-50.

Yang, W. Z. und K. A. Beauchemin (2006): Effects of physically effective fiber on chewing activity and ruminal pH of dairy cows fed diets based on barley silage. *J. Dairy Sci.* 89, 217-228.

Zebeli, Q., J. Dijkstra, M. Tafaj, H. Steingass, B. N. Ametaj und W. Drochner (2008): Modeling the adequacy of dietary fiber in dairy cows based on the responses of ruminal pH and milk fat production to composition of the diet. *J. Dairy Sci.* 91, 2046-2066.

Zebeli, Q., K. Ghareeb, E. Humer, B. U. Metzler-Zebeli und U. Besenfelder (2015): Nutrition and rumen health in the peripartal period and their role on overall health and fertility in dairy cows. *Vet. Res.* 103, 126-136.

KAPITEL 2

Inhalt der Arbeit

Mit dem steigenden Leistungsvermögen der Milchkühe und der begrenzten Futteraufnahmekapazität gewinnt eine entsprechende Ausgestaltung der Fütterung vor dem Hintergrund einer bedarfsdeckenden Energie- und Nährstoffversorgung an Bedeutung. Dabei erfordern differenzierte Standortfaktoren und einzelbetriebliche Strukturen unterschiedliche Fütterungsstrategien und Lösungsansätze. Entscheidende Größen sind unter anderem die Aufbereitung sowie die sensorischen und physikalischen Eigenschaften der eingesetzten Grobfutter, die Energiedichte des Grobfutters und die Kraftfuttermenge. Im Folgenden werden deshalb die Auswirkungen unterschiedlicher Rationsgestaltungen auf die Futteraufnahme und die Leistung von Kühen der Rasse Deutsche Holstein beschrieben. Im Mittelpunkt der Auswertungen steht stets die Energie- und Nährstoffverwertung der Milchkühe in Abhängigkeit der Rationszusammensetzung auf Basis der Grobfutterqualität bzw. -aufbereitung und des Kraftfuttoreinsatzes.

In der ersten Studie (Kapitel 3) sollte der langfristige Einfluss unterschiedlicher Energiedichten im Grobfutter sowie unterschiedlicher Kraftfuttermengen auf die Futteraufnahme und die Milchleistungsmerkmale ermittelt werden. Mit vier Fütterungsintensitäten wurde die Spannweite praxisüblicher Rationszusammensetzungen abgedeckt, um konkrete Empfehlungen für die landwirtschaftliche Praxis ableiten zu können. Dabei wurde besonderes Augenmerk auf die Reaktion genetisch hochveranlagter Kühe der Rasse Deutsche Holstein auf eine deutlich differenzierte Energieversorgung in der Frühlaktation gelegt. Die zugrundeliegende Hypothese war, dass unter Beachtung der Empfehlungen des Ausschusses für Bedarfsnormen der Gesellschaft für Ernährungsphysiologie (GfE, 2001) und der DLG (2001) zur Versorgung von Milchkühen mit Nährstoffen und Struktur bei guten Managementbedingungen unterschiedliche Fütterungsintensitäten unter Beachtung von Tiergesundheit und Tierwohl möglich sind.

In der Milchkuhfütterung haben Grobfutterkomponenten eine besondere Bedeutung. Sie stellen die Grundlage jeder Milchkuhration dar. In Folge ihrer physikalischen Eigenschaften sollen sie einen ausreichenden Speichelfluss, stabile pH-Werte in den Vormägen und eine Schichtung des Vormageninhaltes gewährleisten (Steingass und Zebeli, 2008). Eine der weltweit

bedeutsamsten Grundkomponenten in der Rationsgestaltung hochleistender Milchkühe stellt Maissilage dar. Diese enthält neben hohen Stärkegehalten auch beachtliche Mengen an strukturwirksamen Gerüstsubstanzen und dient damit nicht nur als Energiequelle, sondern auch als Strukturkomponente. Nach umfangreichen Versuchstätigkeiten in den Jahren 2005 bis 2007 wird in Deutschland eine theoretische Häcksellänge bei der Ernte von Silomais für die Wiederkäuerfütterung von 5 bis 8 mm empfohlen (Spiekers et al., 2009). Seit einigen Jahren wird in den USA über eine neuartige Erntetechnik berichtet. Bei diesem Verfahren wird die Maispflanze auf Partikelgrößen von 26 bis 30 mm geschnitten. Eine besondere Bauform gegenläufiger Zerkleinerungswalzen ermöglicht zusätzlich eine starke Nachzerkleinerung der Maiskörner und ein Aufspießen der Restpflanzenbestandteile in Längsrichtung. Dieses Verfahren soll die Strukturwirksamkeit der Ration erhöhen und gleichzeitig, in Folge der intensiven Zerkleinerung der Maiskörner, eine bessere Nutzung der energiereichen Maiskörner ermöglichen. Ergebnissen aus den USA war zu entnehmen, dass der Einsatz von Shredlage-Maissilage mit einer theoretischen Häcksellänge von bis zu 30 mm insgesamt eher positive Effekte auf die Futteraufnahme und die Milchleistung der Kühe hatte (Ferraretto und Shaver, 2012; Vanderwerff et al., 2015; Flis, 2015; Chase, 2015). In den amerikanischen Studien wurden die Kontrollvarianten mit 19 mm tHL gehäckselt und lagen damit weit über den deutschen Empfehlungen zur optimalen Häcksellänge. Zudem werden in den USA andere Mais-Genotypen eingesetzt als in Mitteleuropa. Aus diesen Gründen sind die Ergebnisse aus den USA nicht ohne Weiteres auf deutsche Verhältnisse übertragbar, so dass Versuchsanstellungen unter hiesigen Produktionsbedingungen notwendig wurden. In Kapitel vier dieser Arbeit werden die Ergebnisse aus deutschen Versuchseinrichtungen zum Einsatz dieser neuartigen Häckseltechnik zusammengefasst und diskutiert.

Neben den chemischen und physikalischen Eigenschaften der eingesetzten Futtermittel spielt das Fressverhalten der Kühe bei der bedarfsgerechten Versorgung eine entscheidende Rolle. Kühe sind in der Lage durch Kopf- und Maulbewegungen vorgelegte Rationen zu entmischen und selektiv vermehrt feine Futterpartikel zu fressen. Daraus kann sich, abweichend von der Rationskalkulation, eine forcierte Aufnahme an leicht verdaulichen Kohlenhydraten und eine geringere Aufnahme an Faserkomponenten ergeben, in deren Folge subakute Pansenazidosen möglich sind. Eine Wasserzugabe zu trockenen Gesamtmischrationen (total mixed ration, TMR) wurde von Shaver (2002) und Leonardi et al. (2005) als eine Möglichkeit beschrieben, das Selektionsverhalten von Kühen beim Fressen zu reduzieren. Ziel der vorliegenden dritten

Studie (Kapitel 5) war es deshalb den Einfluss einer Wasserzugabe zu einer TMR auf das Fressverhalten, die Futteraufnahme und die Milchleistungsparameter sowie die Temperaturentwicklung in der vorgelegten Ration zu erarbeiten. Die zugrundeliegende Hypothese war eine Verminderung der selektiven Futteraufnahme und eine daraus folgende gesteigerte Futteraufnahme der Tiere, die eine feuchtere Ration erhalten.

LITERATUR

Chase, L. E. (2015): Shredlage in Dairy Cattle Rations, Cornell Nutrition Conference, Cornell University, <https://ecommons.cornell.edu/handle/1813/41239> (Zugriff am 17.09.2017).

Ferraretto, L. F. und R. D. Shaver (2012): Effect of corn shredlage on lactation performance and total tract starch digestibility by dairy cows. *The Prof. Anim. Sci.* 28, 639-647.

Flis, S. (2015): What did we learn about shredlage? Dairy One, Measurement to Management, <http://dairyone.com/wp-content/uploads/2016/07/What-did-we-learn-about-shredlage-2015.pdf> (Zugriff am: 17.09.2017).

GfE (2001): Empfehlungen zur Energie- und Nährstoffversorgung der Milchkühe und Aufzuchttrinder. Heft 8, DLG-Verlag, Frankfurt a. Main.

DLG (2001): Struktur- und Kohlenhydratversorgung der Milchkuh, DLG-Information 1/2001 des DLG-Arbeitskreis Futter und Fütterung, DLG Verlag, Frankfurt a.M.

Leonardi, C., F. Giannico und L. E. Armentano (2005): Effect of Water on Selective Consumption (Sorting) of Dry Diets by Dairy Cattle. *J. Dairy Sci.* 88, 1043-1049.

Steingass, H. und Q. Zebeli (2008): Strukturbewertung von Rationen für die Milchkuh. 35. Viehwirtschaftliche Fachtagung, Raumberg-Gumpenstein 2008, 19-25.

Shaver, R. D. (2002): Rumen acidosis in dairy cattle: Bunk management considerations. *Adv. Dairy Technol.* 14, 241-249.

Spiekers, H., T. Ettle, W. Preissinger und M. Pries (2009): Häcksellänge und Strukturwert von Maissilage. *Übers. Tierernährg.* 37, 91-102.

Vanderwerff, L. M., L. F. Ferraretto und R. D. Shaver (2015): Brown midrib corn shredlage in diets for high-producing dairy cows. *J Dairy Sci.* 98, 5642-5652.

KAPITEL 3**Einfluss der Energiedichte im Grobfutter und der Kraftfuttermenge auf die Futteraufnahme, das Wiederkauverhalten und die Milchleistung von Milchkühen der Rasse Deutsche Holstein in der Gesamtlaktation****Jana Denißen^{1,2*}, Silke Beintmann¹, Sebastian Hoppe¹, Ekhard Stamer³, Hubert Spiekers⁴, Martin Pries⁵ und Karl-Heinz Südekum²**

¹Versuchs- und Bildungszentrum Landwirtschaft Haus Riswick, Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen, Elsenpass 5, 47533 Kleve

²Institut für Tierwissenschaften, Rheinische Friedrich-Wilhelms Universität Bonn, Endenicher Allee 15, 53115 Bonn

³TiDa Tier und Daten GmbH, Bosseer Str. 4c, 24259 Westensee/Brux

⁴Institut für Tierernährung und Futterwirtschaft, Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Prof.-Dürrwaechter-Platz 3, 85586 Poing-Grub

⁵Fachbereich Tierhaltung und Tierzuchtrecht, Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen, Ostinghausen-Haus Düsse, 59505 Bad Sassendorf

*e-mail: jana.denissen@lwk.nrw.de

ZUSAMMENFASSUNG

Im Rahmen des Verbundprojektes „optiKuh“ wurde in den Milchkuhversuchsställen des VBZL Haus Riswick der Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen, Kleve, in den Jahren 2015 und 2016 ein Fütterungsversuch mit 48 Milchkühen in vier Versuchsgruppen durchgeführt. Die vier Versuchsgruppen unterschieden sich durch die Energiedichte im Grobfutter sowie die Höhe der Energieversorgung mit Milchleistungsfutter. Trotz unterschiedlicher Energieversorgungsniveaus kam es bei Betrachtung der Gesamtlaktation zu keinen Unterschieden in der Gesamtfutteraufnahme. Es konnte jedoch bei einer höheren Energiedichte im Grobfutter eine stärkere Grobfutterverdrängung festgestellt werden. Die Energiedichte im Grobfutter hatte einen größeren Effekt auf die energiekorrigierte Milchleistung, als die Kraftfuttermenge, so dass mit energiedichtem Grobfutter Kraftfutter ersetzt werden kann. Die durchschnittlichen Energiesalden unterschieden sich zwischen den Gruppen mit der geringsten und der höchsten Energieversorgung. Die genaue Betrachtung der Energiesalden legt eine Überprüfung der Berücksichtigung des Verdaulichkeitsrückganges mit steigendem Ernährungsniveau nahe. Die Gesamtbetrachtung der vorliegenden Ergebnisse (Trockenmasse-Aufnahme, Milchleistungsmerkmale, Wiederkaudauer) lässt darauf schließen, dass alle Fütterungsintensitäten in der Praxis eingesetzt werden können.

Schlüsselwörter: Energiebilanz, Grobfutter, Kraftfutter, Laktation, optikuh, Verdrängung, Wiederkauen

Effects of energy density of forage and amount of concentrates on feed intake, rumination behaviour and performance of German Holstein cows during a whole lactation

SUMMARY

Within the nationwide project “optiKuh” a feeding trial was carried out with 48 dairy cows allotted to four experimental groups in the years 2015 and 2016 at the Experimental and Educational Centre for Agriculture ‘Haus Riswick’, Chamber of Agriculture of North Rhine-Westphalia, Kleve, Germany. The rations fed to cows in the four groups differed in regard to energy density of the forage and energy supply from concentrates. Level of energy supply did not affect total dry matter intake during the entire lactation. With greater energy density of forage, forage dry matter intake decreased in favour of the intake of concentrates. The impact of energy density of forage on yields of energy-corrected milk was greater than the effect of concentrate supply indicating that energy-rich roughage can reduce the amount of concentrates. The energy balance differed between groups with the highest and the lowest energy supply. In-depth data analysis indicated that greater dry matter intake results in a more pronounced decrease in ration digestibility than currently assumed. Considering all response variables together such as dry matter intake, milk yield and composition, ruminating behaviour, it can be stated that all rations of this study can be used for on-farm feeding of dairy herds.

Keywords: concentrates, energy balance, lactation, optikuh, roughage, rumination, substitution

EINLEITUNG

Eine wiederkäuergerechte Rationsgestaltung zur Gesunderhaltung der Tiere mit gleichzeitigem Blick auf die Wirtschaftlichkeit und die Umweltwirkung ist der Grundbaustein für eine zukunftsfähige, erfolgreiche und nachhaltige Milchproduktion. Dabei ist eine angepasste Fütterung mit den richtigen Anteilen an energiereichen und strukturwirksamen Futtermitteln eine wichtige Einflussgröße. Eine Unterversorgung der Tiere mit strukturwirksamen Komponenten kann zu deutlich reduzierten pH-Werten im Pansen führen (Zebeli et al., 2012), die Vorlage einer zu strukturreichen Ration kann dagegen einen Rückgang der Trockenmasse-(TM)-Aufnahme bewirken (Zebeli et al., 2015). Die Optimierung des Verhältnisses zwischen strukturreichem Grobfutter und energiereichem Kraftfutter ist somit eine wichtige Herausforderung für eine angemessene Versorgung der Kühe. Vor diesem Hintergrund wird deshalb schon seit vielen Jahren über die optimale Kraftfuttermenge beziehungsweise das optimale Verhältnis zwischen Grob- und Kraftfuttermenge diskutiert. Mit dem Einsatz von zusätzlichem Kraftfutter steigt die Energieaufnahme und somit die Milchleistung der Kühe an, allerdings nicht linear, sondern in degressiver Form (Gruber et al., 2012).

Ursächlich hierfür ist zum einen die mit der steigenden Kraftfuttermenge zunehmende Grobfutterverdrängung sowie eine abnehmende Verwertung der umsetzbaren Energie für die Milchbildung bei einer Energieversorgung oberhalb des Bedarfs (Gruber et al., 2012). Weitere Einflussfaktoren auf die Reaktion der Tiere auf unterschiedliche Grob- und Kraftfuttermengen sind die Energiedichte und die Verdaulichkeit des eingesetzten Grobfutters (Montgomery et al., 1971; Ferris et al., 2001). Ebenso stellten Gruber et al. (2012) fest, dass auch die Zusammensetzung des Kraftfutters und der ruminale Abbau der verwendeten Komponenten einen signifikanten Einfluss auf die Futteraufnahme und die Milchleistung haben. Die beschriebenen Einflussgrößen auf die Reaktion der Tiere verdeutlichen die Komplexität einer angepassten Rationsgestaltung, welche im Laufe der Laktation unterschiedlichen Anforderungen gerecht werden muss. Im vorliegenden Versuch, der im Rahmen des Verbundprojektes „optiKuh“ durchgeführt wurde, sollten der langfristige Einfluss unterschiedlicher Energiedichten im Grobfutter sowie unterschiedlicher Kraftfuttermengen auf die Futteraufnahme und die Milchleistungsmerkmale ermittelt werden. Mit vier Fütterungsintensitäten wurde die Spannweite praxisüblicher Rationszusammensetzungen abgedeckt, um konkrete Empfehlungen für die landwirtschaftliche Praxis ableiten zu können. Dabei wurde ein besonderes Augenmerk auf die Reaktion genetisch hochveranlagter Kühe der

Rasse Deutsche Holstein auf eine deutlich differenzierte Energieversorgung in der Frühlaktation gelegt. Im Verbundvorhaben „optiKuh“ (Spiekers et al., 2017) wurden an verschiedenen Forschungseinrichtungen abgestimmte Langzeitstudien zur Intensität der Milchkuhfütterung durchgeführt. Hierbei liegt den Arbeiten die Hypothese zu Grunde, dass bei Einhaltung „guter fachlicher Praxis“ unterschiedliche Intensitäten unter Beachtung von Tiergesundheit und Tierwohl möglich sind.

MATERIAL UND METHODEN

Im Rahmen des Verbundprojektes „optiKuh“ wurde in den Milchkuhversuchsställen des VBZL Haus Riswick der Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen, Kleve, vom 12. Januar 2015 bis zum 10. Januar 2017 ein Fütterungsversuch mit 48 Milchkühen durchgeführt. In diesem Versuch sollte der langfristige Effekt der Energieversorgung sowie der Rationszusammensetzung auf die Leistung und die Effizienz hochleistender Kühe der Rasse Deutsche Holstein ermittelt werden. Die Datenerhebungen an den Kühen wurden sowohl im Laufe der Laktation als auch in der Trockenstehphase vorgenommen.

Tiere und Versuchsaufbau

Zu Versuchsbeginn wurden 48 laktierende Kühe der Rasse Deutsche Holstein gleichmäßig nach den Kriterien Laktationsnummer, Laktationstag, Milchleistung und Lebendmasse in vier Versuchsgruppen mit jeweils 12 Kühen eingeteilt, der Anteil erstlaktierender Kühe betrug 30 %. Tiere, die in der Versuchszeit z. B. auf Grund von Unfruchtbarkeit abgingen, wurden durch Färsen zur ersten Kalbung ersetzt. Der Austausch sollte dabei zum üblichen Trockenstelltermin der abgehenden Kuh etwa 7 Wochen vor dem Kalbetermin der Färsen erfolgen. Die vier Versuchsgruppen ergaben sich aus der unterschiedlichen Versorgung hinsichtlich der Energiedichte im Grobfutter (niedrig (N): 6,1 MJ Nettoenergie Laktation (NEL)/kg TM und hoch (H): 6,5 MJ NEL/kg TM) sowie der Höhe der Energieversorgung mit Milchleistungsfutter (MLF) (150 g MLF/kg energiekorrigierte Milch (ECM) und 250 g MLF/kg ECM). Es wurden folgende Gruppenbezeichnungen für die Kombination von Grobfutterqualität und Kraftfutterniveau gewählt: N150, N250, H150, H250.

Laktierende Erst- und Mehrkalbskühe

Die laktierenden Kühe wurden mit aufgewerteten Teilmischrationen (partial mixed ration, PMR) gefüttert, die einmal täglich mit einem selbstfahrenden Futtermischwagen gemischt und den Tieren um 6:30 Uhr frisch vorgelegt wurden. Die beiden Rationen (Energiekonzentration im Grobfutter N und H) bestanden aus den Komponenten Maissilage, Grassilage, Weizenstroh, Rapsextraktionsschrot, Mineralfutter und zeitweise Futterharnstoff. Es wurden in beiden Gruppen identische Futtermittel eingesetzt, die Differenz im Energiegehalt wurde über das Beimischen von Stroh in unterschiedlichen Anteilen erreicht. Die durchschnittliche Rationszusammensetzung ist in Tabelle 1 dargestellt.

Tab. 1: Durchschnittliche Mengenanteile (% der Trockenmasse, TM) der eingesetzten Futtermittel in den Teilmischrationen der Versuchsgruppen N und H sowie der einphasigen Trockensteherration

Ingredient composition of the experimental partial mixed rations low (N) and high (H) and the ration fed during the dry period in % of dry matter (DM)

	TM* %	N	H	Trockensteher
Maissilage	35,0	41,7	47,6	34,8
Grassilage	37,2	32,6	36,9	29,2
Futterstroh	86,0	12,0	2,6	22,9
Rapsextraktionsschrot	88,0	12,0	11,3	12,3
Mineralfutter laktierend	95,0	1,3	1,2	
Mineralfutter trocken	95,0			0,8
Futterharnstoff	95,0	0,4	0,4	

*Durchschnittlicher Trockenmassegehalt des jeweiligen Futtermittels im gesamten Versuchszeitraum

N: Fütterungsvariante mit 6,1 MJ NEL/kg TM im Grobfutter; H: Fütterungsvariante mit 6,5 MJ NEL/kg TM im Grobfutter; Trockensteher: Einheitliche Fütterung aller Versuchstiere während der Trockenstehphase

Tabelle 2 gibt einen Überblick über die Zusammensetzung des MLF und die chemische Zusammensetzung der Kraft- und Grobfuttermittel. Bei den Grassilagen handelte es sich um Folgeschnitte. Die Berechnung des Strukturwertes (SW) erfolgte nach den Erkenntnissen von De Brabander et al. (1999) mit folgenden Gleichungen:

$$\text{Grassilage: SW} = (0,0125 \times \text{XF}) - 0,2$$

$$\text{Maissilage: SW} = (0,0090 \times \text{XF}) - 0,1$$

$$\text{Kraftfutter: SW} = 0,321 + (0,00098 \times \text{XF}) + (0,00025 \times \text{bXS}) - (0,00112 \times (\text{XZ} + a \times (\text{XS} - \text{bXS})))$$

XF = Rohfaser (g/kg TM); XS = Stärke (g/kg TM); bXS = beständige Stärke (g/kg TM); XZ = Zucker (g/kg TM); a = 0,9 – (1,3 x XS-Beständigkeit (%))

Die Gehalte an bXS des Milchleistungsfutters wurden anhand der Werte der Mischfutterkomponenten nach DLG (2001) errechnet. Der SW des Weizenstrohs wurde aus den DLG-Futterwerttabellen entnommen (Universität Hohenheim – Dokumentationsstelle, 1997).

Tab. 2: Zusammensetzung des eingesetzten Milchleistungsfutters (MLF) und Nährstoffgehalte der eingesetzten Futtermittel
 Components and chemical composition of the concentrates and the roughages in the experimental diets

	Krafftutter		Grobfutter			
	MLF	RES	MS	GS	Stroh	
Komponenten in % der FM						
Rapsextraktionsschrot	29					
Mais	23					
Weizen	15					
Trockenschnitzel	13					
Weizenkleberfuttermehl	12					
Vinasse (Rübe)	4					
Weizenkleie	3					
Calciumkarbonat	0,7					
Natriumchlorid	0,1					
Vitamine und Spurenelemente	0,2					
Inhaltsstoffe pro kg TM						
Trockenmasse	g/kg	885	880	351	411	860
Nettoenergie Laktation	MJ	8,2	7,3	6,9	6,3	3,5
Rohprotein	g	205	378	67	156	37
nutzbares Rohprotein am Duodenum	g	201	250	133	138	74
Ruminale Stickstoffbilanz	g	0,8	20	- 11	3	- 6
Rohfett	g	36	48	34	41	13
Rohfaser	g	64	138	187	244	429
Rohasche	g	60	82	34	105	78
Strukturwert		0,2	0,3	1,6	2,9	4,3
Stärke	g	362	59	357	n.a.	n.a.
beständige Stärke	g	68	1	52	n.a.	n.a.
Zucker	g	107	102	2	56	n.a.
aNDFom	g	246	307	358	437	780
ADFom	g	120	234	204	256	480
NFC	g	453	188	505	261	92

TM: Trockenmasse; FM: Frischmasse; MLF: Milchleistungsfutter; RES: Rapsextraktionsschrot; MS: Maissilage; GS: Grassilage; n.a.: nicht analysiert; aNDFom: Neutral-Detergenzien-Faser nach Amylasebehandlung und Veraschung, ADFom: Säure-Detergenzien-Faser nach Veraschung; NFC: Nichtfaser-Kohlenhydrate

In Tabelle 3 sind die Energiegehalte sowie die Kennzahlen zur Beschreibung des Proteinwertes und der Strukturwirksamkeit der PMR und der Trockensteherration dargestellt. Es wurden die zuvor festgelegten Zielgrößen bezüglich der Energie- und Proteinversorgung eingehalten.

Tab. 3: Analytierte Energie- und Proteingehalte sowie die Kennzahlen zur Beschreibung der Strukturversorgung der gefütterten Rationen während der Laktation und der Trockenstehphase

Estimated contents of energy, protein and fiber of the different experimental rations and the ration fed during the dry period

	Einheit	N	H	Trockensteher
TM	%	42,1	39,3	46,1
Netto Energie Laktation	MJ	6,2	6,6	5,9
Rohprotein	g/kg TM	137	141	123
nutzbares Rohprotein am Duodenum	g/kg TM	140	145	134
Rohfaser	g/kg TM	222	201	252
Strukturwert		2,1	1,9	2,4
aNDFom	g/kg TM	420	384	472

N: Fütterungsvariante mit 6,1 MJ NEL/kg TM im Grobfutter; H: Fütterungsvariante mit 6,5 MJ NEL/kg TM im Grobfutter; Trockensteher: Einheitliche Fütterung aller Versuchstiere während der Trockenstehphase; TM: Trockenmasse; aNDFom: Neutral-Detergenzien-Faser nach Amylasebehandlung und Veraschung

Die PMR stand den Kühen zur ad libitum-Aufnahme in Wiegetrögen (Waagen Döhrn, Wesel, Deutschland), mit transpondergesteuerten Türen zur Identifizierung jedes Besuches und zur Messung der individuellen Futteraufnahme zur Verfügung. An Kraftfutterstationen (GEA Farm Technologies, Bönen, Deutschland) konnten die Kühe zusätzlich eine individuell zugeteilte Kraftfuttermenge abrufen. Das pelletierte MLF hatte einen Energiegehalt von 8,2 MJ NEL/kg TM und einen Rohproteingehalt von 20,5 % in der TM (Tab. 2). Die Kraftfutterzuteilung erfolgte wöchentlich anhand zuvor festgelegter Kraftfutterkurven, die in Abbildung 1 dargestellt sind. Die Kühe hatten jederzeit freien Zugang zu Wasser und Salzlecksteinen.

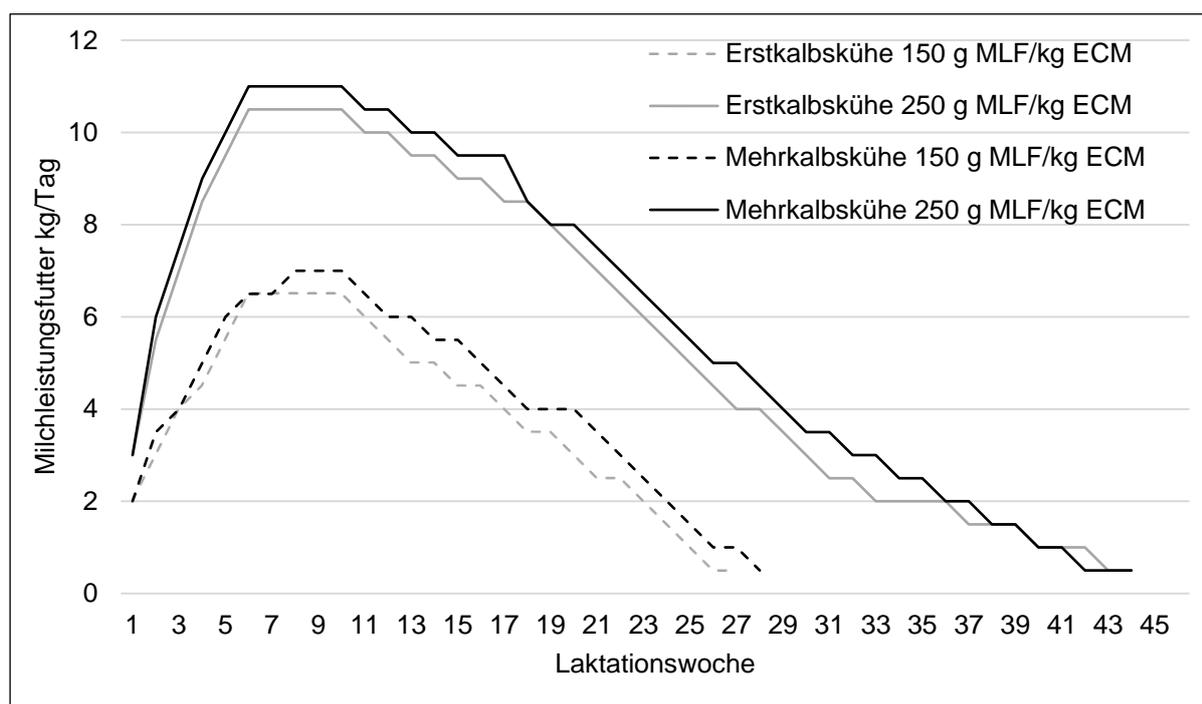


Abb. 1: Zuteilung von Milchleistungsfutter über die Krafftutterstation im Laktationsverlauf

Allocation of concentrates at the concentrate feeder in the course of the lactation

MLF: Milchleistungsfutter, ECM: Energiekorrigierte Milch

Die Kühe wurden zweimal täglich um 5:00 Uhr und um 16:30 Uhr in einem 32er Außenmelkerkarussell (AutoRotor Performer, GEA Farm Technologies, Bönen, Deutschland) gemolken. Die Milchmenge wurde täglich erfasst. Wöchentlich wurde eine Milchkontrolle durchgeführt. Die aliquoten Proben des Abend- und Morgengemelkes wurden beim Landeskontrollverband Nordrhein-Westfalen (Krefeld) auf den Fett-, Protein-, Laktose- und Harnstoffgehalt sowie die Anzahl an somatischen Zellen analysiert. Fett-, Protein- und Harnstoffgehalt wurden mittels mittlerer Infrarotspektroskopie bestimmt (MilkoScan FT+, Foss Electric, Hillerød, Dänemark). Die Anzahl somatischer Zellen wurde mit einer fluoreszenzoptischen Zählung ermittelt (Fossomatic FC, Foss Electric, Hillerød, Dänemark). Auf Grundlage der Analysenergebnisse wurde wöchentlich die ECM (standardisiert auf 4 % Fett und 3,4 % Eiweiß) nach Vorgabe der Gesellschaft für Ernährungsphysiologie (GfE, 2001) berechnet:

$$\text{ECM (kg/d)} = \text{Milchleistung (kg/d)} \times \left(\frac{((0,38 \times \text{Fett (\%)} + 0,21 \times \text{Protein (\%))} + 1,05)}{3,28} \right)$$

Die laktierenden Kühe wurden zweimal täglich nach dem Melken mit einer elektronischen Überlaufwaage gewogen (Taxatron 5000, GEA Farm Technologies, Bönen, Deutschland). Die

Waage befand sich im Rücktrieb des Melkkarussells. Die Beurteilung der Körperkondition erfolgte monatlich nach dem Beurteilungsschema von Edmonson et al. (1989).

Aus den Energieaufnahmen aus der PMR und dem Kraftfutter konnte für jedes Tier wöchentlich der Energiesaldo (ES) mit folgender Gleichung errechnet werden (GfE, 2001):

$$\text{Energiesaldo (MJ NEL/d)} = \text{Energieaufnahme (MJ NEL/d)} - \text{Energiebedarf (MJ NEL/d)}$$

Energiebedarf = Erhaltungsbedarf + Energiebedarf für Milchbildung + Energiebedarf während der Trächtigkeit (*Ansatz in Uterus und Euter*) + Energiebedarf für maternales Wachstum von Erstlaktatierenden

$$\text{Erhaltungsbedarf (MJ NEL/d)} = 0,293 \times (\text{kg Lebendmasse})^{0,75}$$

$$\text{Energiebedarf für Milchbildung (inklusive Zuschlag für erhöhtes Ernährungsniveau) (MJ NEL/kg)} = 0,38 \times \text{Fett (\%)} + 0,21 \times \text{Protein (\%)} + 0,95 + 0,1$$

$$\text{Energiebedarf während der Trächtigkeit (MJ NEL/d)} = (0,044 \times e^{0,0162 \times t} + \text{Ansatz im Euter}) / 0,29$$

wobei: t = Anzahl Tage nach der Konzeption

Ansatz im Euter: 8. bis 7. Woche vor dem Kalben: 0,8 MJ/d

6. bis 4. Woche vor dem Kalben: 1,1 MJ/d

3. Woche bis zum Kalben: 1,5 MJ/d

Teilwirkungsgrad Verwertung der Energie für Konzeptionsprodukte: 0,29 (berechnet)

Energiebedarf für Lebendmassezuwachs in der 1. Laktation (MJ NEL/d) =

Lebendmasse (kg) nach der Abkalbung $\times 0,15/380 \times 20$ MJ NEL

Bei Tieren in der ersten Laktation wurde ein Lebendmassezuwachs von 15 % zur Lebendmasse bei der Kalbung als Bedarf für Wachstum linear über die gesamte Laktation und Trockenstehzeit in Ansatz gebracht. Die Berechnung der ECM und des ES erfolgte im Verbundprojekt einheitlich nach einem gemeinsamen Beschluss.

Zur Messung der Wiederkauaktivität wurde das Heatime HR System der Firma SCR Engineers Ltd (Netanya, Israel) genutzt. Sechs Tieren pro Fütterungsgruppe wurde ein SCR HR Sensor an der linken oberen Halsseite angebracht.

Trockenstehende Kühe

Die Kühe wurden 42 bis 49 Tage ante partum (a.p.) oder bei einer Milchleistung <13 kg/Tag trockengestellt. Die Tiere erhielten eine einphasige Trockensteherration nach den Vorgaben der Deutschen Landwirtschafts-Gesellschaft (DLG, 2012), die ihnen einmal täglich um 8:00 Uhr in Form einer TMR aus Maissilage, Grassilage, Stroh, Rapsextraktionsschrot und Mineralfutter vorgelegt wurde. Die durchschnittlichen Mengenanteile und Nährstoffgehalte sind in Tabelle 2 dargestellt. Während der Trockenstehphase wurde die tägliche Futteraufnahme mit Hilfe von Wiegetrögen (Westfalia Separator, Oelde, Deutschland und Calan, Northwood, New Hampshire, USA) erfasst. Die Ermittlung der Lebendmassen zum Trockenstellen und 14 Tage vor dem errechneten Kalbetermin wurden mit der zuvor beschriebenen Waage vorgenommen.

Datenerfassung, chemische Analysen und Kalkulationen

Die TM-Gehalte der Rationen wurden täglich nach einer 24-stündigen Trocknung bei 105 °C im Trockenschrank bestimmt (Bundessortenamt, 2014). Die TM wurde anschließend nach Weißbach und Kuhla (1995) mit folgender Gleichung um die Verluste flüchtiger Substanzen korrigiert:

$$TM_{\text{kor}} (\%) = 2,08 + 0,975 \times TM (\%)$$

Die tägliche TM-Aufnahme wurde tierindividuell auf Grundlage der automatisch erfassten Futteraufnahme der PMR, des TM_{kor} -Gehaltes und der Kraftfutteraufnahme an der Kraftfutterstation berechnet. Von den Anschnittflächen der Silomieten wurden wöchentlich Proben entnommen, zu einer Sammelprobe zusammengefasst und bei -20 °C gelagert. Daraus wurde eine repräsentative Probe für die chemische Analyse erstellt. Von jeder Kraftfutterlieferung wurde eine Futterprobe entnommen und bei -20 °C tiefgefroren. Aus den Proben von drei Futterlieferungen wurde eine Sammelprobe erstellt. Alle chemischen Analysen wurden nach den Vorgaben der VDLUFA (2012) durchgeführt. Alle Komponenten der PMR wurden individuell analysiert und die chemische Zusammensetzung der an die Tiere verfütterten Rationen auf Basis der Analysen der Einzelfuttermittel berechnet.

Statistische Analyse

Die beschriebenen Ergebnisse beziehen sich auf Versuchsdaten, die zwischen dem 12.01.2015 und dem 30.06.2016 erfasst wurden. Die Plausibilisierung der Parameter TM-Aufnahme, Milchmenge und Lebendmasse während der Laktation (ab dem 5. Laktationstag (LT)) post partum (p.p.) erfolgte automatisiert. Werte, die um mehr als 3 Standardabweichungen vom Mittelwert abwichen, wurden aus dem Datensatz entfernt. Während der Trockenstehphase (bis Tag 5 ante partum (a.p.)) erfolgte der Ausschluss der Werte ab einer Abweichung von 2 Standardabweichungen vom Mittelwert. Der Zeitraum 4 Tage a.p. bis 5 Tage p.p. wurde von der Datenplausibilisierung und der Datennutzung ausgeschlossen. Zur Auswertung der Ergebnisse in der Trockenstehphase wurden Daten vom 54. bis zum 5. Tag a.p. genutzt, in der Laktationsphase wurde Zeitraum vom 6. bis zum 350. Tag p.p. ausgewertet.

Die statistische Auswertung erfolgte mit der Software SAS (Statistical Analysis System, Institute Inc., Cary, NC, USA, Version 9.4) mit der Prozedur MIXED. Die Auswertung erfolgte getrennt nach Laktations- und Trockenstehphase. Die gemischten, linearen Wiederholbarkeitsmodelle berücksichtigten als fixe Effekte die Kalenderwoche, die Fütterungsvariante, die Laktationsnummernklasse (4 Klassen: 1., 2., 3., ≥ 4 . Laktation) und die Interaktion Fütterungsvariante*Laktationsnummernklasse. In der Laktation wurde zusätzlich der Einfluss des Laktationstages auf das Zielmerkmal mit den vier Kovariablen nach Ali und Schaeffer (1987) modelliert. Bei der Betrachtung der Laktationsverläufe fand die Interaktion zwischen Fütterungsvariante und Laktationsnummernklasse auf Grund fehlender Signifikanzen keine Berücksichtigung. Sowohl in der Laktations- als auch in der Trockenstehphase wurde der zufällige Effekt der Kuh berücksichtigt. Der Einfluss der Fütterungsvariante wurde mit Hilfe eines multiplen Mittelwertvergleiches unter Berücksichtigung der Bonferroni-Korrektur untersucht.

ERGEBNISSE

Für die Auswertung des Fütterungsversuches wurden Datensätze von 74 Kühen genutzt. In der Gruppe N150 waren 6 Kühe über die gesamte Versuchsdauer im Versuch, in der Gruppe N250 waren es 10 Kühe, in der Gruppe H150 11 Kühe und in der Fütterungsvariante H250 verblieben 7 Kühe über 535 Tage im Versuch. Die übrigen Kühe verließen den Versuch aufgrund unterschiedlicher Ursachen vorzeitig. In Tab. 4 sind die Ursachen für das Ausscheiden aus dem

Versuch und die Häufigkeiten für die Versuchsgruppen dargestellt. Alle Kühe, die aus dem Versuch ausschieden, wurden durch frisch abgekalbte Erstlaktierende ersetzt. Zu den Festlegungen im Verbundprojekt gehörte, dass Tiere, die am 180. Laktationstag nicht tragend waren, den Versuch nach Abschluss der Laktation verlassen mussten.

Tab. 4: Anzahl der abgegangenen Tiere nach Abgangsursache im gesamten Versuchszeitraum
Number of cows leaving the trial untimely with causes of losses

	Euter	Fruchtbarkeit*	Stoffwechsel	Sturz	Verkalbung	gesamt
N150		5	1	1		7
N250		2				2
H150	1	1	1			3
H250		3		2	1	6
gesamt	1	11	2	3	1	18

*Kühe, die nach dem 180. Laktationstag nicht tragend waren, mussten den Versuch verlassen,

N150: Fütterungsvariante mit 6,1 MJ NEL/kg TM im Grobfutter und 150 g MLF/kg ECM; N250: Fütterungsvariante mit 6,1 MJ NEL/kg TM im Grobfutter und 250 g MLF/kg ECM; H150: Fütterungsvariante mit 6,5 MJ NEL/kg TM im Grobfutter und 150 g MLF/kg ECM; H250: Fütterungsvariante mit 6,5 MJ NEL/kg TM im Grobfutter und 250 g MLF/kg ECM; NEL: Netto Energie Laktation, TM: Trockenmasse, MLF: Milchleistungsfutter, ECM: Energiekorrigierte Milchmenge

Die jährliche Remontierungsrate lag in Gruppe N150 bei 37 %, in Gruppe N250 bei 10 %, in Gruppe H150 bei 16 % und in Gruppe H250 bei 31 %. Die durchschnittliche Laktationszahl lag in Gruppe N150 bei 2,3 mit einer Standardabweichung (SD) von 1,4, in Gruppe N250 bei 2,8 (SD: 1,3), in Gruppe H150 bei 2,9 (SD: 1,3) und in Gruppe H250 bei 2,6 (SD: 1,5). Die durchschnittliche Dauer (Anzahl an Tagen) der Kühe im Versuch betrug in Gruppe N150 347 (SD: 153) Tage, in Gruppe N250 434 (SD: 153) Tage, in Gruppe H150 408 (SD: 184) Tage und in Gruppe H250 363 (SD 164) Tage.

Bei den laktierenden Kühen ergaben sich im Zeitraum vom 6. bis zum 350. Laktationstag keine Unterschiede zwischen den vier Versuchsgruppen hinsichtlich der TM-Aufnahme der PMR aus dem Wiegetrog (Tab. 5). Die Kühe der mit 250 g Kraftfutter/kg ECM gefütterten Gruppen nahmen etwas mehr TM auf, die Differenzen waren jedoch nicht statistisch abgesichert. Die aus den Futterraufnahmen und den Energiegehalten der eingesetzten Futtermittel errechneten

Energieaufnahmen unterschieden sich jedoch signifikant. In der Gruppe N hatte der zusätzliche Einsatz von 100 g MLF/kg ECM einen Einfluss auf die Energieaufnahme ($p \leq 0,05$). Insgesamt lag die TM-Aufnahme in allen Gruppen auf hohem Niveau. Während der Trockenstehperiode ergaben sich ebenfalls keine signifikanten Unterschiede hinsichtlich der TM-Aufnahme zwischen den Versuchsgruppen.

Tab. 5: Einfluss der Fütterungsvariante auf Futter- und Energieaufnahme sowie die Wiederkaudauer während der Laktation und der Trockenstehphase
Effects of the experimental rations on dry matter and energy intakes and rumination time of lactating and dry cows

Merkmal	Einheit	N150		N250		H150		H250	
		LSM	SE	LSM	SE	LSM	SE	LSM	SE
Laktierende (6. bis 350. LT)									
Aufnahme PMR	kg/Tag	18,5	0,59	18,0	0,59	19,2	0,59	18,3	0,61
Krafftutteraufnahme	kg/Tag	2,0 ^a	0,06	4,6 ^b	0,06	2,1 ^a	0,06	4,5 ^b	0,06
Gesamtfutteraufnahme	kg/Tag	20,2	0,63	22,2	0,62	21,5	0,63	22,5	0,64
Energieaufnahme	MJ NEL/Tag	131 ^a	4,30	147 ^b	4,17	145 ^{ab}	4,16	155 ^b	4,33
Wiederkauen	min/Tag	610	15,85	575	17,41	614	17,57	594	16,32
Trockensteher (54. bis 5. Tag a.p.)									
Gesamtfutteraufnahme	kg/Tag	14,3	0,65	14,6	0,59	13,8	0,57	14,1	0,62
Energieaufnahme	MJ NEL/Tag	90	2,92	91	2,86	86	2,77	81	2,96

Unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede innerhalb einer Zeile, $p \leq 0,05$

N150: Fütterungsvariante mit 6,1 MJ NEL/kg TM im Grobfutter und 150 g MLF/kg ECM; N250: Fütterungsvariante mit 6,1 MJ NEL/kg TM im Grobfutter und 250 g MLF/kg ECM; H150: Fütterungsvariante mit 6,5 MJ NEL/kg TM im Grobfutter und 150 g MLF/kg ECM; H250: Fütterungsvariante mit 6,5 MJ NEL/kg TM im Grobfutter und 250 g MLF/kg ECM; NEL: Netto Energie Laktation; TM: Trockenmasse; MLF: Milchleistungsfutter; ECM: Energiekorrigierte Milchmenge; LSM: LSQ-Mittelwerte; SE: Standardfehler; LT: Laktationstag; PMR: Teilmischration; a.p.: ante partum

Milchleistung und Konzentrationen an Milchinhaltsstoffen waren zwischen den Fütterungsvarianten nicht unterschiedlich. Die ECM-Leistung war bei der Variante mit der geringsten Energieversorgung (N150) mit 24,7 kg/Tag niedriger als bei der Variante mit der höchsten Energieversorgung (H250) mit 28,2 kg/Tag ($p \leq 0,05$) (Tab. 6). Die täglichen

Milchfett- und -eiweißmengen waren bei den Kühen der Gruppe H250 gegenüber der Gruppe N150 ebenfalls höher ($p < 0,01$). Zudem ergab sich ein Unterschied hinsichtlich der Milchfettmenge zwischen den Gruppen N250 und H250 ($p \leq 0,05$). Bei der Grobfuttervariante N spiegelten sich die differenzierten Kraftfuttermengen in einem unterschiedlichen Fett-Eiweißquotienten wider, der in der Gruppe N150 mit 1,22 um 0,1 ($p < 0,01$) höher lag als in der Variante mit dem höheren Kraftfutterniveau (N250). In allen Versuchsgruppen war eine gute Eutergesundheit festzustellen. Die Anzahl an somatischen Zellen lag zwischen 65.000 (N150) und 81.000 (H250) je Milliliter Milch.

Tab. 6: Einfluss der Fütterungsvariante auf Milchmenge und -leistungsmerkmale laktierender Kühe vom 6. bis zum 350. Laktationstag
Effects of the experimental rations on milk yield and milk composition between 6 and 350 days in milk

Merkmal	Einheit	N150		N250		H150		H250	
		LSM	SE	LSM	SE	LSM	SE	LSM	SE
Milchmenge	kg/Tag	24,8	0,74	26,7	0,70	26,6	0,71	27,3	0,68
ECM	kg/Tag	24,7 ^a	0,62	25,9 ^{ab}	0,60	26,8 ^{ab}	0,63	28,2 ^b	0,58
Fettgehalt	%	4,03	0,09	3,83	0,10	4,05	0,10	4,15	0,09
Fettmenge	kg/Tag	1,00 ^a	0,03	1,00 ^a	0,03	1,07 ^{ab}	0,03	1,13 ^b	0,03
Eiweißgehalt	%	3,30	0,05	3,41	0,05	3,43	0,05	3,48	0,05
Eiweißmenge	kg/Tag	0,82 ^a	0,02	0,89 ^{ab}	0,02	0,89 ^{ab}	0,02	0,95 ^b	0,02
Laktosegehalt	%	4,71	0,03	4,74	0,03	4,75	0,03	4,73	0,02
Harnstoffgehalt	mg/kg	194	5,62	191	5,52	194	5,66	203	5,71
Fett:Eiweißquotient		1,22 ^a	0,02	1,12 ^b	0,02	1,18 ^{ab}	0,02	1,19 ^{ab}	0,02
somatische Zellen	1000/ml	65	1,14	78	1,14	71	1,14	81	1,15

Unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede innerhalb einer Zeile, $p \leq 0,05$

N150: Fütterungsvariante mit 6,1 MJ NEL/kg TM im Grobfutter und 150 g MLF/kg ECM; N250: Fütterungsvariante mit 6,1 MJ NEL/kg TM im Grobfutter und 250 g MLF/kg ECM; H150: Fütterungsvariante mit 6,5 MJ NEL/kg TM im Grobfutter und 150 g MLF/kg ECM; H250: Fütterungsvariante mit 6,5 MJ NEL/kg TM im Grobfutter und 250 g MLF/kg ECM; NEL: Netto Energie Laktation; TM: Trockenmasse; MLF: Milchleistungsfutter; ECM: Energiekorrigierte Milchmenge; LSM: LSQ-Mittelwerte; SE: Standardfehler

Während der Laktation (6. bis 350 LT) lagen alle Versuchsgruppen in einem positiven, mittleren ES, der sich jedoch zwischen der Gruppe N150 mit 9,3 MJ NEL/Tag und der Gruppe H250 mit 20,5 MJ NEL/Tag unterschied ($p \leq 0,05$) (Tab. 7). Die differenzierte Energieversorgung über die PMR findet sich in den Ergebnissen des Body-Condition-Score (BCS) wieder. Die Gruppe N250 hatte einen geringeren BCS als die Gruppe H250 ($p \leq 0,05$). Die Fütterung in der Laktation hatte keinen Einfluss auf den ES, die Lebendmasse und den BCS in der Trockenstehphase, in der alle Tiere die gleiche einphasige Trockensteherration erhielten.

Tab. 7: Einfluss der Fütterungsvariante auf Energiesaldo, Lebendmasse und Body Condition Score während der Laktation und der Trockenstehphase
Effects of the experimental diets on energy balance, body weight and body condition score of lactating and dry cows

Merkmal	Einheit	N150		N250		H150		H250	
		LSM	SE	LSM	SE	LSM	SE	LSM	SE
Laktierende (6. bis 350. LT)									
Energiesaldo	MJ NEL/Tag	9,3 ^a	3,15	17,5 ^{ab}	3,26	15,1 ^{ab}	3,40	20,5 ^b	3,11
Lebendmasse	kg	652	10,38	676	10,60	667	10,57	678	10,17
BCS		3,0 ^{ab}	0,07	3,0 ^a	0,07	3,1 ^{ab}	0,07	3,3 ^b	0,07
Trockensteher (54. bis 5. Tag a.p.)									
Energiesaldo	MJ NEL/Tag	37,1	5,52	32,0	5,05	31,5	4,52	27,4	5,83
Lebendmasse	kg	700	27,04	740	19,26	731	19,40	751	22,42
BCS		3,3	0,12	3,4	0,11	3,2	0,11	3,6	0,10

Unterschiedliche Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede innerhalb einer Zeile, $p \leq 0,05$

N150: Fütterungsvariante mit 6,1 MJ NEL/kg TM im Grobfutter und 150 g MLF/kg ECM; N250: Fütterungsvariante mit 6,1 MJ NEL/kg TM im Grobfutter und 250 g MLF/kg ECM; H150: Fütterungsvariante mit 6,5 MJ NEL/kg TM im Grobfutter und 150 g MLF/kg ECM; H250: Fütterungsvariante mit 6,5 MJ NEL/kg TM im Grobfutter und 250 g MLF/kg ECM; NEL: Netto Energie Laktation; TM: Trockenmasse; MLF: Milchleistungsfutter; ECM: Energiekorrigierte Milchmenge; LSM: LSQ-Mittelwerte; SE: Standardfehler; LT: Laktationstag; a.p.: ante partum; BCS: Body Condition Score

In Abbildung 2 ist die Gesamt-TM-Aufnahme im Laktationsverlauf vom 6. bis zum 350. LT dargestellt. Vom 60. bis zum 231. LT nahmen die Tiere der Gruppe N150 signifikant weniger TM auf (2,5 kg TM/Tier/Tag) als die Tiere der Gruppe N250. Auch zwischen den Gruppen

N150 und H250 zeigten sich signifikante Unterschiede: Vom 20. bis zum 239. LT fraßen die Tiere der Gruppe N150 2,9 kg TM/Tier/Tag weniger als die Kühe, die am intensivsten gefüttert wurden. In Folge der Erhöhung des Kraftfutterniveaus kam es somit zur Erhöhung der Gesamt-TM-Aufnahme.

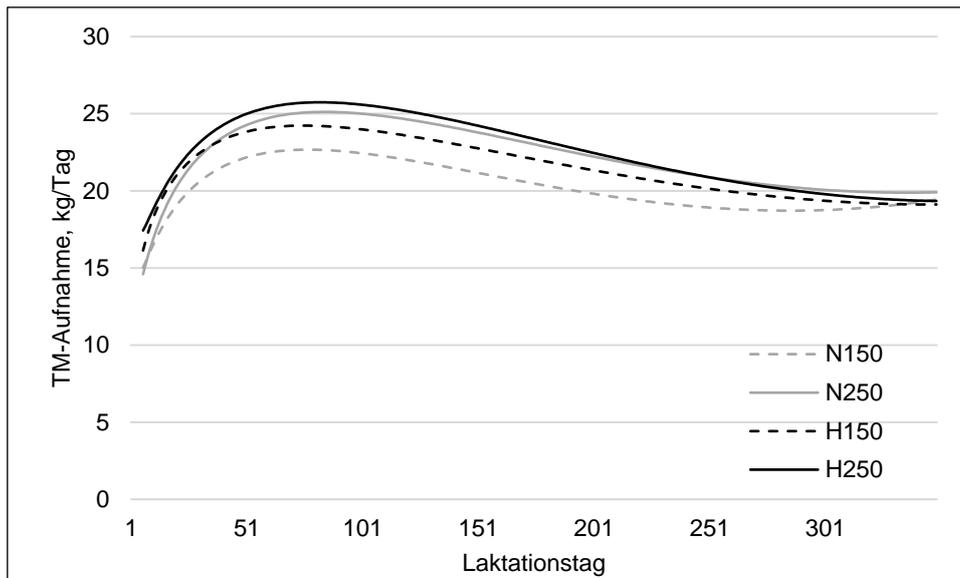


Abb. 2: Einfluss der Fütterungsvariante auf die Gesamt-TM-Aufnahme im Laktationsverlauf
Effect of the experimental rations on dry matter intake during lactation

In Abbildung 3 ist die ECM im Laktationsverlauf dargestellt. Vom 14. bis zum 309. LT war die Milchleistung der Gruppe H250 gegenüber der Gruppe N150 signifikant höher (3,8 kg ECM/Tier/Tag). Ebenfalls ergaben sich signifikante Unterschiede zwischen den Gruppen N150 und N250. Die Milchleistung der Gruppe N250 war zwischen dem 149. und dem 189. LT um 2,4 kg ECM/Tier/Tag höher als in der Gruppe N150. Zwischen dem 110. und 250. LT war die Milchleistung in der Gruppe H150 um 2,9 kg ECM/Tier/Tag höher als in der Gruppe N150.

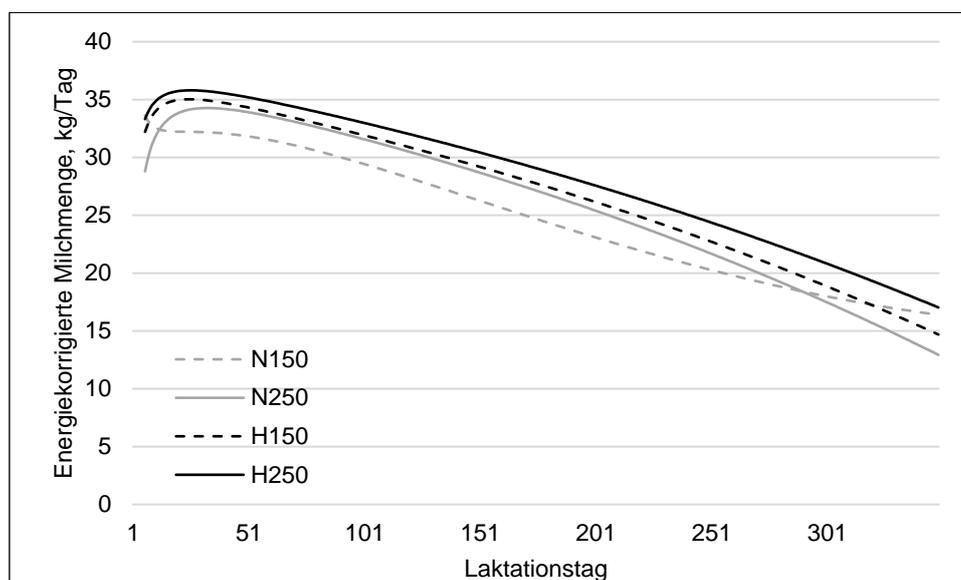


Abb. 3: Einfluss der Fütterungsvariante auf die Leistung an energiekorrigierter Milch im Laktationsverlauf

Effect of the experimental diets on energy corrected milk yield during lactation

Zwischen dem 20. LT und dem 40. LT gelangten alle Versuchsgruppen in einen positiven ES (Abb. 4). Im Laktationsverlauf war der ES der Gruppe H250 vom 34. bis zum 187. LT signifikant um 17,7 MJ/NEL/Tier/Tag höher als in der Gruppe N150. Der zusätzliche Einsatz von Kraftfutter in der Grobfuttervariante H führte vom 82. bis zum 111 LT zu signifikant höheren ES (13,4 MJ NEL/Tier/Tag).

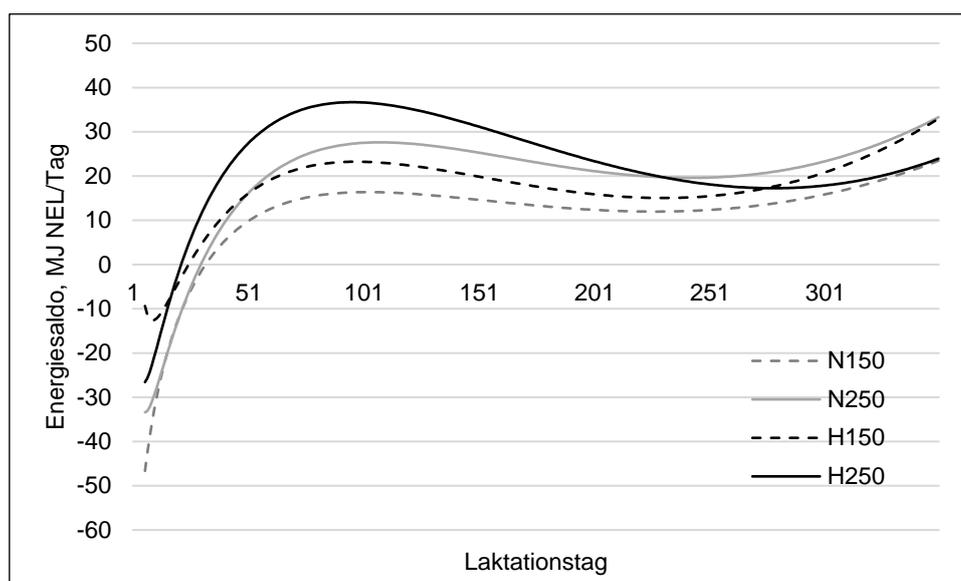


Abb. 4: Einfluss der Fütterungsvariante auf den Energiesaldo im Laktationsverlauf
Effect of the experimental diets on energy balance during the course of lactation

DISKUSSION

In dieser Studie wurden über einen Zeitraum von 1,5 Jahren der Einfluss unterschiedlicher Energiedichten im Grobfutter sowie unterschiedlicher Kraftfuttermengen auf die Futteraufnahme, das Wiederkauverhalten und die Milchleistungsmerkmale der Tiere untersucht. Mit vier Fütterungsintensitäten sollte die Spannweite der praxisüblichen Rationszusammensetzungen abgedeckt werden, um konkrete Empfehlungen für die Praxis ableiten zu können.

Futteraufnahme

Die mittlere TM-Aufnahme während der Trockenstehphase lag in den verschiedenen Versuchsgruppen mit 13,8 bis 14,6 kg TM/Tag verglichen mit Ergebnissen aus der Literatur (Streff et al., 2013; Schmitz et al., 2018) auf hohem Niveau. Nach der Kalbung kam es in allen Versuchsgruppen zu einem raschen Anstieg der Gesamt-TM-Aufnahme. Die beiden Grobfuttervarianten N und H unterschieden sich deutlich im Energiegehalt sowie in der Strukturwirksamkeit, was jedoch nicht zu unterschiedlichen TM-Aufnahmen aus der PMR zwischen den Versuchsgruppen führte. Schmitz et al. (2018), die ebenfalls im Projekt „optiKuh“ einen Versuch mit den gleichen Fütterungsvarianten wie im vorliegenden Versuch

bis zur 16. Laktationswoche durchführten, kamen zu übereinstimmenden Ergebnissen. In allen Versuchsgruppen stieg die TM-Aufnahme aus der PMR bis zum 200. LT kontinuierlich an. Ab dem 70. LT führte die höhere Kraftfuttermenge in der Grobfuttervariante N zu einer signifikant höheren Gesamtfuttermenge. Die Erhöhung der TM-Aufnahme infolge des zusätzlichen Einsatzes von Kraftfutter ist bereits bekannt und wurde in vielen Studien beschrieben (Ferris et al., 2001; Andersen et al., 2003; Gruber et al., 2004; Schmitz et al., 2018). Gleichzeitig ist auch bekannt, dass die Erhöhung der Kraftfuttermenge in der Ration zu einer Verringerung der Grobfuttermenge führt (Faverdin et al., 1991; Spiekers et al., 1991; Gruber et al., 2007). So kam es bei Betrachtung der gesamten Laktation innerhalb beider Grobfuttervarianten durch den Einsatz von zusätzlichem Kraftfutter zu einer Grobfutterverdrängung. In der Variante N fraßen die Tiere 0,2 kg PMR pro zusätzlichem kg Kraftfutter weniger. Eine ähnlich geringe Substitutionsrate beschrieben Lawrence et al. (2015), die Kraftfuttermengen von 4 kg/Kuh und Tag gegen 7 kg/Kuh und Tag verglichen. In der Grobfuttervariante H lag die Grobfutterverdrängung auf einem Niveau von 0,4 kg TM je kg Kraftfutter-TM, was den Ergebnissen von Faverdin et al. (1991) und Schmitz et al. (2018) entspricht. Mit steigender Energieversorgung über das Grobfutter kam es somit in der vorliegenden Studie zu einer Erhöhung der Grobfutterverdrängung. Faverdin et al. (1991) kamen ebenfalls zu dem Ergebnis, dass Grobfutter mit einer höheren Energiekonzentration zu einer stärkeren Grobfutterverdrängung führt. Dieser Effekt beruht darauf, dass mit einer energiereicheren Ration schneller eine ausgeglichene Energiebilanz erzielt wird und es somit schneller zu einem Energieüberschuss kommt, der Organismus aber eine ausgeglichene Energiebilanz anstrebt (Wangness und Muller, 1981; Faverdin et al., 1991). Die geringere Grobfutterverdrängung in der Grobfuttervariante N führte in der Folge zu signifikant höheren Energieaufnahmen in der Gruppe mit dem höheren Kraftfutterniveau (N250). Die Kraftfutterwirkung nimmt somit mit der Energiedichte im Grobfutter ab.

Wiederkaudauer

Das Wiederkauverhalten von Milchkühen wird von vielen Faktoren beeinflusst. Dazu zählen unter anderem die Rationszusammensetzung und Grobfutterqualität (Welch und Smith, 1970) sowie die Futtermenge, das Leistungsniveau und der Gesundheitsstatus (Calamari et al., 2014). De Boever et al. (1990) beschreiben außerdem tierindividuelle Einflüsse auf das

Wiederkauverhalten. Im vorliegenden Versuch wurde die Wiederkaudauer mit dem HR System der Firma SCR Engineers bestimmt, dieses Verfahren wurde von Schirmann et al. (2009) beschrieben und validiert. Die Wiederkaudauer der Kühe der vier Versuchsgruppen des vorliegenden Versuches bewegte sich zwischen 575 min/Tag (N250) und 614 min/Tag (H150) (Tab. 5). Devries et al. (2009) berichteten Wiederkauzeiten von 555 min/Tag bei Kühen, die sich in der Mitte der Laktation befanden. Frischlaktierende Mehrkalbinnen kauten in einer Studie von Soriani et al. (2012) 562 min/Tag wieder. Pries et al. (2018) ermittelten in einer Studie zur Wirkung unterschiedlicher Häcksellängen von Maissilage Wiederkauzeiten von bis zu 678 min/Tag. Damit liegen die hier erzielten Wiederkauzeiten auf hohem, aber durchaus üblichem Niveau. Sie sprechen für die Vorlage einer wiederkäuergerechten Ration. Die Unterschiede zwischen den Versuchsgruppen waren in diesem Versuch zufällig, trotz einer unterschiedlichen Strukturwirkung der PMR und variierender Kraftfuttermengen. In der vorliegenden Studie bestand zwischen den beiden PMR eine Differenz im aNDFom-Gehalt von 4 Prozentpunkten und der Strukturwert unterschied sich um 0,2; diese Differenzen wirkten sich nicht auf die Wiederkaudauer der Tiere aus. Dado und Allen (1995) beobachteten beispielsweise einen Anstieg der Wiederkaudauer von 380 min/Tag auf 510 min/Tag bei einer Erhöhung des NDF-Gehaltes in der Ration von 25 auf 35 % der TM. Die Wiederkaudauer ist positiv mit der Milchleistung korreliert, diese wird jedoch indirekt von der Futteraufnahme beeinflusst (Beauchemin, 2018). Nach Beauchemin (2018) ist der Effekt der Futteraufnahme jedoch wiederum den Effekten der chemischen Zusammensetzung und physikalischen Eigenschaften der Ration unterzuordnen. So gibt es auch Studien, die keine Korrelation zwischen der Futteraufnahme und der Wiederkaudauer nachweisen können (Schirmann et al., 2012). Die Versuchsgruppe N250 nahm mit über 8.700 g täglich die größte aNDFom-Menge auf, kaute aber mit 575 min/Tag die kürzeste Zeit wieder. Die chemische Zusammensetzung und physikalische Beschaffenheit der Ration scheinen hier somit nicht die dominanten Einflussfaktoren zu sein. Die Kühe aus der Gruppe N150 kauten pro kg aufgenommene PMR 33 min wieder. Bei den Tieren der anderen drei Versuchsgruppen (N250; H150; H250) waren es 32 min/kg PMR, so dass alle Versuchsgruppen auf ähnlichem Niveau lagen. Die TM-Aufnahme aus der PMR stieg bei allen Gruppen zu Laktationsbeginn langsam an und befand sich dann über die gesamte Dauer der Laktation auf konstantem Niveau. Auch die Wiederkaudauer war in allen Versuchsgruppen bis zum 350. LT konstant auf einem Niveau von etwa 600 min/Tag. Die typische Laktationskurve der Gesamt-TM-Aufnahme und der

Milchleistung war beim Verlauf der Wiederkaudauer nicht wiederzufinden. Die vorliegenden Daten verdeutlichen, dass es viele heterogene Einflüsse auf die Wiederkaudauer der Tiere gibt. Diese können die Wiederkaudauer gegenläufig beeinflussen und sich somit in der Wirkung aufheben.

Milchleistungsmerkmale

Bei beiden Grobfuttervarianten hatte die Kraftfuttermenge keinen signifikanten Einfluss auf die Milchleistung über die gesamte Laktation. Die geringe Milchleistung der Gruppe N150 spricht für eine energetische Unterversorgung, die Kühe konnten ihr genetisches Potential zur Milchbildung nicht ausnutzen. Die geringere Energiedichte im Grobfutter bei der Gruppe N250 konnte durch eine höhere Kraftfuttermenge ausgeglichen werden, im Gegenzug wurde die geringere Kraftfuttermenge in der Gruppe H150 durch eine höhere Energiedichte im Grobfutter ausgeglichen. Dieser Effekt wurde ebenfalls von Schmitz et al. (2018) beobachtet. Bei Betrachtung der Laktationskurven wird deutlich, dass im zweiten Laktationsdrittel sowohl die Erhöhung der Kraftfuttermenge bei der Grobfuttervariante N als auch die Energiedichte im Grobfutter einen signifikanten Einfluss auf die energiekorrigierte Milchleistung hatte. Der Effekt auf die ECM-Leistung war bei einer Erhöhung der Energiedichte im Grobfutter deutlich stärker ausgeprägt als der Effekt infolge des Einsatzes von zusätzlichem Kraftfutter, so dass die Energiedichte im Grobfutter einen stärkeren Einfluss auf die Milchleistung hat als die Kraftfuttermenge. Ferris et al. (2001) stellten ebenfalls fest, dass die Grobfutterqualität einen stärkeren Einfluss auf die Milchleistung hat als die Kraftfuttermenge. Hymøller et al. (2014) beobachteten, dass der Ersatz von Kraftfutter durch qualitativ hochwertiges Grobfutter im Laufe der Laktation ohne negativen Einfluss auf die Leistung möglich ist. Ab dem Zeitpunkt der Zunahme an Körperfettreserven kann laut Hymøller et al. (2014) das Verhältnis zwischen Kraftfutter- und Grobfutteranteil verschoben werden, ohne dass es zu einer Verminderung der Milchleistung und Veränderung der Milchezusammensetzung kommt. Im vorliegenden Versuch bestand in keinem Abschnitt der Laktation ein signifikanter Unterschied zwischen den Leistungen der Gruppen N250 und H150. Hinsichtlich der MilCHFett- und Milcheiweißanteile konnten keine Unterschiede gemessen werden. Lawrence et al. (2015) stellten bei einer Differenz der Kraftfuttermenge von 3 kg/(Tier Tag) zwar eine Erhöhung der Milchleistung, aber ebenfalls keinen Effekt auf die Fett- und Proteingehalte in der Milch fest. In der

Langzeitstudie von Spiekers et al. (1991) wurde ebenfalls kein Effekt der Kraftfuttermenge auf den Milchfettgehalt festgestellt, der Milcheiweißgehalt stieg mit steigender Kraftfuttermenge signifikant an. Die deutlich unterschiedlichen Energieaufnahmen zwischen den Gruppen N150 und H250 spiegeln sich in der signifikant unterschiedlichen Milcheiweißmenge wider. Der Fett-Eiweißquotient der Gruppe N150 war zwar nur um 0,1 Einheiten, jedoch signifikant höher als in der Gruppe N250. Dies deutet auf die etwas geringere energetische Versorgung der Tiere in der Gruppe N150 hin und passt zu dem deutlicheren Kraftfuttereffekt bei einer geringen Energiedichte im Grobfutter. So gaben die Kühe in der Grobfuttervariante N pro kg zusätzlichem Kraftfutter 0,7 kg mehr Milch, in der Grobfuttervariante H waren es lediglich 0,3 kg. Es ist jedoch zu beachten, dass der Fett-Eiweißquotient aller Versuchsgruppen nach den Erkenntnissen von Spohr und Wiesner (1991) in einem optimalen Bereich liegen. Die Autoren beschreiben, dass ein Quotient zwischen 1,0 und 1,25 im Optimalbereich liegt und ein Wert zwischen 1,0 und 1,5 als normal zu beurteilen ist.

In Abhängigkeit von der Intensität der Energieversorgung ergaben sich Jahresmilchleistungen von 8.176 kg ECM/Kuh (N150), 8.773 kg ECM/Kuh (N250), 8.602 kg ECM/Kuh (H150) und 9.405 kg ECM/Kuh (H250). Damit lag auch die intensiv gefütterte Gruppe (H250) unterhalb des Herdendurchschnitts des VBZL Haus Riswick (Jahresleistung: 9.500 bis 10.000 kg Milch/Tier). Gruber et al. (2012) beschrieben, dass die Effekte der Fütterung auf die Milchleistung und die Milchinhaltsstoffe bei einer kritischen pH-Situation im Pansen größer sind als bei unkritischem Zustand. Aufgrund der hohen Futteraufnahmen und des ausreichenden Anteils an strukturwirksamer Faser, beschrieben durch den Strukturwert und die aNDFom, in der Ration, ergaben sich vermutlich stabile pH-Wert-Verhältnisse im Pansen. Die stabilen pH-Wert-Verhältnisse im Pansen führten nur zu geringen Unterschieden bei den Milchleistungsmerkmalen.

Energiesaldo

Ein negativer ES zu Laktationsbeginn ist aufgrund der einsetzenden Milchproduktion und der begrenzten Futteraufnahme nach der Kalbung nicht zu vermeiden und grundsätzlich eine physiologische Situation. Der negative Energiesaldo stellt für die Hochleistungskuh eine äußerst sensible Phase dar, da in diesem Zeitraum die Anfälligkeit gegenüber verschiedenen Erkrankungen deutlich ansteigt (Breves, 2007). Im vorliegenden Versuch gelangten die Kühe

in allen Versuchsgruppen ab der 3. bzw. 6. Laktationswoche zu einem ausgeglichenen bzw. positiven ES. Im Vergleich zu Angaben in der Literatur war der positive ES damit in einem sehr frühen Stadium der Laktation erreicht (Ebert et al., 2017; Hertel-Böhnke et al., 2018; Schmitz et al. 2018). In der ähnlich angelegten Studie von Schmitz et al. (2018) gelangten die Kühe, die eine höhere Kraftfuttermenge (250 g/kg ECM) erhielten zwischen der 7. und der 9. Laktationswoche zu einem positiven ES. Die Kühe, die lediglich 150 g Kraftfutter pro kg ECM erhielten, erreichten den positiven ES, unabhängig von der Energiedichte im Grobfutter, erst in der 16. Laktationswoche. Hertel-Böhnke et al. (2018) führten ebenfalls einen Fütterungsversuch im Rahmen des Projektes „optiKuh“ durch. In dieser Studie wurden Fleckviehkühe über 2 Jahre mit den gleichen Rationsvarianten wie in der vorliegenden Studie versorgt. Die Gruppen der Varianten N250, H150 und H250 gelangten zwischen der 7. und der 9. Laktationswoche in einen ausgeglichenen Energiesaldo, jedoch hob sich die Fütterungsvariante mit der geringsten Energieversorgung (N150) deutlich von den anderen Gruppen ab. Die Tiere gelangten erst in der 13. Laktationswoche in einen schwach positiven Energiesaldo. Bei der Betrachtung der durchschnittlichen Energiesalden der Gesamtlaktation liegt in der vorliegenden Studie vor allem der Saldo der Versuchsgruppe H250 auf sehr hohem Niveau. Dieser deutliche Energieüberschuss hätte zu einer Verfettung der Kühe führen müssen. Nach den Angaben der GfE (2001) entspricht der NEL- Bedarf für 1 kg Lebendmassezuwachs bei laktierenden Kühen 25,5 MJ (inkl. 2 % Zuschlag für ein erhöhtes Fütterungsniveau), so dass die Kühe der Gruppe H250 vom 6. bis zum 350. LT. 277 kg Lebendmassezuwachs hätten realisieren müssen. Die Auswertung der täglich ermittelten Lebendmassen ergaben einen Zuwachs von 122 kg. Die deutlichen Differenzen zwischen der errechneten Energieaufnahme und der Energieverwertung der Kühe kann von mehreren Faktoren beeinflusst sein. Mittels eines Abgleichs der vorgelegten Mengen in den Wiegetrögen und der Gesamtfuttermenge wurde im Rahmen der Versuchsauswertung geprüft, ob es zu einer Überschätzung der Futtermenge der Kühe kam. Hier ergaben sich nur minimale Differenzen, so dass ein technischer Defekt an der Wiegetechnik ausgeschlossen werden konnte. Ein weiterer Grund für die hohen Energiesalden kann eine Überschätzung der Energiekonzentrationen der eingesetzten Futtermittel sein, dies ist im Nachhinein nicht verifizierbar. Jedoch wurden die eingesetzten PMR in der ersten Jahreshälfte 2016 einer Verdaulichkeitsmessung an je vier Hammeln unterzogen. Die Ergebnisse der Futterwertprüfung bestätigten die kalkulierten Energiegehalte der PMR, so dass eine fehlerhafte

Energiebestimmung der eingesetzten Futtermittel weitestgehend ausgeschlossen werden kann. Ein weiterer Erklärungsansatz für die errechneten Energiesalden kann der verstärkte Verdaulichkeitsrückgang bei hoher Futteraufnahme sein. Im derzeitigen NEL-System wird dem Verdaulichkeitsrückgang durch einen Zuschlag im Energiebedarf begegnet (GfE, 2001). Die vorliegenden Daten lassen die Vermutung zu, dass dieser Zuschlag den verminderten Energiegehalt aufgrund reduzierter Verdaulichkeit bei hohem Ernährungsniveau (EN) nicht realistisch beschreibt. Mit Hilfe eines Abgleichs von Ergebnissen aus Verdaulichkeitsmessungen mit Milchkühen und Hammeln lässt sich der Verdaulichkeitsrückgang mit steigendem EN darstellen. So stellten Bothe et al. (2018) bei dem Vergleich der Differenzen der Verdaulichkeiten der organischen Masse von TMR zwischen Hammeln (EN = 1) und Milchkühen (EN > 3) eine Differenz von 0,59 MJ NEL/kg TM fest. Radke et al. (2003) veröffentlichten Ergebnisse mit gleichen Tendenzen, sie ermittelten noch stärkere Minderungen hinsichtlich der Verdaulichkeiten der organischen Masse bei steigendem EN. Bei einer Unterstellung eines zusätzlichen Energierückgangs von 0,59 MJ NEL/kg TM konnten die Kühe der Gruppe H250 lediglich 142 MJ NEL anstatt der angenommenen 155 MJ NEL pro Tag verwerten. Daraus ergibt sich ein Rückgang des ES auf etwa 7,5 MJ NEL/Tag. Dieser Saldo scheint bei Betrachtung des oben beschriebenen Lebendmassezuwachses plausibel. Allerdings ist zu beachten, dass die erhöhte Energieausscheidung mit dem Kot zu wesentlichen Teilen durch geringere Verluste an Energie über Harn und Gärungsgase kompensiert wird (GfE, 2001). Dieses Ergebnis ist stimmig zu den Ergebnissen von Hertel-Böhnke et al. (2018), die Kühe aus dieser Studie nahmen deutlich weniger Futter auf und lagen somit auf einem niedrigeren EN, der errechnete ES liegt aber in etwa auf dem hier errechneten Niveau. Diese Ergebnisse legen eine Überprüfung der Berücksichtigung des Verdaulichkeitsrückganges mit steigendem Ernährungsniveau nahe.

Energieeffizienz

Bereits in den Jahren 1983 und 1984 fand am Standort Haus Riswick eine langfristige Untersuchung zum Einfluss der Grundfutteraufnahme sowie der Kraftfuttermenge auf die Milchleistung statt (Baum, 1984). Es gab vier Versuchsgruppen (A: 2,3 kg TM MLF/(Tier · Tag); B: 3,9 kg TM MLF/(Tier · Tag); C: 5,4 kg TM MLF/(Tier · Tag); D: 7,1 kg TM MLF/(Tier · Tag), die das gleiche Grobfutter zur freien Aufnahme angeboten bekamen und

über Kraftfutterstationen zusätzlich mit unterschiedlichen Kraftfuttermengen versorgt wurden (Tab. 8). Die Kühe im aktuellen Versuch gaben in dem Zeitraum vom 6. bis zum 270. LT etwa 8 kg mehr fettkorrigierte Milch (FCM), wurden aber auch mit deutlich mehr Energie über das Futter versorgt. Die Differenz zwischen den durchschnittlichen Lebendmassen der Tiere in dem Versuch von Baum (1984) und den aktuellen Versuchstieren in Haus Riswick verdeutlicht die geno- und phänotypischen Veränderungen von Kühen der Rasse Deutsche Holstein in den letzten Jahrzehnten. Der Energieaufwand zur Produktion von 1 kg FCM lag bei beiden Versuchen zwischen 5,2 und 5,6 MJ NEL.

Tab. 8: Vergleich der Ergebnisse des aktuellen Versuchs mit den Ergebnissen von Baum (1984).
Betrachtung vom 5. bis zum 270. Laktationstag
Comparison of the present results with those of BAUM (1984) for cows five and 270 days in milk

Jahr	Merkmal	Einheit	N150	N250	H150	H250
2015 - 2016	FCM	kg	27,0	28,8	29,3	30,7
	Energieaufnahme	MJ NEL	140	156	153	166
	Energiesaldo	MJ NEL	12,6	20,5	17,8	26,0
	Energieeffizienz	MJ NEL/kg FCM	5,2	5,4	5,2	5,4
	Lebendmasse	kg	641	672	654	662
			A	B	C	D
1983 - 1984	FCM	kg	18,0	20,5	21,7	22,7
	Energieaufnahme	MJ NEL	94	108	117	126
	Energiesaldo	MJ NEL	1,6	6,8	10,9	16,7
	Energieeffizienz	MJ NEL/kg FCM	5,2	5,3	5,4	5,6
	Lebendmasse*	kg	567	567	607	612

*durchschnittliche Lebendmasse der Tiere von 9 Wägeterminen im Abstand von 28 Tagen

N150: Fütterungsvariante mit 6,1 MJ NEL/kg TM im Grobfutter und 150 g MLF/kg ECM; N250: Fütterungsvariante mit 6,1 MJ NEL/kg TM im Grobfutter und 250 g MLF/kg ECM; H150: Fütterungsvariante mit 6,5 MJ NEL/kg TM im Grobfutter und 150 g MLF/kg ECM; H250: Fütterungsvariante mit 6,5 MJ NEL/kg TM im Grobfutter und 250 g MLF/kg ECM; NEL: Netto Energie Laktation; TM: Trockenmasse; MLF: Milchleistungsfutter; ECM: Energiekorrigierte Milchmenge; FCM: Fettkorrigierte Milchmenge, A: 2,3 kg TM MLF/Tier/Tag, B: 3,9 kg TM MLF/Tier/Tag C: 5,4 kg TM MLF/Tier/Tag, D: 7,1 kg TM MLF/Tier/Tag

Diese Ergebnisse bestätigen noch einmal, dass die Energieeffizienz (MJ NEL/kg FCM) eine konstante Größe ist. Sie wurde in den letzten 32 Jahren offensichtlich nicht durch züchterische

Maßnahmen beeinflusst. Hymøller et al. (2014) errechneten die Energieeffizienz von Kühen der Rasse Deutsche Holstein ebenfalls in Abhängigkeit vom Fütterungsregime zwischen dem 63. und dem 210 LT. Unabhängig vom Kraftfutterniveau lag die Energieeffizienz bei 4,9 bis 5,0 MJ NEL/kg ECM. Bei Betrachtung der Daten des vorliegenden Versuches über diesen Zeitraum waren die Kühe aus der Studie von Hymøller et al. (2014), die in einem automatischen Melksystem gemolken wurden, um 0,2 bis 0,5 MJ NEL/kg ECM effizienter. Diese etwas geringere Effizienz der Kühe im vorliegenden Versuch lässt sich mit der geringen Körpermassemobilisation zu Beginn der Laktation sowie der Leistungshöhe erklären. Mit ansteigender Leistungshöhe verschiebt sich das Verhältnis zwischen Erhaltungs- und Leistungsbedarf. Auf Grund neuerer Ergebnisse in der Literatur sind die Vorgaben für die Umsetzbarkeit der ME zur Milchbildung und der „leistungsunabhängige“ Bedarf neu zu fassen (Susenbeth, 2018). Bei Anwendung dieser Kenntnisse ist der ES in der 2. Hälfte der Laktation weniger stark positiv.

SCHLUSSFOLGERUNG

- Bei einer höheren Energiedichte im Grobfutter kommt es zu einer stärkeren Grobfutterverdrängung.
- Die Wiederkaudauer der Tiere unterliegt zahlreichen heterogenen Einflüssen, sie wird nicht allein von chemischen und physikalischen Merkmalen der Ration beeinflusst.
- Die Energiedichte im Grobfutter hat einen größeren Effekt auf die energiekorrigierte Milchleistung als die Kraftfuttermenge.
- Im derzeitigen NEL-System sollte die Berücksichtigung des Verdaulichkeitsrückganges mit steigendem Ernährungsniveau noch einmal geprüft werden.
- Die Energieeffizienz (MJ NEL/kg FCM) ist eine konstante Größe, sie blieb in den letzten drei Jahrzehnten unverändert.
- Bei Einhaltung der guten fachlichen Praxis können alle geprüften Fütterungsintensitäten eingesetzt werden.

Die Ergebnisse des vorliegenden Versuches aus Haus Riswick stimmen von der Abstufung zwischen den Fütterungsgruppen mit allen Versuchen im Rahmen des Projekts „optiKuh“ überein (Rischewski et al., 2017; Gerster et al., 2018; Hertel-Böhnke et al., 2018; Kraus et al.,

2018; Schmitz et al., 2018). Es wird die Ausgangshypothese bestätigt, dass unterschiedliche Intensitäten insbesondere in der Gabe an Kraftfutter möglich sind, wenn die gute fachliche Praxis der Milcherzeugung ansonsten eingehalten wird. Dies steht auch in Übereinstimmung mit der früheren Langzeitstudie über fünf Jahre von Spiekers et al. (1991).

DANKSAGUNG

Die Förderung des Vorhabens erfolgte aus Mitteln des Bundesministeriums für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) aufgrund eines Beschlusses des deutschen Bundestages. Die Projektträgerschaft erfolgte über die Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (BLE) im Rahmen des Programms zur Innovationsförderung.

LITERATUR

Ali, T.E. und L.R. Schaeffer (1987): Accounting for covariances among test day milk yields in dairy cows. *Can. J. Anim. Sci.* 67, 637-644.

Andersen, J.B., N. Friggens, K. Sejrsen, M.T. Sørensen, L. Munksgaard und K.L. Ingvarsten (2003): The effects of low vs. high concentrate level in the diet on performance in cows milked two or three times daily in early lactation. *Livest. Prod. Sci.* 81, 119-128.

Baum, M. (1984): Langfristige Untersuchungen an Milchkühen über Grundfutter-Verzehr und Milchleistung bei Zuteilung unterschiedlicher Kraftfuttermengen. Dissertation. Rheinische Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn.

Beauchemin, K.A. (2018): Invited review: Current perspectives on eating und rumination activity in dairy cows. *J. Dairy Sci.* 101, 4762-4784.

Bothe, B., L. Steevens und M. Pries (2018): Verdaulichkeitsbestimmung von totalen Mischrationen mit Hammeln und Milchkühen. Tagungsband VDLUFA-Kongress 2018 in Münster. VDLUFA-Schriftenreihe 74, im Druck.

Breves, G. (2007): Züchtung und Stoffwechselstabilität beim Rind - Empfehlungen für Zucht und Haltung. *Züchtungskunde* 79, 52-58.

Bundessortenamt (2014): Richtlinien für die Durchführung von landwirtschaftlichen Wertprüfungen und Sortenversuchen. Neufassung des Kapitels 2.8 Ernte und Bestimmungen am Erntegut. Landbuch Verlag, 15.

Calamari, L., N. Soriani, G. Panella, F. Petrera, A. Minuti und E. Trevisi (2014): Rumination time around calving: An early signal to detect cows at greater risk of disease. *J. Dairy Sci.* 97, 3635-3647.

Dado, R. G. und M. S. Allen (1995): Intake limitations, feeding behavior, and rumen function of cows challenged with rumen fill from dietary fiber or inert bulk. *J. Dairy Sci.* 79, 118-133.

De Boever, J.L., J.I. Andries, D.L. De Brabander, B.G. Cottyn und F.X. Buyse (1990): Chewing activity in ruminants as a measure of its physical structure - A review of factors affecting it. *Anim. Feed Sci. Technol.* 27, 281-291.

De Brabander, D.L., J.L. De Boever, J.M. Vanacker, C.V. Boucqué und S.M. Bottermann (1999): Evaluation of physical structure in dairy cattle nutrition. in: *Recent Advances in Animal Nutrition* (P.C. Garnsworthy and J. Wiseman). Nottingham University Press, Loughborough, 111-145.

DeVries, T.J., K.A. Beauchemin, F. Dohme und K.S. Schwartzkopf-Genswein (2009): Repeated ruminal acidosis challenges in lactating dairy cows at high and low risk for developing acidosis: Feeding, ruminating, and lying behavior. *J. Dairy Sci.* 92, 5067-5078.

DLG (2001): Struktur- und Kohlenhydratversorgung der Milchkuh, DLG-Information 1/2001 des DLG-Arbeitskreis Futter und Fütterung, DLG Verlag, Frankfurt a. M.

DLG (2008): Junggründeraufzucht. Grundstein erfolgreicher Milcherzeugung. *Arbeiten der DLG Band 203*. DLG Verlag, Frankfurt a. M.

DLG (2012): Fütterungsempfehlungen für Milchkühe im geburtsnahem Zeitraum, DLG-Arbeitskreis Futter und Fütterung. DLG Verlag, Frankfurt a. M.

Ebert, T., C. Koch, F.-J. Romberg und S. Hoy (2017): Untersuchungen zur negativen Energiebilanz bei Milchkühen. *Züchtungskunde* 89, 321-332.

Edmonson, A.J., I.J. Lean, L.D. Weaver, T. Farver und G. Webster (1989): A body condition scoring chart for Holstein Dairy cows. *J. Dairy Sci.* 72, 68-78.

Faverdin, P., J.P. Dulphy, J.B. Coulon, R. Verite, J.P. Garel, J. Rouel und B. Marquis (1991): Substitution of roughage by concentrates for dairy cows. *Livest. Prod. Sci.* 27, 137-156.

Ferris, C., F. Gordon, D. Patterson, D. Kilpatrick, C. Mayne und M. McCoy (2001): The response of dairy cows of high genetic merit to increasing proportion of concentrate in the diet with a high and medium feed value silage. *J. Agric. Sci.* 136, 319-329.

Gerster, E., T. Jilg, H. Steingass, M. Rodehutschord und H. Spiekers (2018): Ergebnisse aus zwei Jahren TMR-Fütterung von Milchkühen der Rasse Fleckvieh bei einem Kraftfutteraufwand von 150 und 250 g pro kg ECM. Tagungsband „Abschlussveranstaltung Verbundprojekt optiKuh“ am 30/31.01.2018 in Braunschweig, Herausgeber: Spiekers, H., P. Hertel-Böhnke, U. Meyer, LfL-Schriftenreihe 2/2018, 34-39.

GfE (Ausschuß für Bedarfsnormen der Gesellschaft für Ernährungsphysiologie) (2001): Empfehlungen zur Energie- und Nährstoffversorgung der Milchkühe und Aufzuchttrinder, Heft 8. DLG-Verlag, Frankfurt a. M.

Gruber, L., F.J. Schwarz, D. Erdin, B. Fischer, H. Spiekers, H. Steingass, U. Meyer, A. Chassot, T. Jilg, A. Obermaier und T. Guggenberger (2004): Vorhersage der Futteraufnahme von Milchkühen - Kooperation von 10 Forschungs- und Universitätsinstituten Deutschlands, Österreichs und der Schweiz. 31. Viehwirtschaftliche Fachtagung 2004, Bericht HBLFA Raumberg-Gumpenstein, Irdning, 21-39.

Gruber, L. (2007): Einfluss der Kraftfuttermenge auf Futteraufnahme und Leistung von Milchkühen. 34. Viehwirtschaftliche Fachtagung 2007, Bericht HBLFA Raumberg-Gumpenstein, Irdning, 35-51.

Gruber, L., A. Schauer, J. Häusler, A. Adelwöhrer, M. Urdl, K.-H. Südekum und S. Kirchhof (2012): Einfluss der Kraftfutterzusammensetzung auf Futteraufnahme und Leistung von Milchkühen bei unterschiedlichem Vegetationsstadium des Wiesenfutters. 39. Viehwirtschaftliche Fachtagung 2012, Bericht HBLFA Raumberg-Gumpenstein, Irdning, 51-60.

Hertel-Böhnke, P., T. Etle und H. Spiekers (2018): Effekte von Kraftfutterniveau und Grobfutterqualität auf die Futteraufnahme bei Fleckviehkühen über zwei Jahre. Tagungsband „Abschlussveranstaltung Verbundprojekt optiKuh“ am 30/31.01.2018 in Braunschweig, Herausgeber: Spiekers, H., P. Hertel-Böhnke, U. Meyer, LfL-Schriftenreihe 2/2018, 59-64.

Hymøller, L., L. Alstrup, M.K. Larsen, P. Lund und M.R. Weisbjerg (2014): High-quality forage can replace concentrate when cows enter the deposition phase without negative consequences for milk production. *J. Dairy Sci.* 97, 4433-4443.

Kraus, N., L. Durst, U. Mohr und H. Spiekers (2018): Ergebnisse zum Kraftfutterereinsatz bei Milchkühen der Rasse Fleckvieh. Tagungsband „Abschlussveranstaltung Verbundprojekt optiKuh“ am 30/31.01.2018 in Braunschweig, Herausgeber: Spiekers, H., P. Hertel-Böhnke, U. Meyer, LfL-Schriftenreihe 2/2018, 53-58.

Lawrence, D.C., M. O'Donovan, T.M. Boland, E. Lewis und E. Kennedy (2015): The effect of concentrate feeding amount and feeding strategy on milk production, dry matter intake, and energy partitioning of autumn-calving Holstein-Friesian cows. *J. Dairy Sci.* 98, 338-348.

Montgomery, M.J., E.W. Culvahouse und H.A. Henderson (1971): Effect of concentrate supplementation on the voluntary intake of high and low quality forages. *J. Dairy Sci.* 54, 772.

Pries, M., J. Denißen und J.-H. Speit (2018): Silier- und Fütterungsversuche mit Shredlage-Maissilage im Vergleich zur Maissilage herkömmlicher Häcksellänge. 45. Viehwirtschaftliche Fachtagung 2018, Bericht HBLFA Raumberg-Gumpenstein, Irdning, 65-73.

Radke, M., A. Hagemann, M. Gabel, B. Pieper, J. Voigt und S. Kuhla (2003): Verdaulichkeitsdepression bei der Hochleistungskuh – Berücksichtigung bei der Rationsformulierung. *Arch. Tierzucht* 46, 115-121.

Rischewski, J., A. Bielak, M. Derno, A. Tuscherer und B. Kuhla (2017): Impact of different roughage qualities at comparable concentrate level on feed efficiency and methane emissions of dairy cows during the lactation cycle. *Proc. Soc. Nutr. Physiol.* 26, 29.

Schirmann, K., M.A.G. von Keyserlingk, D.M. Weary, D.M. Veira und W. Heuwieser (2009): Technical note: Validation of a system for monitoring rumination in dairy cows. *J. Dairy Sci.* 92, 6052-6055.

Schirmann, K., N. Chapinal, D.M. Weary, W. Heuwieser und M.A.G. von Keyserlingk (2012): Rumination and its relationship to feeding and lying behavior in Holstein dairy cows. *J. Dairy Sci.* 95, 3212-3217.

Schmitz, R., K. Schnabel, D. von Soosten, U. Meyer, H. Spiekers, J. Rehage und S. Dänicke (2018): The effects of energy concentration in roughage and allowance of concentrates on performance, health and energy efficiency of pluriparous dairy cows during early lactation. *Arch. Anim. Nutr.* 72, 100-120.

Soriani, N., E. Trevisi und L. Calamari (2012): Relationships between rumination time, metabolic conditions and health status in dairy cows during the transition period. *J. Anim. Sci.* 90, 4544-4554.

Spiekers, H., A.-M. Klünter, V. Potthast und E. Pfeffer (1991): Effects of different concentrate levels on milk yield, feed intake, live weight change, health and reproduction in dairy cows. *Livest. Prod. Sci.* 28, 89-105.

Spiekers, H., T. Jilg, B. Kuhla, H. Swalve, G. Thaller, T. Ettle, C. Koch, U. Mohr, U. Meyer, M. Pries, B. Losand, I. Schiefler, H. Güldenpfennig, S. Hartwig, E. Stamer und T. Steppin (2017): Vorstellung des Verbundvorhabens optiKuh. in: Vortragstagung der DGFZ und der GfT am 20./21.09.2017 in Hohenheim, A1.

Spohr, M. und H.U. Wiesner (1991): Kontrolle der Herdengesundheit und Milchproduktion mit Hilfe der erweiterten Milchleitungsprüfung. *Milchpraxis* 29, 231-236.

Streuff, B., M. Pries, A. Menke, C. Hoffmanns, C. Verhülsdonk, K. Hünting und M. Hoedemaker (2013): Ein- oder zweiphasige Trockensteherfütterung. *VDLUFA-Schriftenr.* 69, 736-743.

Susenbeth, A. (2018): Der Energiebedarf von Milchkühen heutiger Rassen. Tagungsband „Abschlussveranstaltung Verbundprojekt optiKuh“ am 30/31.01.2018 in Braunschweig, Herausgeber: Spiekers, H., P. Hertel-Böhnke, U. Meyer, *LfL-Schriftenreihe* 2/2018, 40-43.

Universität Hohenheim – Dokumentationsstelle (Hrsg.) (1997): *DLG-Futterwerttabellen Wiederkäuer*. 7. Auflage, DLG-Verlag, Frankfurt a. M.

VDLUFA (2012): *VDLUFA-Methodenbuch*, Bd. III. Die Chemische Untersuchung von Futtermitteln. VDLUFA-Verlag.

Wangness, P.J. und L.D. Muller (1981): Maximum forage for dairy cows. *J. Dairy Sci.* 64, 1-13.

Weißbach, F. und S. Kuhla (1995): Stoffverluste bei der Bestimmung des Trockenmassegehaltes von Silagen und Grünfutter. Entstehende Fehler und Möglichkeiten der Korrektur. Übers. Tierernährg. 23, 189-214.

Welch, J.G. und A.M. Smith (1970): Forage quality and rumination time in cattle. J. Dairy Sci. 53, 797-800.

Zebeli, Q., K. Ghareeb, E. Humer, B.U. Metzler-Zebeli und U. Besenfelder (2015): Nutrition and rumen health in the peripartal period and their role on overall health and fertility in dairy cows. Vet. Res. 103, 126-136.

Zebeli, Q., J.R. Aschenbach, M. Tafaj, J. Boguhn, B.N. Ametaj und W. Drochner (2012): Invited Review: Role of physically effective fiber and estimation of dietary fiber adequacy in high-producing dairy cattle. J. Dairy Sci. 95, 1041-1056.

KAPITEL 4

Einfluss der Partikelgrößenverteilung bei der Maisernte auf die Silagequalität sowie die Futteraufnahme und Leistung von Milchkühen

Jana Denißen^{1,2*}, Jan-Helge Speit² und Martin Pries³

¹Versuchs- und Bildungszentrum Landwirtschaft Haus Riswick, Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen, Elsenpass 5, 47533 Kleve

²Institut für Tierwissenschaften, Rheinische Friedrich-Wilhelms Universität Bonn, Endenicher Allee 15, 53115 Bonn

³Fachbereich Tierhaltung und Tierzuchtrecht, Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen, Ostinghausen-Haus Düsse, 59505 Bad Sassendorf

*e-mail: jana.denissen@lwk.nrw.de

Veröffentlicht in *Übersichten zur Tierernährung 2018*, 43: 53-77

ZUSAMMENFASSUNG

Zur Sicherung und Aufrechterhaltung einer optimalen Pansenfunktion benötigen Wiederkäuer neben adäquaten Mengen an Energie und Nährstoffen auch eine ausreichende Versorgung mit strukturiertem Futter. Eine der weltweit bedeutsamsten Grundkomponenten in der Rationsgestaltung hochleistender Milchkühe stellt Maissilage dar. Diese enthält neben hohen Stärkegehalten auch beachtliche Mengen an strukturwirksamen Gerüstsubstanzen und dient damit nicht nur als Energiequelle, sondern auch als Strukturkomponente. Nach umfangreichen Versuchstätigkeiten in den Jahren 2005 bis 2007 wird in Deutschland eine theoretische Häcksellänge bei der Ernte von Silomais für die Wiederkäuerfütterung von 5 bis 8 mm empfohlen. Die resultierenden Partikelgrößen ermöglichen eine verlustarme Futterkonservierung sowie bei der Verwendung derartiger Maissilagen in Milchkurrationen eine hohe Futteraufnahme und entsprechende Milchleistungen.

Seit einigen Jahren wird in den USA über eine neuartige Erntetechnik berichtet. Bei diesem Verfahren wird die Maispflanze auf Partikelgrößen von 26 bis 30 mm geschnitten („Langschnitt“). Eine besondere Bauform gegenläufiger Zerkleinerungswalzen („Corncracker“) ermöglicht zusätzlich eine starke Nachzerkleinerung der Maiskörner und ein Aufspießen der Restpflanzenbestandteile in Längsrichtung. Im Vergleich zu den Ergebnissen aus hiesigen Versuchstätigkeiten in den Jahren 2005 bis 2007 hat der Einsatz der neuartigen Langschnitt-Maissilage keinen negativen Einfluss auf die Futteraufnahme und Leistung der Kühe. Die neue Technologie ermöglicht eine stärkere Körnerzerkleinerung, zudem leisten die größeren/längeren Partikel einen Beitrag zu einer wiederkäuergerechten Ration. Somit können dank der neuen Technik zwei Ziele vereint werden, die bisher als unvereinbar galten. Die erreichte Dichte (kg TM/m³) im Silagevorrat ist im Vergleich zu kurz gehäckseltem Material um circa 10 Prozent geringer.

Schlüsselwörter: Partikelgröße, Shredlage, Maissilage, Strukturwirkung, Milchleistung

SUMMARY

In addition to appropriate amounts of energy and nutrients, ruminants need adequate levels of physically effective fibre to ensure and maintain an optimum rumen function. Maize silage is a major forage ingredient in rations of high-yielding dairy cows and, as it contains considerable concentrations of starch and physically effective fibre, provides both, energy and physical structure, to dairy cows. Based on systematic research between 2005 and 2007, the current recommendation in Germany is to harvest forage maize (whole plant of corn) at a theoretical length of cut of 5 to 8 mm. The resulting particle size enables low-loss forage preservation, high feed intakes of maize silage-based rations and finally, high milk yields.

During the past few years, a novel method of harvesting forage maize labeled “shredlage” was developed and applied in the United States of America. Shredlage is harvested with a commercially available self-propelled forage harvester fitted with after-market cross-grooved crop-processing rolls, and the self-propelled forage harvester set for a longer theoretical length of cut than commonly used, namely 26 to 30 mm. Contrary to the results of the German feeding trials in the years 2005 to 2007, the much greater theoretical lengths of cut of forage maize had no negative influence on feed intake and milk production of dairy cattle. Thus shredlage, providing intensively processed maize grain and longer particles in the same forage, may merge two previously incompatible objectives, namely high energy density and high concentration of physically effective fibre. The density (kg DM/m³) of shredlage in a bunker silo is about 10 % less than that of forage harvested at a theoretical length of cut of 5-8 mm, commonly used up to now.

Keywords: particle size, shredlage, maize silage, physical structure, milk yield

EINLEITUNG

Eine wiederkäuergerechte Rationsgestaltung zur Gesunderhaltung der Milchkuh ist eine Grundvoraussetzung für eine erfolgreiche Milchproduktion mit hohen Lebensleistungen. Zur Sicherung physiologischer Bedingungen im Pansen benötigen Wiederkäuer neben adäquaten Mengen an Energie und Nährstoffen auch eine ausreichende Versorgung mit strukturiertem Futter. Von besonderer Bedeutung sind dabei die Grobfutterkomponenten, die in Folge ihrer physikalischen Eigenschaften einen ausreichenden Speichelfluss, stabile pH-Werte in den Vormägen und eine Schichtung des Vormageninhaltes gewährleisten (Steingass und Zebeli, 2008). Um den Energiebedarf hochleistender Milchkühe decken zu können, werden in der Praxis energiedichte Rationen mit hohen Kraftfutteranteilen erforderlich. Der hohe Einsatz von Kraftfutter führt zu Einbußen in der Strukturwirksamkeit der Ration, bei parallel hohen Anteilen an leicht fermentierbaren Kohlenhydraten (z. B. Stärke) gehen die pH-Werte im Panseninhalt zurück. Liegen diese Bedingungen über eine längere Zeit vor, kann dies zu einer subakuten Pansenazidose führen (Zebeli et al., 2008a). Der Einsatz von Mais-Ganzpflanzensilagen (Synonym hier: Maissilagen) ist in der Wiederkäuerfütterung weit verbreitet, da Maissilage neben hohen Stärkegehalten auch beachtliche Mengen pflanzlicher Gerüstsubstanzen (Cellulose, Hemicellulose und Lignin) enthält (Südekum, 2009). Somit dient Maissilage in der Wiederkäuerernährung nicht nur als Energiequelle, sondern gleichzeitig auch als Lieferant von „Struktur“. Aufgrund dieser herausragenden Bedeutung in der Wiederkäuerfütterung gibt es seit Beginn des Silomaisanbaus eine Diskussion über die optimale Aufbereitung von Maissilage vor dem Hintergrund einer bestmöglichen Verdicht- und Silierbarkeit sowie einer effizienten Nährstoffnutzung durch Milchkühe und Mastrinder.

Nach umfangreichen Versuchstätigkeiten in den Jahren 2005 bis 2007 wird in Deutschland eine theoretische Häcksellänge (tHL) bei der Maisernte für die Wiederkäuerfütterung von 5 bis 8 mm empfohlen (Spiekers et al., 2009). In den damaligen Versuchsanstellungen wurde eine tHL von 5 mm mit 20 mm tHL verglichen. Seit einigen Jahren wird in den Vereinigten Staaten von Amerika unter der Bezeichnung „Shredlage¹-Maissilage“ vermehrt über ein neuartiges Verfahren der Silomaisernte berichtet. Shredlage ist ein eingetragenes Warenzeichen und beinhaltet ein Patent der Firma Claas, Harsewinkel, auf eine besondere Bauform des Corncrackers zur Nachzerkleinerung des Erntegutes. In dem neuen Verfahren wird die Maispflanze auf Partikellängen von 26 bis 30 mm („Langschnitt“) geschnitten, um in der Ration die physikalische Struktur zu erhalten. Zusätzlich kommt es zu einer intensiveren Zerkleinerung

¹ Die Bezeichnungen „Shredlage“ und „Shredlage-Maissilage“ werden im Textverlauf synonym zu dem Begriff „Shredlage®“ verwendet

der Körner, so dass eine bessere Nutzung der energiereichen Maiskörner ermöglicht werden soll.

WISSENSSTAND ZUR HÄCKSELLÄNGE BEI DER MAISERNTE

Für die Silierung erfolgt die Ernte der Maispflanze im Regelfall mit einem Feldhäcksler. Das Erntegut wird dabei vom Mähvorsatz des Feldhäckslers geschnitten und gleichmäßig dem Häcksler zugeführt. Im Häcksler gelangt das Gut zu den Einzugs- und Presswalzen, mit Hilfe der Drehzahlverstellung dieser Walzen kann die Partikelgröße bestimmt werden. Diese ist bei Verwendung aller Häckselmesser in der Regel im Bereich von 4 bis 20 mm verstellbar. Längeres Häckselgut lässt sich durch den Ausbau entsprechender Messer aus dem Häckselaggregat erzeugen. Die Messer fördern das Erntegut mit Unterstützung von zusätzlichen Wurfgebläsen weiter zu den gegenläufigen Zerkleinerungswalzen, auch Corncracker genannt. Diese dienen primär der Kornzerkleinerung, wobei der Grad der Zerkleinerung durch den Abstand der beiden Walzen zueinander und durch die Differenz der Umfangsgeschwindigkeiten der Walzen zu verändern ist. Die Aufbereitungsintensität wird weiterhin maßgeblich von der Maschinenauslastung (Massendurchsatz/Zeiteinheit) beeinflusst.

In Deutschland ist eine tHL von 5 bis 10 mm bei Spaltweiten zwischen den Zerkleinerungswalzen von 1 bis 2 mm üblich. Durch die Zerkleinerung entsteht ein Erntegut, das sich gut verarbeiten und verdichten lässt sowie eine große Oberfläche für eine rasche Silierung bietet. Thaysen und Jänicke (2006) geben eine Empfehlung zur tHL in Abhängigkeit vom Trockenmasse (TM)-Gehalt der Gesamtpflanze. Bei einem TM-Gehalt von bis zu 30 % kann eine tHL von bis zu 10 mm gewählt werden, oberhalb dieses TM-Gehaltes sollte das Erntegut jedoch auf eine tHL von nur 6 bis 8 mm gehäckselt werden. Hintergrund der Empfehlung ist die angestrebte hohe Verdichtung im Siliergut. Leurs (2006) stellte fest, dass bei einem Anstieg der Häcksellänge von 5,5 auf 21 mm die Verdichtung in der Silomiete um etwa 25 % abnimmt und damit Werte deutlich unterhalb der Empfehlung nach Honig (1987) zur angestrebten Verdichtung im Erntegut erzielt werden. Die geringere Verdichtung war in diesen Versuchen mit einer höheren Nacherwärmung nach Öffnen des Silos und in Folge dessen mit größeren Verlusten verbunden. Auf die Gärsäuregehalte und das Gärsäurenmuster der Silage hatte die Häcksellänge hingegen keinen Einfluss.

In den Jahren 2005 bis 2007 wurden an verschiedenen Standorten in Deutschland Fütterungsversuche mit Milchkühen und Mastbullen durchgeführt, um die Effekte einer steigenden Partikelgröße in der Fütterung zu prüfen (Mahlkow et al., 2005; Pries et al., 2006; Spiekers et al., 2009). Zur Gewährleistung der Strukturwirkung sollte die tHL in der Milchkuhfütterung in Abhängigkeit vom Strukturwert der Ration gewählt werden (Spiekers et al., 2009):

Strukturwert der Ration > 1,2 : 5 - 8 mm tHL

Strukturwert der Ration < 1,2 : > 15 mm tHL

Laut Spiekers et al. (2009) gibt es keine allgemeingültige Empfehlung für eine optimale tHL, jedoch ist eine tHL von 5 - 8 mm in der Regel ausreichend. Lediglich in extrem maisbetonten Rationen kann eine Erhöhung der Häcksellänge zur Verbesserung der Strukturwirksamkeit der Ration empfohlen werden. Nach bisherigen Erkenntnissen geht mit einer Erhöhung der Anteile an groben/längeren Futterpartikeln in der Ration eine verstärkte Selektion der feinen Futterpartikel einher (Miller-Cushon und DeVries, 2017). Daraus ergibt sich evtl. eine forcierte Aufnahme an leicht verdaulichen Kohlenhydraten und eine geringere Aufnahme an Faserkomponenten als bei der Rationskalkulation vorgesehen. Dies kann in der Folge zu einem Abfall des Pansen pH-Wertes führen und das Risiko für die Entwicklung einer subakuten Pansenazidose erhöhen (DeVries et al., 2008). Auch Kononoff et al. (2003b) und Zebeli et al. (2008b) stellten fest, dass eine zunehmende Partikellänge in der Maissilage zu einer verstärkten Futterselektion führt.

KENNZEICHEN VON SHREDLAGE-MAISSILAGE

Seit einigen Jahren wird in den Vereinigten Staaten von Amerika eine neuartige Häckseltechnik zur Herstellung der sogenannten Shredlage-Maissilage mit einer tHL von bis zu 30 mm eingesetzt. Shredlage ist mit einem Patent auf eine besondere Bauform des Crackers zur Nachzerkleinerung der Körner verbunden. Beim System Shredlage werden im Feldhäcksler die herkömmlichen Walzen des Corncrackers gegen neu entwickelte Walzen ausgetauscht. Der neue Corncracker ist mit zwei gegenläufigen Walzen ausgestattet, die mit einer Drehzahldifferenz von bis zu 50 % arbeiten. Die Oberfläche der Walzen weist ein grobes Sägezahnprofil mit einer umlaufenden Spiralnut auf. Das Ergebnis dieser besonderen Oberfläche der Walzen soll eine Maissilage mit einem hohen Anteil an groben Partikeln aus

der Restpflanze bei gleichzeitig intensiverer Zerkleinerung der Maiskörner sein. Neben der starken Zerkleinerung der Körner kann der Corncracker die Restpflanzenbestandteile durch seitliches Verschieben und Aufreiben zerspleißen, so dass eine größere Oberfläche für den mikrobiellen Abbau zur Verfügung stehen soll.



Abb. 5: Die Shredlage-Crackerwalzen mit dem groben Sägezahnprofil und der umlaufenden Spiralnute bewirken eine intensive Aufbereitung des Materials. Foto: J. Denißen

The intensive shredding of the material significantly increases the surface area of the chopped crop

Aus der intensiveren Aufbereitung des Ernteguts ergeben sich andererseits aber auch ein höherer Energiebedarf und ein stärkerer Verschleiß der Aggregate, so dass nach Herstellerangaben der Firma Claas mit höheren Kosten von etwa 25 Euro pro Hektar kalkuliert werden muss. Auch andere Häcksler-Hersteller haben mittlerweile Techniken zur optimalen Kornzerkleinerung bei höheren Häcksellängen entwickelt. Die damit erzeugte Maissilage wird im Folgenden als Langschnitt-Maissilage bezeichnet, da der Name „Shredlage“ patentrechtlich geschützt ist.

STRUKTURBEWERTUNG VON MISCHRATIONEN MIT HILFE DER PHYSIKALISCH-EFFEKTIVEN NEUTRALE-DETERGENZIEN-FASER

Zur Sicherung und Aufrechterhaltung der physiologischen Pansenfunktion benötigen Wiederkäuer neben adäquaten Mengen an Energie und Nährstoffen auch eine ausreichende Versorgung mit strukturwirksamem Futter. Diesen Zweck erfüllen vor allem die Grobfutterkomponenten, deren Anteile an strukturwirksamer Faser die Wiederkäuergerechtheit der Ration steigern. Sie bewirken eine entsprechende Kau- und Wiederkautätigkeit. Der dabei sezernierte Speichel dient als Puffersubstanz zur Aufrechterhaltung eines stabilen

Pansenmilieus. Zusätzlich ist eine ausreichende Versorgung mit Faserkomponenten für die Schichtung des Panseninhaltes von großer Bedeutung. Die Schichtung ermöglicht vor allem eine entsprechende Verweildauer der Faserpartikel im Pansen und gewährleistet damit eine hohe Verdaulichkeit (Khol-Parisini und Zebeli, 2012).

Zur Beurteilung der Strukturwirksamkeit einer Ration empfiehlt die GfE (2014) das System der „physikalisch-effektiven Neutrale-Detergenzien-Faser nach Veraschung“ (peNDFom). Die peNDFom vereint Parameter der chemischen Zusammensetzung und der physikalischen Eigenschaften einer Ration und ermöglicht somit eine Beurteilung der vorgelegten Ration unter Berücksichtigung unterschiedlicher Einflussfaktoren (Steingass und Zebeli, 2008). Die aNDFom (Summe der Zellwandbestandteile) wird chemisch bestimmt und ist eine international gebräuchliche Kenngröße, die als Basis für die Beurteilung der Struktur im Futter dient (Steingass und Zebeli, 2008). Mertens (1997) entwickelte die „physikalisch effektive NDFom“, eine Verknüpfung des chemisch analysierten Gehaltes an aNDFom und der physikalischen Eigenschaften (Partikelgröße bei Siebung) des Futtermittels.

Die Siebung der zu analysierenden Futtercharge stellt eine Möglichkeit zur Erfassung der peNDFom in einer bereits vorgelegten Ration dar. Diese kann mit Hilfe des Penn-State-Particle-Separator (PSPS) mit drei Sieben (1,18 mm, 8 mm und 19 mm Sieblochweite) durchgeführt werden (Steingass und Zebeli, 2014). Die Siebfraktionsanteile werden gravimetrisch erfasst, als prozentualer Anteil der Gesamtmasse ausgedrückt und mit dem aNDFom-Gehalt der Ration verrechnet (Mertens, 1997). Hinsichtlich der Bestimmung der peNDFom ergeben sich zwei Optionen: Es kann die $peNDFom_{>1,18}$ (Kononoff et al., 2003a) oder die $peNDFom_{>8}$ (Lammers et al., 1996) bestimmt werden. Die erste Option gibt die Summe der Massenanteile aller drei Siebe (1,18 mm, 8 mm, 19 mm) wieder, die zweite Variante bildet die Massenanteile auf den beiden oberen Sieben (8 mm und 19 mm) ab. Somit wird die peNDFom je nach verwendeter Option mit folgenden Gleichungen berechnet:

$$peNDFom_{>1,18} = \text{Partikelanteil (Masse) } > 1,18 \text{ mm (\%)} \times aNDFom \text{ (\% der TM)}$$

$$peNDFom_{>8} = \text{Partikelanteil (Masse) } > 8 \text{ mm (\%)} \times aNDFom \text{ (\% der TM)}$$

Die Beurteilung einer Ration anhand des peNDFom-Gehaltes basiert auf der Empfehlung, einen durchschnittlichen pH-Wert im Pansen von mindestens 6,2 aufrechtzuerhalten (Zebeli und Humer, 2016). Die notwendige Versorgung mit peNDFom ist keine feste Größe, sondern orientiert sich an der TM-Aufnahme und dem Gehalt an pansenabbaubarer Stärke

(peNDFom_{>1,18}) beziehungsweise an der Gesamtstärke (peNDFom_{>8}) der Rations-TM (Steingass und Zebeli, 2014). Nachfolgend sind in Tabelle 9 und Tabelle 10 die notwendigen Gehalte an peNDFom zur adäquaten Strukturversorgung dargestellt (GfE, 2014).

Tab. 9: Notwendige Gehalte an peNDFom_{>1,18} (% der Trockenmasse, TM) in Abhängigkeit von der TM Aufnahme und dem Gehalt an pansenabbaubarer Stärke aus Getreide (GfE, 2014)
The peNDFom_{>1,18} (% of dry matter, DM) recommended depending on dry matter intake and ruminally degradable starch in the ration (GfE, 2014)

Im Pansen abbaubare Stärke aus Getreide (% der TM)	TM-Aufnahme (kg/Tag)			
	18	20	22	24
8	18	20	21	23
12	21	23	25	28
16	25	28	32	> 32*
20	32	> 32*	> 32*	> 32*

* peNDFom_{>1,18}-Gehalte über 32 % können die TM-Aufnahme limitieren

Tab. 10: Notwendige Gehalte an peNDFom_{>8} (% der Trockenmasse, TM) in Abhängigkeit von der TM-Aufnahme und dem Gesamt-Stärkegehalt der Ration (GfE, 2014)
The peNDFom_{>8} recommended depending on dry matter intake and total starch in the ration (GfE, 2014)

Gesamt-Stärkegehalt (% der TM)	TM-Aufnahme (kg/Tag)			
	18	20	22	24
14	12	13	15	16
18	14	15	17	18
22	16	17	19*	21*
26	18	20*	22*	22*

* peNDFom_{>8}-Gehalte über 18 % können die TM-Aufnahme limitieren

Steigende TM-Aufnahmen und/oder höhere Gehalte an Stärke bzw. an pansenabbaubarer Stärke in der Ration erfordern höhere Gehalte an peNDFom in der Ration (GfE, 2014), um die Strukturversorgung und somit die physiologischen Bedingungen im Pansen sicherzustellen.

BEWERTUNG DER KORNZERKLEINERUNG MIT DEM CORN SILAGE PROCESSING SCORE

Eine stärkere Zerkleinerung der Körner bei der Ernte von Silomais erhöht die Gesamtstärkeverdaulichkeit von Maissilagen im Verdauungstrakt der Milchkuh (Bal et al., 2000; Cooke und Bernard, 2005). Die Stärkeverdaulichkeit von laktierenden Kühen variiert bei der Fütterung von Maissilage zwischen 80 und 98 % (Ferraretto und Shaver, 2012a). Der Grad der Körnerzerkleinerung wird durch viele Faktoren beeinflusst, beispielsweise den Reifegrad und den TM-Gehalt der Pflanze, die tHL und/oder die eingesetzte Technik. Ferreira und Mertens (2005) entwickelten die Kenngröße „corn silage processing score“ (CSPS), um den Zerkleinerungsgrad der Maiskörner zu quantifizieren. Bei diesem Verfahren werden ganze Maiskörner und nur grob zerkleinerte Körner von den feinen Kornbestandteilen isoliert. Zur Trennung der Bestandteile wird ein Sieb mit einer Lochweite von 4,75 mm genutzt, durch welches eine getrocknete Probe der Maissilage in vertikaler Richtung geschüttelt wird. Der Anteil der Stärkemenge der stark zerkleinerten Mais Kornbestandteile (< 4,75 mm) an der Gesamtstärkemenge gibt den CSPS-Gehalt einer Maissilage wieder (Ferreira und Mertens, 2005). In der Bewertung der Kornaufbereitung werden drei Bereiche unterschieden:

Ungenügend:	CSPS < 50 %
Durchschnittlich:	CSPS 50 bis 70 %
Sehr gut:	CSPS > 70 %

US-AMERIKANISCHE ERGEBNISSE ZUM EINSATZ VON SHREDLAGE-MAISSILAGE

In den Jahren 2012 bis 2015 wurden in den Vereinigten Staaten von Amerika Ergebnisse von vier Fütterungsversuchen mit Shredlage-Maissilage veröffentlicht. Eine Übersicht über die Methodik und die Ergebnisse dieser Versuche gibt Tabelle 11.

Innerhalb jeder Untersuchung wurden die Kühe mit den gleichen Rationen gefüttert, die sich lediglich in der Aufbereitungsart der Maissilage unterschieden. Vanderwerff et al. (2015) führten einen Versuch mit drei Fütterungsgruppen durch. Bei der dritten Versuchsgruppe wurde der Anteil an konventioneller Maissilage in der Mischration um 10 % verringert und stattdessen gehäckseltes Luzerneheu der Ration zugemischt. Im Gegensatz zu den Ergebnissen der deutschen Studien zur optimalen Häcksellänge aus den Jahren 2005 bis 2007 hatte der Einsatz

von Shredlage-Maissilage mit einer tHL von bis zu 30 mm in den USA insgesamt eher positive Effekte auf die Futteraufnahme und die Milchleistung der Kühe. Aus diesen Ergebnissen wird gefolgert, dass aufgrund der höheren Strukturwirksamkeit der grob gehäckselten Maissilage der Strohanteil in der Ration verringert oder sogar auf diesen verzichtet werden kann. In den vorliegenden amerikanischen Studien wurden die Kontrollvarianten mit 19 mm tHL gehäckselt und liegen damit ebenfalls weit über den deutschen Empfehlungen zur optimalen Häcksellänge. Ferraretto und Shaver (2015) stellten fest, dass die Maissorten die TM-Aufnahme, die Milchleistung und die Milchinhaltsstoffe beeinflussen. In den USA werden andere Mais-Genotypen eingesetzt als in Mitteleuropa. Aus diesen Gründen sind die Ergebnisse aus den USA nicht ohne weiteres auf deutsche Verhältnisse übertragbar, so dass Versuchsanstellungen unter hiesigen Produktionsbedingungen notwendig wurden.

Tab. 11: Versuchsaufbau und Ergebnisse von Fütterungsversuchen mit laktierenden Milchkühen zum Einsatz von Shredlage-Maissilage in den USA
 Experimental setup and results of feeding trials with maize shredlage in rations for lactating dairy cattle in the United States of America

Autoren		I		II			III		IV	
Versuchsaufbau										
		KON	SHR	KON	KONH	SHR	KON	SHR	KON	SHR
tHL	mm	19	30	19	19	26	n. b.	n. b.	n. b.	n. b.
CSPS	%	60,3	75,0	67,6	67,6	72,4	56,2	62,2	50,7	59,5
Anteil MS in TMR	% TM	50	50	45	35	45	38	38	50	50
peNDF _{>8}	%	16,0	15,1	14,4	13,7	14,5	16,5	16,8	n. b.	n. b.
Tierzahl	n	56	56	40	40	40	76	76	64*	64*
Versuchsdauer	d	56		28			84		56	
Ergebnisse										
TM-Aufnahme	kg/d	24,7	25,4	26,7	26,7	26,9	25,5	25,6	25,5	25,4
Milchmenge	kg/d	42,8	43,6	50,1 ^a	47,4 ^b	51,3 ^a	40,3	41,4	41,2	41,0
Milchfett	%	3,70	3,74	3,31 ^a	3,67 ^b	3,29 ^a	3,72	3,68	3,71	3,70
Milcheiweiß	%	3,21	3,18	3,13	3,14	3,09	3,08	3,05	3,00	3,01
ECM	kg/d	44,2	45,1	48,6	48,4	49,5				
ECM** (4,0 % Fett; 3,4 % Eiweiß)	kg/d	40,8	41,7	45,3	44,9	46,1	38,2	39,0	38,8	38,6

Autor I: Ferraretto und Shaver (2012b); Autor II: Vanderwerff et al. (2015); Autor III: Flis (2015); Autor IV: Chase (2015); KON: TMR mit konventionell gehäckselter Maissilage; KONH: 10 % der Maissilage aus KON wurden durch gehäckseltes Luzerneheu ersetzt; SHR: TMR mit Shredlage-Maissilage; tHL: theoretische Häcksellänge; CSPS: Corn Silage Processing Score; MS: Maissilage; peNDFom: physikalisch effektive NDFom

ECM: Energiekorrigierte Milchmenge; n.b.: nicht bekannt; *Periodenwechselfersuch; **ECM (kg) = $((0,38 \times \text{Fett} (\%) + 0,21 \times \text{Eiweiß} (\%) + 1,05) \times \text{Milchmenge} (\text{kg})) / 3,28$; ^{a, b} Werte mit unterschiedlichen Hochbuchstaben geben signifikante Unterschiede an

ERGEBNISSE AUS DEUTSCHLAND ZUM EINSATZ VON SHREDLAGE- BZW. LANDGSCHNITT-MAISSILAGE UND KONVENTIONELLER MAISSILAGE IM VERGLEICH

Um die Effekte des Einsatzes von Shredlage-Maissilage unter mitteleuropäischen Bedingungen zu prüfen, wurden in Deutschland in den Jahren 2016 und 2017 insgesamt 5 Fütterungsversuche mit Milchkühen durchgeführt. Das VBZL Haus Riswick sowie das LVFZ in Achselschwang führten in den Jahren 2016 und 2017 jeweils einen Fütterungsversuch durch, im Jahr 2017

wurde zudem im LVZ Futterkamp ein Fütterungsversuch mit Milchkühen abgeschlossen. In allen Versuchen wurde konventionell gehäckselte Maissilage mit einer tHL von 7 mm mit einer Shredlage-Maissilage bzw. einer Langschnitt-Maissilage (tHL 26 mm) verglichen. Neben den Effekten in der Milchviehfütterung wurden ebenfalls Daten zu den Siliereigenschaften und zu dem Einfluss auf die erzielte Verdichtung (kg TM/m^3) erfasst.

Messungen zur erreichten Verdichtung

Pries et al. (2016) führten umfangreiche Erhebungen zur Verdichtbarkeit von Shredlage-Maissilage durch. Am Tag der Ernte wurden zur Bestimmung der Verdichtbarkeit 120 Liter Kunststofffässer unter definierten Bedingungen mit Frischmais beider Varianten (konventionelle Maissilage mit 7 mm tHL und Shredlage mit 26 mm tHL) gefüllt und mit einer hydraulischen Presse mit variierenden Drücken verdichtet. Unabhängig vom Verdichtungsdruck (0,5; 1,0 und 1,5 bar) zeigte sich eine etwa 10 % höhere Verdichtung zugunsten des mit 7 mm tHL geernteten Materials.

Zur Beschreibung der Dichtlagerung in der Silomiete wurden in drei Fütterungsversuchen während der Entnahme Dichtebestimmungen an den Anschnittflächen der Silomieten durchgeführt. Im VBZL Haus Riswick, Kleve, wurden im Jahr 2015 zwei identisch aufgebaute Silomieten mit Shredlage-Maissilage (26 mm tHL) und konventioneller Maissilage (7 mm tHL) befüllt. Die Verdichtung der Silomieten erfolgte mit dem gleichen Walzdruck, so dass vergleichbare Bedingungen gegeben waren. Die Dichtebestimmung erfolgte mittels der Bohrkernmethode (Durchmesser 100 mm) an unterschiedlichen Lokalisationen im Silo.

Den Daten hinsichtlich der erzielten Verdichtung an den Anschnittflächen ist zu entnehmen, dass vor allem die obere Schicht der Shredlage-Maissilage deutliche Differenzen zwischen der realisierten und der zur Minimierung des Porenvolumens notwendigen Verdichtung aufweist (Tabelle 12). Während das auf 7 mm tHL gehäckselte Material mit im Mittel 220 kg TM/m^3 in der obersten Schicht nur etwa 15 % unterhalb der erforderlichen Dichtlagerung lag, wurden die Sollwerte bei der Shredlage-Maissilage um ca. 35 % unterschritten. Hinsichtlich der Gesamtmittelwerte bestätigt sich das Ergebnis der Dichtemessung in den Kunststofffässern. Es zeigt sich bei gleichem Druck eine um 12 % höhere Verdichtung zugunsten der konventionellen Variante (7 mm tHL).

Tab. 12: Verdichtung von Maissilagen in den Fahrsilos in kg TM/m³ (Pries et al., 2016)Compaction of forage maize in bunker silos expressed as kg dry matter/m³ (Pries et al., 2016)

Konventionell (7 mm tHL)				Shredlage (26 mm tHL)				Sollwert		
	L	M	R	MW		L	M	R	MW	
O	201	254	206	220	O	152	196	150	166	
M	274	281	275	277	M	246	264	253	254	
U	279	314	319	304	U	287	276	303	289	
MW	251	283	267	267	MW	228	245	235	236	260

O: Oben; M: Mitte; U: Unten; L: Links; R: Rechts; MW: Mittelwert

Sollwert nach Honig (1987) bei einem TM-Gehalt der Maissilage von 34 %

Im Jahr 2017 wurde im VBZL Haus Riswick die Dichtemessung im Fahrsilo wiederholt. Die Shredlage-Maissilage war aufgrund der Erfahrungen aus dem Vorjahr mit einem deutlich höheren Druck verdichtet worden als die konventionell gehäckselte Maissilage. In beiden Varianten wurde in der oberen Schicht eine geringere Verdichtung als im Vorjahr erzielt (Shredlage: 145 kg TM/m³; Konventionell: 175 TM/m³). Das durchschnittliche Massevolumen war trotz eines deutlich höheren Walzdrucks bei der Shredlage-Maissilage mit 218 kg TM/m³ um etwa 5 % geringer als bei der konventionellen Maissilage (227 kg TM/m³) und lag damit in beiden Varianten deutlich unterhalb der Empfehlungen von Honig (1987). Im LFVZ Achselschwang wurden im Jahr 2017 ebenfalls Dichtemessungen an der Anschnittfläche durchgeführt, bei der Ernte war auch hier die Shredlage-Maissilage intensiver, das heißt mit erhöhtem Druck, festgefahren worden. Im oberen und seitlichen Silobereich konnten die Zielwerte bei beiden Varianten nicht erreicht werden (-10 bis -15 %), die konventionelle Maissilage zeigte eine geringfügig günstigere Verdichtung (Ettle et al., 2017).

Thaysen et al. (2017) verglichen die Verdichtbarkeit von Erntegut unterschiedlicher Partikelgröße in Abhängigkeit vom Walzendesign des Corncrackers im Feldhäcksler. Zusätzlich wurden unterschiedliche Trockenmassegehalte im Siliergut und verschiedene Drehzahldifferenzen der Corncrackerwalzen berücksichtigt. Dabei ergaben sich hinsichtlich des Walzendesigns keine signifikanten Unterschiede in der Verdichtbarkeit. Es konnte jedoch beobachtet werden, dass das erzielte Massevolumen (kg TM/m³) des Frischmaises mit steigender Partikelgröße abnahm.

Somit kann gefolgert werden, dass Shredlage-Mais aufgrund seiner gröberen Struktur weniger gut zu verdichten ist, was vor allem durch das ausgeprägtere Nachfederverhalten erklärt werden

kann. Leurs (2006) beschrieb einen Rückgang der Verdichtbarkeit von 25 % bei einer Erhöhung der tHL von 5,5 mm auf 21 mm. Bei Shredlage-Maissilage mit einer tHL von 26 mm lag der Rückgang in der Verdichtbarkeit lediglich bei 12 %. Aufgrund der größeren Drehzahldifferenz der Crackerwalzen und der aggressiven Bezahnung entsteht eine große Reibwirkung, die zu einem Aufspießen des Häckselgutes in Längsrichtung der Stängel- und Blattteile führt. Dieses aufgesplissene Material lässt sich besser verdichten als solches, das lediglich auf eine tHL von 21 mm gehäckselt wurde und keiner intensiven Aufbereitung unterzogen wurde.

Gärsäuremuster und aerobe Stabilität

Um den Einfluss des Ernteverfahrens auf Siliereignung und -erfolg zu überprüfen, führten Pries et al. (2016), Speit et al. (2017), Ettle et al. (2017b) und Jilg (2017) entsprechend der Prüfvorschrift der DLG (2013) Laborsiloversuche durch. Hierzu wurden Laborsilos mit Frischmais gefüllt und nach 49 bzw. 90 Tagen (d) Lagerdauer erfolgten die Messungen, um Lagerstabilität und Gärqualität zu bestimmen. Außerdem wurden während der Fütterungsversuche an den Anschnittflächen Temperaturmessungen durchgeführt, um die Situation im Futterstock einschätzen zu können.

Den Ergebnissen von Pries et al. (2016) ist eine deutliche Verschiebung zu einer essigsäure-reicheren Vergärung bei der Shredlage-Maissilage zu entnehmen. Der dort bestimmte Essigsäuregehalt nach 90 Tagen Lagerdauer von 4,4 % in der TM liegt deutlich oberhalb des Orientierungswertes von 3 % der TM (DLG, 2006). Hohe Essigsäuregehalte können negative Auswirkungen auf die TM-Aufnahme der Kühe haben (Eisner et al., 2006). Einhergehend mit dem höheren Gehalt an Essigsäure wurden geringere Gehalte an Milchsäure ermittelt. Hinsichtlich der aeroben Stabilität am Tag 90 sind deutliche Vorteile zugunsten der Shredlage-Maissilage erkennbar (>22,8 d (Shredlage) zu 5,5 d (Konventionell)). Die höhere aerobe Stabilität der Shredlage-Maissilage ist jedoch weniger dem Ernteverfahren als vielmehr den deutlich höheren Gehalten an Essigsäure zuzuschreiben, welche die aerobe Stabilität fördern (Danner et al., 2003). Die Temperaturmessungen an der Silomiete ergaben keine Differenzen zwischen den beiden Ernteverfahren. Die Temperaturentwicklung verlief in der Fütterungsphase nahezu parallel. Somit stellten die Autoren in diesem Versuch keinen Einfluss des Ernteverfahrens auf das Gärsäuremuster und die aerobe Stabilität fest.

Die Ergebnisse von Speit et al. (2017) zeigen am Tag 90 ähnliche Gehalte an Essigsäure (10 g/kg TM bei Shredlage-Maissilage und 9 g/kg TM bei konventioneller Maissilage) und signifikant höhere Gehalte an Milchsäure in der Shredlage-Maissilage (82 g/kg TM bei Shredlage-Maissilage und 69 g/kg TM bei konventioneller Maissilage). Die konventionelle Maissilage hatte am Tag 90 mit 15,7 d eine signifikant höhere aerobe Stabilität als die Shredlage-Maissilage (7,6 d). Aufgrund der gröberen Partikelstruktur der Shredlage-Maissilage sind bei geringerer Dichtlagerung größere Lufträume vorhanden, die eine stärkere Diffusion und damit einen beschleunigten Gasaustausch ermöglichen. An den Anschnittflächen der Silomieten wurde eine durchschnittliche Temperatur von etwa 16 °C gemessen, es zeigten sich diesbezüglich keine Unterschiede zwischen den beiden Ernteverfahren. Über den gesamten Versuchszeitraum konnten keine Anzeichen für eine Nacherwärmung beobachtet werden.

Die Untersuchungen von Ettle et al. (2017b) im Laborsilo ergaben keine signifikanten Unterschiede hinsichtlich Gär säuremuster und aerober Stabilität zwischen den beiden Ernteverfahren. Beide Varianten wiesen am Tag 49 eine eher geringe aerobe Stabilität auf (Shredlage-Maissilage: 6,7 d; konventionelle Maissilage: 2,9 d), diese führen die Autoren auf die hohe Belastung des Ausgangsmaterials mit Hefen (Shredlage-MS: 6,99 log Koloniebildende Einheiten/g; Konventionelle MS: 6,67 log Koloniebildende Einheiten/g) und Schimmelpilzen (Shredlage-MS: 6,45 log Koloniebildende Einheiten/g; Konventionelle MS: 6,26 log Koloniebildende Einheiten/g) zurück. Die Messung der Silagequalität in den Fahrsilos ergab hinsichtlich der aeroben Stabilität keine bedeutenden Unterschiede zwischen den beiden Varianten. Über den gesamten Versuchszeitraum wurden keine Anzeichen für eine Nacherwärmung beobachtet. Zusätzlich erfolgte eine Probenentnahme an den Anschnittflächen der Silomieten zur Untersuchung der Gär säuregehalte. Das Gär säuremuster zeigte keine Unterschiede zwischen den Varianten, die Gehalte an Gär säuren und der pH-Wert variierten entsprechend der DLG-Empfehlung (2006) in einem üblichen Bereich. Die Proben aus dem unteren Bereich der Silomieten spiegelten die Ergebnisse aus dem Laborsiloversuch von Ettle et al. (2017b) wider und bestätigten damit das Ergebnis.

Jilg (2017) führte zum Vergleich der aeroben Stabilität und der Gär säuremuster von konventioneller Maissilage (5 – 10 mm tHL) und von Langschnitt-Maissilage mit einer intensiven Auffaserung (18 – 30 mm tHL) einen Laborsiloversuch durch. In dieser Studie wiesen die Langschnitt-Maissilagen eine ähnliche aerobe Stabilität auf (8,4 d nach 90 d

Lagerdauer) wie die konventionelle Maissilage (7,9 d nach 90 d Lagerdauer). Höhere pH-Werte und Essigsäuregehalte wiesen die Silagen der konventionellen Maissilage auf.

Bei einer Erhebung bezüglich der Gärqualität und des Hefenbesatzes von konventioneller Maissilage und Langschnitt-Maissilage auf Praxisbetrieben stellten Weiß et al. (2017) keine nennenswerten Unterschiede bezüglich der aeroben Stabilität der beiden Varianten fest. Diese nahm mit steigender Lagerungsdichte zu, währenddessen der Hefebesatz abnahm.

Thaysen et al. (2017) stellten in einem Versuch keinen Einfluss des Crackerwalzendesigns auf die aerobe Stabilität der Maissilage fest. Die aerobe Stabilität ging mit zunehmender Häcksellänge zurück. Diese Tendenz war sowohl bei herkömmlichen Crackerwalzen, als auch bei der neuartigen Technik in gleichem Maße zu beobachten.

In den vorliegenden Studien konnte kein Einfluss der Partikelgröße und der Aufbereitungsart auf das Gärsäurenmuster nachgewiesen werden. Hinsichtlich einer Beeinflussung der Gärsäuregehalte durch das Ernteverfahren bestätigen sich damit die Ergebnisse von Leurs (2006). In den Laborsiloversuchen im VBZL Haus Riswick 2017 wurde eine signifikant geringere aerobe Stabilität der Shredlage-Maissilage festgestellt. In den Silomieten konnten hingegen keine Temperaturunterschiede zwischen den Ernteverfahren gemessen werden.

Partikelgrößenverteilung im Erntegut/in der Ration

Pries et al. (2016) überprüften im Erntegut und in den vorgelegten Gesamtmischrationen die Partikelgrößenverteilung der Varianten „konventionell“ und „Shredlage“ mit Hilfe der Schüttelbox. Die Rationen wurden mit einem selbstfahrenden Futtermischwagen mit Fräs- walze gemischt. Die Ergebnisse werden in Abb. 6 dargestellt. Beim Erntegut ist eine deutliche Verschiebung zwischen den beiden Varianten im Ober- und Mittelsieb auffällig. Shredlage- Mais hat mit 36 % einen deutlich größeren Partikelanteil auf dem Obersieb. Bei konventionell gehäckseltem Mais befindet sich dort lediglich ein Anteil von 2 %. Diese Verschiebung zwischen Ober- und Mittelsieb ist in den Mischrationen ebenfalls festzustellen. Der Anteil an groben/langen Partikeln auf dem Obersieb ist bei den Shredlage-Varianten mit 25 % etwa doppelt so hoch wie bei Rationen mit konventioneller Maissilage. Die gleichmäßige Verschiebung der Anteile zwischen dem Erntegut und den Mischrationen zeigt, dass die Entnahme mittels Fräse und das Mischen der Ration nur einen eher geringen Einfluss auf die Partikelgrößenverteilung in der Maissilage hat.

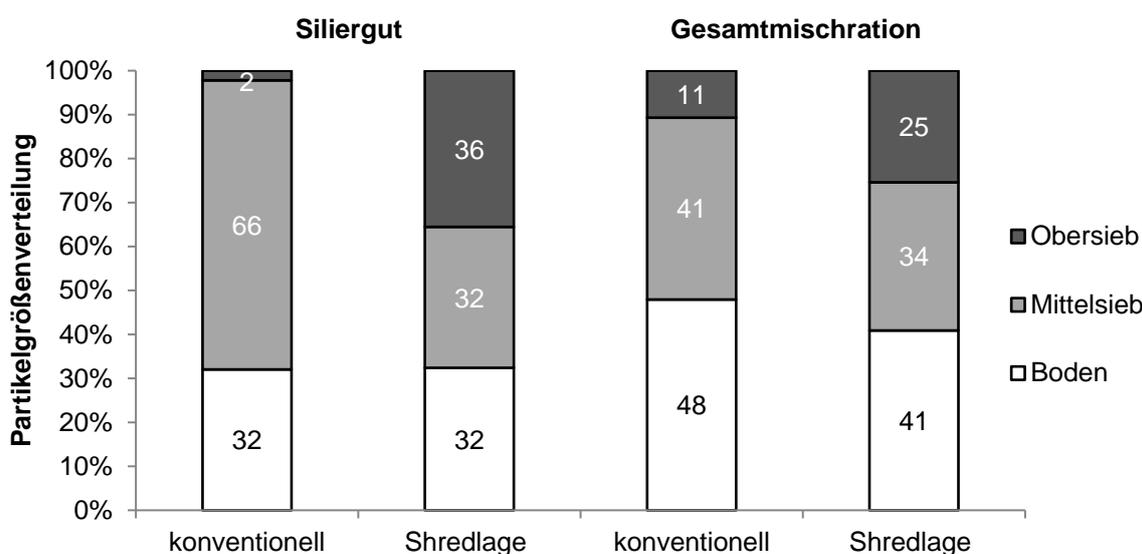


Abb. 6: Partikelgrößenverteilung im Siliergut aus konventioneller und Shredlage-Ernte sowie von den Gesamtmischrationen mit konventioneller und Shredlage-Maissilage (Pries et al., 2016)
Particle size distribution of conventional and shredlage forage maize after harvest and in the offered rations (Pries et al., 2016)

Verdaulichkeitswerte mit Hammeln und Milchkühen

Die konventionell geerntete Maissilage und die Shredlage-Maissilage aus der Untersuchung von Pries et al. (2016) wurden einer Verdaulichkeitsmessung an je vier Hammeln unterzogen. Auf Basis der verdaulichen Roh Nährstoffe wurden die Gehalte an ME und NEL nach Maßgabe der GfE (2001) kalkuliert. Die Verdaulichkeit der organischen Masse betrug für die konventionell gehäckselte Maissilage 81,0 % und für die Shredlage-Maissilage 80,5 %. Auch bei den übrigen Größen ergaben sich ähnliche Werte der Verdaulichkeit. In keinem einzigen Merkmal wurden statistisch gesicherte Differenzen festgestellt. Die aus den verdaulichen Roh Nährstoffen berechneten Energiegehalte betragen 7,24 bzw. 7,23 MJ NEL/kg TM für die konventionelle Maissilage bzw. die Shredlage-Maissilage. Sowohl die Werte hinsichtlich der Verdaulichkeit der organischen Masse als auch die berechneten Energiegehalte liegen aber deutlich oberhalb bisher genutzter Tabellenwerte (Universität Hohenheim, 1997).

In den Untersuchungen von Etle et al. (2017a, 2017b) wurden ebenfalls Verdaulichkeitsmessungen der Maissilagen an jeweils vier Hammeln durchgeführt. Von Etle et al. (2017b) wurden Gesamtverdaulichkeiten von 74,4 % (Konventionell) und 74,6 % (Shredlage) festgestellt, sie bewegten sich auf gleichem Niveau und im Bereich von Tabellenwerten (Universität Hohenheim, 1997), jedoch etwa 6 Prozentpunkte unterhalb der Ergebnisse von

Pries et al. (2016). Hinsichtlich der Verdaulichkeit der übrigen Nährstoffe konnten zwischen den Varianten ebenfalls keine signifikanten Differenzen ausgemacht werden. Die aus den Rohnährstoffen errechneten Energiegehalte betragen 6,81 MJ NEL/kg TM (Konventionell) und 6,79 MJ NEL/kg TM (Shredlage). Diese Befunde stimmen sehr gut mit den Ergebnissen von Ettle et al. (2017a) aus dem Vorjahr überein. Hier konnten ebenfalls keine signifikanten Differenzen hinsichtlich der Gesamtverdaulichkeit und der errechneten Energiegehalte festgestellt werden.

Aus den Befunden der beiden Verdaulichkeitsmessungen an den Standorten Riswick (Pries et al., 2016, Speit et al. 2017) und Grub (Ettle et al. 2017a, Ettle et al., 2017b) kann gefolgert werden, dass unabhängig von der Ernte-/Häckseltechnik hoch verdauliche und energiereiche Maissilagen erzeugt werden können.

Neben den Maissilagen wurden auch die Versuchsrationen aus den Untersuchungen von Pries et al. (2016) in Verdaulichkeitsversuchen an Hammeln geprüft. Es wurden vier Rationen geprüft: KOS (TMR mit konventioneller Maissilage ohne Strohzulage), KMS (TMR mit konventioneller Maissilage mit Strohzulage), SOS (TMR mit Shredlage-Maissilage ohne Strohzulage) und SMS (TMR mit Shredlage-Maissilage mit Strohzulage). Die Verdaulichkeit der organischen Masse betrug 80,7 % für KOS, 81,0 % für KMS, 81,8 % für SOS und 81,7 % für SMS. Hinsichtlich der Verdaulichkeit der übrigen Rohnährstoffe waren ebenfalls keine signifikanten Differenzen festzustellen. Die aus den verdaulichen Nährstoffen berechneten Energiewerte betragen 7,38 MJ NEL/kg TM bei KOS, 7,39 MJ NEL/kg TM bei KMS, 7,49 MJ NEL/kg TM bei SOS und 7,48 MJ NEL/kg TM bei SMS. Die Unterschiede sind gering und waren nicht signifikant. Die Berechnung der Energiegehalte mit Hilfe der TMR-Schätzgleichung (GfE, 2004) führte zu übereinstimmenden Ergebnissen.

Die Rationen KOS und SOS aus dem Versuch von Pries et al. (2016) wurden ebenfalls an jeweils vier Kühen auf ihre Verdaulichkeit geprüft. Die Verdaulichkeitsmessung wurde während des Fütterungsversuches mit 2 x 4 hochleistenden Kühen durchgeführt. Die Kühe spiegelten das durchschnittliche Leistungsniveau und Laktationsstadium der jeweiligen gesamten Versuchsgruppe wider. Das durchschnittliche Ernährungsniveau (EN) betrug 4,2 (KOS) und 4,4 (SOS). Nach einer dreitägigen Gewöhnung in der Einzelhaltung wurde in einer fünftägigen Sammelperiode der gesamte Kot individuell gesammelt. Die Verdaulichkeit der organischen Masse betrug in der Gruppe KOS 75,3 % und in SOS 74,0 %. Bei den die

Verdaulichkeit der Faser beschreibenden Größen (Rohfaser, aNDFom, ADFom) bestanden signifikante Unterschiede zwischen den geprüften Rationen zugunsten der Variante KOS. Die Stärkeverdaulichkeit war hingegen in der Gruppe SOS (99,4 %) trotz einer Differenz von nur 1,1 Prozentpunkten gegenüber der Gruppe KOS (98,3 %) signifikant erhöht. Somit konnte in beiden Gruppen, verglichen mit den Angaben von Ferraretto und Shaver (2012a), eine sehr hohe Stärkeverdaulichkeit erzielt werden. Aus den verdaulichen Rohnährstoffen errechneten sich Energiegehalte von 6,78 ML NEL/kg TM (KOS) bzw. 6,66 MJ NEL/kg TM (SOS). Die statistische Überprüfung der Differenz ergab keine Signifikanz. Die Verdaulichkeit der organischen Masse in den Rationen KOS und SOS war in der Prüfung am Hammel deutlich höher als in der Prüfung an Milchkühen. Dies erklärt sich in erster Linie durch das höhere Futteraufnahmeniveau und der damit einhergehenden forcierten Passagerate bei den Milchkühen. Die Differenz in der Verdaulichkeit der organischen Masse zwischen Hammel- und Kuhversuch beträgt 5,3 Prozentpunkte bei KOS und 7,8 Prozentpunkte bei SOS. Ähnliche Differenzen ermittelten Pries et al. (2007) beim Vergleich der Verdaulichkeit der organischen Masse unterschiedlicher Mischrationen zwischen Hammel und Milchkuh, die durchschnittliche Differenz lag bei 6,3 Prozentpunkten zugunsten der Hammel. Bezogen auf eine Einheit Ernährungsniveau (Energieniveau für Erhaltung) beträgt die Differenz 1,3 Prozentpunkte bei KOS und 1,8 Prozentpunkte bei SOS. Bei hoher Passagerate unterliegen demzufolge Rationen mit Shredlage-Maissilage einer stärkeren Verdaulichkeitsdepression als Rationen mit konventioneller Maissilage, was mit der gröberen Futterstruktur begründet werden kann.

Fütterungsversuche mit Milchkühen (Leistung, sonstige Effekte)

Die wesentlichen Daten zur Methodik sowie die entscheidenden Ergebnisse der in Deutschland durchgeführten Untersuchungen an Milchkühen sind Tabelle 13 zu entnehmen. In dem Versuch von Pries et al. (2016), der im Jahr 2016 im VBZL Haus Riswick, Kleve, durchgeführt wurde, fand die Maiseernte im Jahr 2015 mit zwei parallel fahrenden Häckselketten statt. Die konventionelle Maissilage wurde mit einem Claas Jaguar 960 Feldhäcksler mit dem „Claas-Intensiv-Aufbereiter“ auf 7 mm tHL gehäckselt. Die Shredlage-Maissilage wurde mit einem Claas Jaguar 950 Feldhäcksler mit dem „Claas MCC Shredlage“ Korn-Aufbereiter auf 26 mm tHL gehäckselt.

Tab. 13: Versuchsaufbau und Ergebnisse der Fütterungsversuche mit Milchkühen zum Einsatz von Shredlage- bzw. Langschnitt-Maissilage in Deutschland (Pries et al. (2016), Speit et al. (2017), Ettle et al. (2017a), Ettle et al. (2017b), Kampf et al. (2017))

Experimental setup and results of feeding trials with maize shredlage in rations for lactating dairy cattle in Germany (Pries et al. (2016), Speit et al. (2017), Ettle et al. (2017a), Ettle et al. (2017b), Kampf et al. (2017))

Autoren	Pries et al. (2016)				Speit et al. (2017)		Ettle et al. (2017a)		Ettle et al. (2017b)		Kampf (2017)	
Versuchsaufbau												
	KOS	KMS	SOS	SMS	KMS	SMS	KMS	SMS	KOS	SOS	KMS	LMS
tHL (mm)	7	7	26	26	7	26	7	26	7	26	7	26
Rationsgestaltung	TMR	TMR	TMR	TMR	TMR	TMR	PMR	PMR	PMR*	PMR*	TMR	TMR
CSPS (%)	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	55	79	87	93	82	79	n.b.	n.b.
Anteil MS MR (% TM)	45	44	46	45	40	40	39	39	47	47	46	46
NEL (MJ/kg TM)	7,3	7,2	7,3	7,2	7,1	7,1	6,8**	6,9**	7,1**	7,1**	n.b.	n.b.
peNDF _{>8 mm} (%)	17,8	17,8	19,6	19,3	18,1	21,1	15,1**	17,5**	14,3**	15,8**	n.b.	n.b.
Tierzahl (n)	39	44	41	40	24	24	24	24	24	24	36	36
Dauer (d)	140				188		84		84		100	
Ergebnisse												
TM-Aufnahme (kg/d)	23,2 ^a	24,1 ^{ab}	23,2 ^a	25,0 ^b	21,9	22,3	24,4 ^a	22,7 ^b	24,9	24,7	22,2	21,8
Milchmenge (kg/d)	38,5	38,2	38,4	39,1	35,2	36,1	35,9	34,6	38,9	39,0	38,9	38,0
Milchfett (%)	3,70	3,73	3,61	3,67	3,77	3,81	3,82	3,83	3,69	3,72	3,62	3,67
Milcheiweiß (%)	3,26	3,26	3,24	3,25	3,07	3,01	3,66	3,61	3,68	3,64	3,21	3,26
ECM ^{***} (kg/d)	37,2	36,6	36,2	37,0	33,8	34,6	35,7	34,3	38,2	38,2	36,9	36,4
Wiederkauen (min/d)	544 ^a	623 ^{ab}	653 ^b	678 ^b	606	602	485	502	591	557	n.b.	n.b.

KOS: Konventionelle Maissilage ohne Strohzulage in der Mischration; KMS: Konventionelle Maissilage mit Strohzulage in der Mischration; SOS: Shredlage-Maissilage ohne Strohzulage in der Mischration; SMS: Shredlage-Maissilage mit Strohzulage in der Mischration; LMS: Langschnitt (26 mm tHL; Scherer Spezialwalzen) mit Stroh; tHL: theoretische Häcksellänge; CSPS: Corn Silage Processing Score; MS: Maissilage; MR: Mischration; NEL: Netto-Energie-Laktation; peNDF_{om}: physikalisch-effektive aNDF nach Veraschung; Korrigiert um mineralische Bestandteile, deshalb „nach Veraschung“; das „a“ steht für „nach Amylasebehandlung“. Amylase wird zur Verflüssigung von Stärke eingesetzt, damit es keine falschen Analyseergebnisse durch ungelöste Stärke in der Faserfraktion gibt; ECM: Energiekorrigierte Milchmenge

TMR: Gesamtmischration; PMR: Teilmischration; n.b.: nicht bekannt; *Neben den Mischrationen stand den Kühen separat Stroh zur Verfügung, dieses wurde in geringen Mengen aufgenommen; **Angaben

inklusive Leistungskraftfutter; ^{***}ECM (kg) = ((0,38 x Fett (%) + 0,21 x Eiweiß (%) + 1,05) x Milchmenge (kg)) / 3,28; ^{a, b} Werte mit unterschiedlichen Hochbuchstaben geben signifikante Unterschiede an

Die Beurteilung der vorgelegten Ration mit der Schüttelbox zeigte deutliche Unterschiede hinsichtlich der Mengenanteile auf den Sieben. Der Anteil an groben Partikeln auf dem Obersieb war bei den Shredlage-Varianten mit 25 % etwa doppelt so hoch wie in den Rationen mit konventioneller Maissilage. Die errechneten peNDFom-Gehalte lagen entsprechend in den Rationen mit Shredlage-Maissilage um 1,5 bis 1,8 Prozentpunkte höher als in den Rationen mit kurz gehäckselter Maissilage. Hinsichtlich der TM-Aufnahme ergaben sich signifikante Unterschiede zwischen der Gruppe SMS (25,0 kg TM) und den Gruppen KOS und SOS mit jeweils 23,2 kg TM-Aufnahme pro Tier und Tag. Die Unterschiede in der TM-Aufnahme spiegelten sich auch in den Nährstoffaufnahmen wider. Sowohl in der Ration mit konventioneller Maissilage als auch in den Fütterungsgruppen mit Shredlage-Maissilage bewirkte eine Strohzulage von 500 g je Tier und Tag eine Veränderung der Futteraufnahme. Es konnte kein verstärktes Selektionsverhalten bei den Gruppen mit höheren Anteilen an groben Futterpartikeln festgestellt werden. Die Milchleistungsmerkmale zeigten keine signifikanten Unterschiede zwischen den Gruppen, die ECM variierte auf hohem Niveau zwischen 36,2 kg/d (SOS) und 37,2 kg/d (KOS). Die unterschiedliche Strukturversorgung spiegelte sich im Wiederkauverhalten der Kühe wider: Die Kühe der Shredlage-Varianten zeigten mit 653 min/d (SOS) bzw. 678 min/d (SMS) eine signifikant längere Wiederkaudauer als die Gruppe KOS mit 544 min/d. Der Unterschied hinsichtlich der Wiederkaudauer von 17 % zwischen den Gruppen KOS und SOS zugunsten der Shredlage-Maissilage – bei gleicher TM-Aufnahme – ist erheblich. Bei vier Tieren je Fütterungsgruppe wurden mit Messboli der Firma Smaxtec über einen Zeitraum von 50 Tagen die pH-Werte im Panseninhalt gemessen. Der durchschnittliche Tages-pH-Wert war bei den Kühen der Gruppe KOS mit 5,9 deutlich geringer als in der Gruppe SOS (6,2). Trotz gewisser Unsicherheiten bei der Messung des Pansen-pH-Wertes mit den Messboli scheinen die Daten in Verbindung mit der längeren Wiederkaudauer in der Gruppe SOS plausibel. Diesen Ergebnissen ist zu entnehmen, dass bei den Kühen der Gruppe KOS eine subakute Pansenazidose vorlag und die Shredlage-Maissilage die ruminalen Umsetzungen eher stabilisiert, insbesondere was den pH-Wert angeht. Die Fütterungsvarianten hatten aber keinen signifikanten Einfluss auf die Körpermasseentwicklung und die Körperkondition der Tiere. Bei der Betrachtung der Entwicklung der Tiere, die nach der Kalbung in den Versuch eingestellt

wurden, wird jedoch deutlich, dass ausgehend von einer nahezu identischen Lebendmasse direkt nach der Kalbung der Abbau von Körpersubstanz in den mit Shredlage-Maissilage versorgten Gruppen um etwa 20 kg geringer ausfiel als bei den Gruppen, die mit konventioneller Maissilage gefüttert wurden. Die höhere Energieversorgung, die aus der höheren Futteraufnahme resultierte, führte aber nicht zu einer höheren Milchleistung, sondern „nur“ zu einem geringeren Körpermasseabbau. Damit wurde das Ausmaß der negativen Energiebilanz zum Laktationsbeginn in den Shredlage-Varianten vermindert (Pries et al., 2016).

Im Jahr 2017 fand im VBZL Haus Riswick ein weiterer Fütterungsversuch statt, bei dem die Erntetechnik aus dem Vorjahr wiederholt wurde (Speit et al., 2017). Bereits in der Trockenstehphase wurden die Kühe mit den verschiedenen Maissilagen (konventionell mit 7 mm tHL und Shredlage mit 26 mm tHL) gefüttert, um möglicherweise unterschiedliche Anpassungseffekte nach der Kalbung auszuschließen. Der Bestimmung des CSPS-Gehaltes ist zu entnehmen, dass die Maiskörner der Shredlage-Variante deutlich stärker zerkleinert (+ 24 Prozentpunkte) waren als bei der konventionell gehäckselten Maissilage. Von der einphasigen Trockenstehration nahmen die Kühe aus der konventionellen Variante im Mittel 12,2 kg TM/d und die Kühe aus der Shredlage-Variante 12,9 kg TM/d auf. Der Unterschied war statistisch nicht signifikant. In der Früh-laktation wurden die Tiere bis zum 100. Laktationstag beobachtet. Auch in dieser Phase erhielten die Kühe prinzipiell gleiche Rationen, die sich lediglich im Ernteverfahren des Siliergutes unterschieden. Die Ration enthielt 0,8 kg TM Stroh, so dass die Gruppenbezeichnungen KMS und SMS gewählt wurden. Bei den laktierenden Kühen ergaben sich zwischen den Versuchsgruppen weder hinsichtlich der TM-Aufnahme noch bezüglich der Milchleistungsmerkmale signifikante Unterschiede. Eine stärkere Futterselektion in der Shredlage-Variante konnte nicht festgestellt werden. In beiden Gruppen wurde mit etwa 600 min/d eine ähnliche Wiederkaudauer bei den Kühen erfasst. Trotz einer struktureicheren Ration war die Wiederkaudauer der Tiere aus der SMS-Gruppe im Vergleich zum Vorjahr um 76 min/d geringer. Dies lässt sich mit der deutlich geringeren TM-Aufnahme erklären (-2,8 kg TM/d). Während der Trockenstehphase waren die Körperkondition sowie die Lebendmassen mit 753 kg (KMS) und 756 kg (SMS) in beiden Fütterungsvarianten sehr ähnlich. Nach der Kalbung verlief der Abbau der Körpermasse nahezu parallel, so dass die durchschnittliche Lebendmasse in den ersten 100 Laktationstagen Werte von 644 kg (KMS) und 629 kg (SMS) ergab. Die leicht höhere Futteraufnahme zugunsten der Shredlage-Variante

in der Trockenstehphase und der Früh lactation führte zu leicht höheren Energie- und Nährstoffaufnahmen. Daraus ergab sich über den gesamten Versuchszeitraum eine leicht günstigere Energiebilanz in der SMS-Gruppe.

In den Versuchen auf der Versuchsstation in Achselschwang (Ettle et al., 2017a; Ettle et al., 2017b) wurde der Mais in den Jahren 2015 und 2016 auf 7 mm (konventionelle Maissilage) und 26 mm (Shredlage-Maissilage) gehäckselt. Auch hier erfolgte die Ernte mit parallel fahrenden Häckselketten. Zum Einsatz kamen, ebenso wie bei Pries et al. (2016) und Speit et al. (2017), Claas Jaguar Feldhäcksler mit dem „Claas-Intensiv-Aufbereiter“ (7 mm tHL) und dem „Claas MCC Shredlage“ Korn-Aufbereiter (26 mm). Im Fütterungsversuch 2016 erhielten die Kühe zusätzlich zur PMR, die sich lediglich hinsichtlich der Maissilage unterschied, leistungsabhängig unterschiedliche Mengen Milchleistungsfutter am Kraftfutterautomaten. Die eingesetzte Maissilage war aufgrund der Witterungsbedingungen im Anbaujahr sehr kolben- bzw. stärkearm. Die Kühe aus der Gruppe SMS nahmen signifikant weniger Futter auf (22,7 kg TM/d) als die Gruppe KMS (24,4 kg TM/d). In der Shredlage-Variante wurde hier zusätzlich eine stärkere Futterselektion festgestellt. Im Vergleich der Partikelverteilung der vorgelegten Ration und der Futterreste konnte bei SMS ein Anstieg des Anteils von Partikeln > 19 mm von 22 auf 27 % festgestellt werden. Die Siebfraktionen der Futtervorlage und der Futterreste für die Ration der Gruppe KMS blieben nahezu konstant. Bezüglich der Milchmenge und -inhaltsstoffe ergaben sich keine signifikanten Unterschiede. Die ECM-Leistung betrug im Mittel 34,3 kg/d (SMS) bzw. 35,7 kg/d (KMS). Keine Unterschiede ergaben sich bei der täglichen Wiederkaudauer, die Kühe kauten täglich 485 min/d (KMS) und 502 min/d (SMS) wieder. Bei Betrachtung der Wiederkaudauer pro aufgenommenem kg peNDF_{om>8} ergaben sich zwischen den Versuchsgruppen nur geringfügige Unterschiede. Die Kühe aus der Gruppe KMS, die mit einer weniger strukturwirksamen Ration gefüttert wurden, kauten 132 min/kg peNDF_{om>8}, die Kühe aus der Gruppe SMS kauten 126 min/kg peNDF_{om>8} wieder.

Im Fütterungsversuch von Ettle et al. (2017b) erhielten die Tiere ebenfalls eine PMR, auf eine Strohzulage wurde verzichtet und der Maisanteil in der Mischration auf 47 % erhöht, um deutlichere Effekte bezüglich der Aufbereitungsart der Maissilage herausarbeiten zu können. Die CSPS-Gehalte variierten mit 82 % (Konventionell) bzw. 79 % (Shredlage) auf vergleichbar hohem Niveau. Den Kühen stand aber separat Stroh zur freiwilligen Aufnahme zur Verfügung, wovon die Tiere im Gruppenmittel aber nur geringe Mengen (ca. 100 g/d) aufnahmen. Auf einem insgesamt sehr hohen Niveau der täglichen Futteraufnahme ergaben sich keine

Unterschiede zwischen den Versuchsgruppen. Auch bei einer Überprüfung des Selektionsverhaltens der Kühe konnten keine Differenzen zwischen den Varianten festgestellt werden. Die Milchmenge lag mit 38,9 kg/d (KOS) bzw. 39,0 kg/d (SOS) auf fast identischem Niveau. Hinsichtlich der Milchinhaltsstoffe und somit auch der ECM-Leistung ergaben sich keine Unterschiede zwischen den beiden Gruppen. Die mittlere tägliche Wiederkaudauer betrug in der Gruppe KOS 591 min/d und für die Gruppe SOS 557 min/d, die Unterschiede zwischen den Gruppen waren zufällig. Die Körperkonditionsentwicklung verlief in beiden Gruppen parallel und nahm im Versuchsverlauf sichtbar zu. Dies deutet darauf hin, dass die hier erreichte Futteraufnahme trotz der hohen Milchleistung einen Energieüberschuss ermöglichte.

In dem Versuch von Kampf (2017) fand die Maisernte mit John Deere Feldhäckslern statt. Die Langschnitt-Maissilage wurde auf 26 mm tHL gehäckselt, eingesetzt wurde ein John Deere Körnerprozessor mit „Scherer Spezialwalzen“, die in etwa dem Shredlage-Aggregat der Firma Claas vergleichbar sind. Die konventionelle Maissilage wurde auf 7 mm tHL gehäckselt, die Kornaufbereitung erfolgte mit einem John Deere Körnerprozessor mit Standardwalzen. Die Milchkühe wurden mit einer TMR inklusive Strohzulage gefüttert und nahmen täglich 22,2 kg TM (KMS) und 21,8 kg TM (SMS) auf, die Unterschiede waren nicht signifikant. Auch hinsichtlich der Milchleistung ergaben sich zwischen den beiden Versuchsgruppen keine Unterschiede, so dass das Ernteverfahren des Siliergutes in diesem Versuch keine Auswirkungen auf die Futteraufnahme und die Leistung hatte.

Den bisher in Deutschland ermittelten Ergebnissen ist also zu entnehmen, dass ein Einsatz von Shredlage- bzw. Langschnitt-Maissilage ohne negative Folgen für die Futteraufnahme, das Fressverhalten und die Milchleistung möglich ist. Trotz deutlich unterschiedlicher Voraussetzungen sind die Ergebnisse aus den hiesigen Fütterungsversuchen mit den Erkenntnissen aus den Vereinigten Staaten von Amerika vergleichbar. Die Kornaufbereitung ist in den deutschen Studien sowohl bei der konventionellen Maissilage, als auch bei der Shredlage-Maissilage besser gelungen. Bei Ettle et al. (2017b) lagen die CSPS-Gehalte der beiden Ernteverfahren auf vergleichbar hohem Niveau (ca. 80 %). In keiner der vorliegenden deutschen Studien gab es signifikante Effekte auf die Milchleistung und die Milchinhaltsstoffe. Pries et al. (2016) beobachteten, dass der zusätzliche Einsatz von Stroh positive Effekte auf die Futteraufnahme und die Wiederkaudauer hatte. In der Fütterungsvariante KOS in der Studie von Pries et al. (2016) wurden die Empfehlungen hinsichtlich einer optimalen Strukturversorgung nicht ganz erfüllt, in der Folge zeigten die Tiere eine signifikant geringere

Wiederkaudauer und leicht niedrigere Pansen-pH-Werte. Diese sprachen für das Vorliegen einer subakuten Pansenazidose. In den Studien von Ettle et al. (2017a) und Ettle et al. (2017b) enthielten die Rationen deutlich geringere $\text{peNDF}_{\text{om}}>8$ -Gehalte, als die Rationen in den Versuchen von Pries et al. (2016) und Speit et al. (2017). Diese geringere Strukturversorgung erklärt die geringere Wiederkaudauer der Kühe bei Ettle et al. (2017a) und Ettle et al. (2017b) im Vergleich zu den Studien von Pries et al. (2016) und Speit et al. (2017). Die Kenngröße $\text{peNDF}_{\text{om}}>8$ stellt somit ein geeignetes Werkzeug zur Vorhersage der Wiederkaudauer und Stabilität der ruminalen Fermentation bzw. Risiken für die Entwicklung einer Pansenacidose dar. Obwohl die $\text{peNDF}_{\text{om}}>8$ -Gehalte in den amerikanischen Studien deutlich unterhalb der GfE-Empfehlungen und der in Deutschland erfassten Werte lagen, sind die Milchfettgehalte vergleichbar und die Futterraufnahme der Tiere lag auf einem sehr hohen Niveau. Zur besseren Vergleichbarkeit wurde die Energiekorrektur der natürlichen Milchmenge der Kühe in den amerikanischen Studien auf 4,0 % Fett und 3,4 % Eiweiß durchgeführt (Tab. 3). In Folge der Korrektur kommt es zu einer deutlichen Verringerung der ECM-Leistung. Der zuvor erhebliche Leistungsunterschied zwischen den amerikanischen und den deutschen Versuchsgruppen verliert damit an Aussagekraft. Bei kolbenarmem Mais sollte auf Grund der erleichterten Futterselektion und der geringeren Futterraufnahme auf eine Ernte des Siliergutes im Shredlage-Verfahren verzichtet werden (Ettle et al., 2017a).

FAZIT

Aus den angeführten Studien können folgende Schlussfolgerungen gezogen werden:

- Im Hinblick auf die Nährstoffversorgung der Milchkuh und die in hiesigen Studien ermittelten Leistungsparameter zeigt sich kein negativer Effekt bei Einsatz einer Shredlage-Maissilage in Milchviehrationen im Vergleich zur konventionell gehäckselten Maissilage. Verglichen mit früheren Studien zur Häcksellänge, in denen bei Langschnitt-Maissilagen ohne besondere Kornaufbereitung überwiegend geringere Futterraufnahmen und Milchleistungen ermittelt wurden, ergeben sich damit neue Erkenntnisse.
- Der Einsatz von Shredlage-Maissilage ermöglicht vergleichbar hohe Futterraufnahmen, fördert eindeutig die Versorgung mit peNDF_{om} und kann damit einen Beitrag zu einer wiederkäuergerechten Ration leisten.

- Die neue Aufbereitungstechnik ist gekennzeichnet durch eine deutlich intensivere Kornaufbereitung. Bei der richtigen Einstellung der konventionellen Erntetechnik kann jedoch auch eine vergleichbare Zerkleinerung der Maiskörner erzielt werden.
- Shredlage-Maissilage lässt sich gegenüber konventioneller Maissilage um etwa 10 % schlechter verdichten, wodurch das Risiko bezüglich einer Nacherwärmung - insbesondere in den oberen Schichten des Silagevorrates - wächst. Unter Berücksichtigung einer optimalen Verdichtung im Silo und somit eines ausreichenden Siliererfolges sind die Häcksellängen zum Erntetermin abgestimmt auf die Trockenmassegehalte der Restpflanze sowie den Kornanteil zu wählen. Mit steigenden Trockenmassegehalten der Gesamtpflanze (> 35 %) sollte die Häcksellänge bei der Shredlage-Maissilage jedoch generell zurückgenommen werden.
- Wegen der eher geringeren Verdichtung von Shredlage-Maissilage ist gerade unter diesen Bedingungen ein ausreichender Vorschub während der Entnahmephase zur Minimierung von Futtermittelnverlusten zu gewährleisten.

LITERATUR

Bal, M. A., Shaver, R. D., Jirovec, A. G., Shinnors, K. J. und Coors, J. G. (2000): Crop processing and chop length of corn silage: Effects on intake, digestion and milk production. *J. Dairy Sci.* 83, 1264-1273.

Chase, L. E. (2015): Shredlage in Dairy Cattle Rations, Cornell Nutrition Conference, Cornell University, <https://ecommons.cornell.edu/handle/1813/41239> (Zugriff am 17.09.2017).

Cooke, K. M. und J. K. Bernard (2005): Effect of length of cut and kernel processing on use of corn silage by lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.* 88, 310-316.

Danner, H., Holzer, M., Mayrhuber, E., und Braun, R. (2003): Acetic acid increases aerobic stability of silage under aerobic conditions. *Appl. Environ. Microbiol.* 69, 562-567.

DeVries, T. J., Dohme, F. und Beauchemin, K. A. (2008): Repeated ruminal acidosis challenges in lactating dairy cows at high and low risk for developing acidosis: Feed sorting. *J. Dairy Sci.* 91, 3958-3967.

DLG (2006): DLG-Schlüssel zur Beurteilung der Gärqualität von Grünfuttersilagen auf Basis der chemischen Untersuchung, DLG Frankfurt a. M.

DLG (2013): DLG-Richtlinie zur Prüfung von Siliermitteln auf DLG-Gütezeichenfähigkeit, DLG-Verlag Frankfurt a. M.

Eisner, I., Südekum, K.-H. und Kirchhof, S. (2006): Beziehungen zwischen Fermentationscharakteristika von Silagen und der Futteraufnahme von Milchkühen. Übers. Tierernährg. 34, 197-221.

Ettle, T., Schneider, M. und Obermaier, A. (2017a): Untersuchungen zur Bereitung und Fütterung von Shredlage. Forum angewandte Forschung in der Rinder- und Schweinefütterung, Fulda 2017, Herausgeber: Verband der Landwirtschaftskammern, Bonn, 104-107.

Ettle, T., Schneider, M., Obermaier, G., Rössl, H., Spiekers, H., Edelmann, P. und Scheidler, M. (2017b): Persönliche Mitteilung: Untersuchungen zur Siliereignung von Shredlage und zu den Auswirkungen des Einsatzes von Shredlage in der Milchviehfütterung bei hohen Anteilen von Maissilage in der Ration. Versuchsbericht.

Ferraretto, L. F. und R. D. Shaver (2012a): Meta-analysis: Effect of corn silage harvest practices on intake, digestion, and milk production by dairy cows. The Prof. Anim. Sci. 28, 141-149.

Ferraretto, L. F. und R. D. Shaver (2012b): Effect of corn shredlage on lactation performance and total tract starch digestibility by dairy cows. The Prof. Anim. Sci. 28, 639-647.

Ferraretto, L. F. und R. D. Shaver (2015): Effects of whole-plant corn silage hybrid type on intake, digestion, ruminal fermentation, and lactating performance by dairy cows through a meta-analysis. J Dairy Sci. 89, 2662-2675.

Ferreira, G. und D. R. Mertens (2005): Chemical and physical characteristics of corn silages and their effects on in vitro disappearance. J. Dairy Sci. 88, 4414-4425.

Flis, S. (2015): What did we learn about shredlage? Dairy One, Measurement to Management, <http://dairyone.com/wp-content/uploads/2016/07/What-did-we-learn-about-shredlage-2015.pdf> (Zugriff am: 17.09.2017).

GfE (Gesellschaft für Ernährungsphysiologie) (2001): Empfehlungen zur Energie- und Nährstoffversorgung der Milchkühe und Aufzuchtrinder. DLG-Verlag, Frankfurt a. M.

GfE (Gesellschaft für Ernährungsphysiologie) (2004): Prediction of Metabolisable Energy (ME) in total mixed rations (TMR) for ruminants. Proc. Soc. Nutr. Physiol. 13, 195-198.

GfE (Gesellschaft für Ernährungsphysiologie) (2014): Evaluation of structural effectiveness of mixed rations for dairy cows – status and perspectives. Proc. Soc. Nutr. Physiol. 23, 195–198.

Honig, H. (1987): Influence of forage type and consolidation on gas exchange and losses in silo. In: Summary of papers, 8th Silage Conference, Hurley (UK), 51-52.

Jilg, A. (2017): Bessere Silagequalität bei geschredderter Langschnitt-Maissilage? Tagungsband der Sitzung des Ausschusses Futtermittelkonservierung und Fütterung des Deutschen Maiskomitees, Braunschweig 2017, 13-16.

Kampf, D. (2017): Persönliche Mitteilung: Milchkuhfütterungsversuch zum „Einfluss der unterschiedlichen Aufbereitung von Maishäckselgut – Langschnitt mit speziellem Corncracker gegenüber herkömmlichen Kurzschnitt – auf Futteraufnahme, Leistungs- und Gesundheitsparameter von Milchkühen“. Versuchsbericht.

Khol-Parisini, P. J., und Q. Zebeli (2012): Die Milchkuh im Spannungsfeld zwischen Leistung, Gesundheit und Nährstoffeffizienz. 39. Viehwirtschaftliche Fachtagung, Raumberg-Gumpenstein 2012, 43-50.

Kononoff, P. J., Heinrichs, A. J. und Buckmaster, D. R. (2003a): Modification of the Penn State Particle Separator and the effects of moisture content on its measurements. J. Dairy Sci. 86, 1858-1863.

Kononoff, P. J., Heinrichs, A. J. und Lehmann, H. A. (2003b): The effect of corn silage particle size on eating behavior, chewing activities, and rumen fermentation in lactating dairy cows. J. Dairy Sci. 86, 3343-3353.

Lammers, B. P., Buckmaster, D. R. und Heinrichs, A. J. (1996): A simple method for analysis of particle size of forage and total mixed rations. J. of Dairy Sci. 79, 922-928.

Leurs, K. (2006): Einfluss von Häcksellänge, Aufbereitungsgrad und Sorte auf die Siliereigenschaften von Mais. Dissertation, Rheinische Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn. Forschungsbericht Agrartechnik 438.

Mahlkow, K., Thaysen, J. und Thomsen, J. (2005): Auswirkungen unterschiedlicher Häcksellängen beim Silomais auf die Strukturversorgung der Milchkuh. In: Forum angewandte

Forschung in der Rinder- und Schweinefütterung, Fulda 2005. Herausgeber: Verband der Landwirtschaftskammern, Bonn, 70-74.

Mertens, D. R. (1997): Creating a system for meeting the fiber requirements of dairy cows. *J. Dairy Sci.* 80, 1463-1481.

Mertens, D. R. (2002): Measuring fiber and its effectiveness in ruminant diets. *Proceedings of the Plains Nutrition Council Spring Conf.*, 40-66.

Miller-Cushon, E. K. und T. J. DeVries (2017): Feed sorting in dairy cattle: Causes, consequences, and management. *J. Dairy Sci.* 100, 4172-4183.

Pries, M., Bandilla, S., Van de Sand, H., Menke, A. und Staufenbiel, R. (2006): Einfluss der Häcksellänge auf Leistung und Acidoseparameter bei Milchkühen, 118. VDLUFA-Kongress, Freiburg, Kurzfassungen der Referate, 99.

Pries, M., A. Menke, L. Steevens und Van de Sand, H. (2007): Verdaulichkeitsbestimmung von TMR bei variierendem Ernährungsniveau. In: *Forum angewandte Forschung in der Rinder- und Schweinefütterung*, Fulda 2007. Herausgeber: Verband der Landwirtschaftskammern, Bonn, 101-104.

Pries, M., Bothe, B., Beintmann, S., Denißen, J., Hoffmanns, C., Hoppe, S., Hünting, K., Speit, J.-H., Steevens, L., Wolzenburg, C., Gerlach, K. und Maack, C. (2016): Silier- und Fütterungsversuch mit Shredlage-Silage im Vergleich zur Maissilage mit herkömmlicher Häcksellänge. *Riswicker Ergebnisse* 2/2016.

Speit, J.-H., Hoppe, S., Hünting, K., Denißen, J., Beintmann, S. und Pries, M. (2017): Persönliche Mitteilung: Fütterung von Shredlage an Trockensteher und frischlaktierende Kühe. *Versuchsbericht*.

Spiekers, H., Ettle, T., Preissinger, W. und Pries, M. (2009): Häcksellänge und Strukturwert von Maissilage. *Übers. Tierernährg.* 37, 91-102.

Steingass, H. und Q. Zebeli (2008): Strukturbewertung von Rationen für die Milchkuh. 35. *Viehwirtschaftliche Fachtagung*, Raumberg-Gumpenstein 2008, 19-25.

Steingass, H. und Q. Zebeli (2014): Bewertung der Strukturwirkung von Rationen für Milchkühe mit Hilfe der physikalisch effektiven Neutral-Detergenzfaser – Stand und

Perspektiven. In: Forum angewandte Forschung in der Rinder- und Schweinefütterung, Fulda 2014. Herausgeber: Verband der Landwirtschaftskammern, Bonn, 9-12.

Südekum, K.-H. (2009): Mais und Maisnebenprodukte und ihre Bedeutung für die Protein- und Aminosäuren-versorgung von Wiederkäuern und Nicht-Wiederkäuern. In: Schwarz, F. J., Meyer, U. (Hrsg.): „Optimierung des Futterwertes von Mais und Maisnebenprodukten“, Landbauforschung Sonderheft 331, Braunschweig, 19-27.

Thaysen, J. und H. Jänicke (2006): Maissilierung. In: Praxishandbuch Futterkonservierung – Silagebereitung – Siliermittel – Dosiergeräte – Silofolien. 7. Aufl., DLG-Verlag, Frankfurt a. Main, 101-108.

Thaysen, J., Geringhausen, H.-G., Maack, C. und Richardt, W. (2017): Häcksellänge Silomais: Heute kurz – morgen lang. Mais 3/2017, 108-112.

Universität Hohenheim – Dokumentationsstelle (Hrsg.) (1997): DLG-Futterwerttabellen Wiederkäuer. 7. Auflage, DLG-Verlag, Frankfurt a. M.

Vanderwerff, L. M., Ferraretto, L. F. und Shaver, R. D. (2015): Brown midrib corn shreddlage in diets for high-producing dairy cows. J Dairy Sci. 98, 5642-5652.

Weiss, K., Kalzendorf, C. und Bommelmann, K. (2017): Gärqualität und Hefebesatz in konventionell und mittels Langschnitt-Verfahren erzeugten Maissilagen – Ergebnisse einer Erhebung in Niedersachsen, 129. VDLUFA-Kongress 2017, Freising, Kurzfassung, 109.

Zebeli, Q., J. Dijkstra, M. Tafaj, H. Steingass, B.N. Ametaj und W. Drochner (2008a): Modeling the adequacy of dietary fiber in dairy cows based on the responses of ruminal pH and milk fat production to composition of the diet. J. Dairy Sci. 91, 2046-2066.

Zebeli, Q., M. Tafaj, B. Junck, V. Ölschläger, B.N. Ametaj und W. Drochner (2008b): Evaluation of the response of ruminal fermentation and activities of nonstarch polysaccharide-degrading enzymes to particle length of corn silage in dairy cows. J. Dairy Sci. 91, 2388-2398.

Zebeli, Q. und E. Humer (2016): Ausreichend Struktur in der Milchviehration? Von der Bewertung zur adäquaten Versorgung, 43. Viehwirtschaftliche Fachtagung, Raumberg-Gumpenstein 2016, 21-27.

KAPITEL 5

Influence of the addition of water to total mixed rations on the feeding behaviour, feed intake and milk performance of high-yielding dairy cows

**Jana Denißen^{1,2*}, Silke Beintmann¹, Sebastian Hoppe¹, Martin Pries³, Jürgen Hummel⁴
and Karl-Heinz Südekum²**

¹Chamber of Agriculture of North Rhine-Westphalia, Elsenpaß 5, 47533 Kleve, Germany

²Institute of Animal Science, University of Bonn, Endenicher Allee 15, 53115 Bonn,
Germany

³Chamber of Agriculture of North Rhine-Westphalia, Ostinghausen, 59505 Bad Sassendorf,
Germany

⁴Department of Animal Sciences, University of Goettingen, Kellnerweg 6, 37077 Goettingen,
Germany

*e-mail: jana.denissen@lwk.nrw.de

Submitted for Publication

ABSTRACT

The goal of this study was to investigate the influence of the addition of water to total mixed rations (TMR) with a dry matter (DM) content of 42 - 47% and high proportions of ensiled forage on feeding behaviour, DM intake (DMI) and milk performance, as well as changes in TMR temperature. The underlying hypothesis was a reduction in the selective feeding behaviour and a resulting increase in DMI of the cows, which were provided with a moister TMR. During two feeding trials (summer and winter), 48 German Holstein cows per trial were split into 2 groups (Trial I: 85 ± 28 days in milk (DIM); Trial II: 67 ± 34 DIM). Both trials were set up as a Crossover design with period lengths of 42 days. The rations were each made of the same components, had the same energy and nutrient concentrations and had slightly different DM contents. In Trial I, a TMR with 46.4% DM (dry TMR) was mixed with 12.5 kg water per cow per day, to reduce the DM content of the TMR to 37.3% DM (wet TMR). In Trial II, the DM content of 41.8% (dry TMR) was reduced to 33.9% (Wet TMR) after 14 kg of water per cow per day were added. The DMI of the individual animals and their milk yield were measured daily, and the milk composition was determined weekly. To judge the feeding behaviour, samples were taken from each feeding group at five points throughout the day during Trial I, and three during Trial II. The samples were tested for particle size distribution using a Penn State Particle Separator (PSPS). In both trials, the selective feeding behaviour was restricted as a consequence of the addition of water to TMR. In the case of the dry TMR, a change in particle size distribution in the troughs was already discernible 10 h after the feed was provided. In both trials, the addition of water had a positive influence on the DMI. In Trial I, the cows consumed 1.3 kg DM/day more as a consequence of the addition of water, and in Trial II the difference equated to 0.6 kg DM/day after the addition of water. The increased energy and nutrient intake of the cows that had been fed with the moistened TMR led to higher daily milk yield (Trial I: +0.6 kg/day; Trial II: +0.5 kg/day). Furthermore, in Trial II, the increased energy and nutrient intake was reflected in a higher fat and protein content and in an increased energy-corrected milk yield by 0.8 kg/day. These results confirm that by adding water to TMR, selective feeding behaviour can be reduced and DMI increased, regardless of the outside temperature. The importance of a regular, non-selective feed intake in high-performing dairy cows is also evident from the results.

Keywords: Dairy cow, Dry matter content, Feed intake, Sorting behaviour, Water

INTRODUCTION

Formulating an adequate ruminant ration to maintain the health of dairy cows is the main prerequisite for successful milk production with a high lifetime production per cow. High-performing dairy cows in commercial farms are largely fed with total mixed rations (TMR). These should be formulated so that the cows are constantly provided with regular portions of energy-rich, structurally-effective ration components. Cows, however, are able to mix up the ration provided using their head and mouth movements and to selectively eat more of the finer feed particles. This can result in a forced intake of rapidly degradable carbohydrates and a reduced intake of fibre components, which differs from the ration calculation. As a consequence, this can lead to a reduction in the pH in the rumen and an increased risk of subacute ruminal acidosis developing (DeVries et al., 2008). The addition of water to dry TMR was described by Shaver (2002) as a way to reducing the sorting behaviour of cows during feeding. Leonardi et al. (2005) came to the conclusion that reducing dry matter (DM) content from 81% to 64% by adding water led to a reduction in sorting behaviour. On the other hand, other studies have shown an increase in selective feed intake after the addition of water (Miller-Cushon and DeVries, 2009; Felton and DeVries, 2010). The authors of these studies compared rations with a DM content of 44 - 58%, thus covering the customary DM contents for North American rations. With the addition of water, the DM intake (DMI) in these studies was reduced, however, there was no discernible influence on milk performance. As a reasoning for the reduced DMI, the authors stated the diminished sensory properties of the moister ration due to faster deterioration of the feed and a more acute filling effect in the rumen. The rations in the cited studies are not – or are only conditionally – comparable with ration compositions and DM contents in central Europe. In Europe, the proportion of grass silage in ration is higher and the DM contents are lower. The goal of this study was therefore to investigate the influence of the addition of water to a TMR with DM contents of 42 - 47% and a high proportion of ensiled forage on feeding behaviour, DMI and milk performance, as well as changes in TMR temperature. The underlying hypothesis was a reduction in the selective feed intake and a resulting increase in DMI of the cows, which were provided with a moister TMR with DM contents of 34 - 37%.

MATERIALS AND METHODS

During the winter months of 2017-2018 (Trial I) and summer of 2018 (Trial II) feeding trials were carried out on 48 dairy cows in the naturally ventilated dairy barn of the Experimental and Educational Centre for Agriculture 'Haus Riswick', Chamber of Agriculture of North Rhine-Westphalia, Kleve, Germany. The trials were to investigate the influence of the addition of water to TMR on feed intake, feeding behaviour, rumination duration and milk performance indicators of high-performing milk cows, as well as the feed temperature development in the ration used at different external temperatures.

Animals and structure of the trials

At the beginning of the trials, 48 lactating German Holstein cows were divided evenly into two trial groups of 24 cows each according to their lactation number, days in milk (DIM), milk performance and body weight. The proportion of cows on their first lactation in each group was 30%.

Both trials were set up as a crossover design and, in each trial, one set of 24 cows was fed with a control ration (dry TMR) and the other 24 cows with a ration with added water (wet TMR). The TMR was mixed once a day by a self-driving fodder mixing wagon (Verti-Mix 1301 SF, Strautmann, Bad Laer, Germany) and laid out for the cows at 0600 h. Dry TMR was mixed up for 48 cows out of maize silage, grass silage, lucerne hay, solvent-extracted rape seed meal, dairy compound feed, mineral feed, lime and common salt. The 24 cows in the dry TMR group were then fed their allocated portion. Before feeding to the trial group (wet TMR), 12.5 l (Trial I) or 14 l (Trial II) of water per cow per day was added to the mixture. The water was added via two hoses at two different points on the fodder mixing wagon and lasted around six minutes. While the water was being added, the two vertical augers of the feed mixer wagon mixed the feed. Immediately after the water had been added, the feed was laid out for the cows in the wet TMR group for ad libitum consumption. The cows in both groups were fed with 110% of the amount they had consumed the previous day, so that after 24 h an average of 10% was left over. Table 14 provides an overview of the ration composition in both trials.

Tab. 14: Ration composition of the dry and wet total mixed rations (TMR) provided in Trials I and II.

	Trial I		Trial II	
	Dry TMR	Wet TMR	Dry TMR	Wet TMR
	g/kg DM			
Corn silage	308	308	310	310
Grass silage	328	328	319	319
Lucerne hay	38	38	38	38
Ground rape seed extract	131	131	133	133
Milk performance feed	188	188	192	192
Mineral feed	4	4	4	4
Lime	2	2	2	2
Cattle salt	1	1	1	1
Water	0	523	0	597

DM = dry matter; Trial I, dry TMR: 46.4% DM and wet TMR: 37.3% DM; Trial II, dry TMR: 41.8% DM and wet TMR: 33.9% DM.

Table 15 shows the ingredient composition of the dairy compound feed and the chemical composition of ration ingredients.

Tab. 15: Ingredient composition of the dairy compound feed (DCF) and chemical composition of ration ingredients.

	Unit	Concentrate			Forage		LH ^a
		DCF ^a	RSM ^a	MS ^a	GS I ^b	GS II ^b	
Ingredients (% as fed)							
rapeseed meal, solvent-extracted		34					
Maize		20					
Wheat glutenfeed		17					
Wheat		16					
Beet pulp		11					
Beet vinasse		1					
Fatty acids from vegetable oils		0.5					
Content per kg DM							
Dry matter	g/kg	899	890	356	425	346	899
Net energy for lactation	MJ	8.3	7.4	6.8	6.7	7.0	5.0
Metabolizable energy	MJ	13.2	12.1	11.2	11.1	11.4	8.5
Crude protein	g	225	381	61	156	158	160
uCP	g	201	253	130	145	149	123
RNB	g	3.7	20.4	-11	2	2	6
Crude fat	g	42	50	31	37	39	19
Ash	g	52	78	36	96	87	115
Starch	g	336	12	321	n.a.	n.a.	n.a.
Ruminally undegraded starch	g	82	1	48	n.a.	n.a.	n.a.
Sugar	g	80	86	n.a.	87	66	38
aNDFom	g	245	328	360	363	369	481
ADFom	g	129	225	226	211	216	357
NFC	g	437	163	520	335	346	293

DM: dry matter; DCF: dairy compound feed; RSM: rapeseed meal; MS: Maize silage; GS I: grass silage fed in Trial I; GS II: fed in Trial II; LH: lucerne hay, chopped; n.a.: not analysed; CP: crude protein; uCP: utilisable crude protein at the duodenum; aNDFom: neutral detergent fibre assayed with a heat stable amylase and expressed exclusive of residual ash; ADFom: acid detergent fibre expressed exclusive of residual ash; NFC: non-fibre carbohydrates

^a Average nutrient contents of the feed provided in both trials.

^b Grass for ensilaging was harvested at the day for both trials (first cut 2017), but was from different swards.

Table 16 depicts energy, protein, fibre and non-fibre carbohydrate values of the fed TMR. The target values used for ration planning according to the recommendations of DLG (2001b) for energy and protein supply were met.

Tab. 16: Energy, protein fibre and non-fibre-carbohydrate values of the fed total mixed rations.

	Unit	Trial I	Trial II
Net energy for lactation	MJ/kg DM	7.0	7.1
Crude protein	g/kg DM	167	165
Utilisable crude protein at the duodenum	g/kg DM	163	163
Ruminal nitrogen balance	g/kg DM	0.7	0.4
peNDF*	%	21.9	21.7
aNDFom	g/kg DM	336	342
ADFom	g/kg DM	203	212
NFC	g/kg DM	389	388

ADFom: acid detergent fibre expressed exclusive of residual ash; aNDFom: neutral detergent fibre assayed with a heat stable amylase and expressed exclusive of residual ash; NFC: non-fibre carbohydrates; DM: dry matter; peNDF: physically effective aNDFom.

*peNDF contents of the control rations; peNDFom content of wet TMR in Trial I: 22.7% and in Trial II: 25.5%.

The TMR was provided to the cows for ad libitum consumption and feed intake was measured from feeding troughs equipped with electronic gates for discrete access and data recording for each individual cow (RIC, Waagen Döhrn, Wesel, Germany). The cows had continuous, unlimited access to water and salt licks. The daily water consumption of each cow was also registered at the water troughs using weighing units (Waagen Döhrn).

The cows were milked twice daily at 5:00 AM and 4:30 PM in an outward-facing rotary milking parlour with 32 stations (AutoRotor Performer, GEA Farm Technologies, Bönen, Germany). The milk volume was recorded per animal at each milking time and added to their daily milk production. Milk samples were taken from each cow once a week to determine the milk composition. The aliquot samples taken during evening and morning milking were analysed in the laboratory of the Landeskontrollverband Nordrhein-Westfalen (Krefeld, Germany) for their fat, protein, lactose and urea content as well as the somatic cell count. Fat, protein and urea contents were determined via an infra-red spectroscopy (MilkoScan FT+, Foss Electric, Hillerød, Denmark). The somatic cell count was measured by a fluoro-opto-electronic counting

process (Fossomatic FC, Foss Electric, Hillerød, Denmark). Based on the results of the analysis, the energy-corrected milk (ECM; standardised to 4.0% fat, 3.4% protein and 4.8% lactose) was calculated each week using the following equation (Susenbeth, 2018):

$$\text{ECM (kg/day)} = (\text{milk performance (kg/day)}) \times ((0.385 \times \text{fat (\%)} + 0.242 \times \text{protein (\%)} + 0.165 \times \text{lactose (\%)} + 0.02) / 3.175)$$

The energy content of energy-corrected standard milk therefore equates to 3.175 MJ/kg. On average, 0.02 MJ/kg of milk are applied for the citric acid content.

The cows were weighed twice a day after milking using an electronic weighing platform (Taxatron 5000, GEA Farm Technologies, Bönen, Germany). The weighing platform was situated at the exit of the rotary milking parlour. Evaluation of the body condition score (BCS) took place every two weeks according to the evaluation template by Edmonson et al. (1989). A Heatime HR system (SCR Engineers Ltd, Netanya, Israel) was used to measure the rumination activity. During the first trial, 10 cows per feeding group were fitted with an SCR HR sensor on the upper left side of their neck.

During Trial I, one cow from the wet TMR group had to leave the trial due to metabolic issues. She was replaced by another cow with the same lactation number, comparable lactation status and comparable performance parameters. During Trial II, the animal groups were kept constant over the whole course of the trial.

Particle size distribution

The particle size distribution was evaluated throughout the day using a Penn State particle separator (PSPS) with two sieves with 8 mm and 19 mm hole diameters respectively (Lammers et al., 1996). During the first trial, samples were taken from three feeding troughs per feeding group at 14 scheduled times at 5 points throughout the day (at feeding time, 5 h after feeding, 10 h after feeding, 15 h after feeding and 24 h after feeding (orts)). During Trial II, samples were taken at 9 scheduled times at 3 points (at feeding time, 10 h after feeding and 24 h after feeding (orts)) according to the template described above. The samples were examined for particle size distribution using the PSPS in order to illustrate how the ration fed to the cows had been mixed up throughout the day.

Temperature measurement

To record the temperature changes in the TMR during Trial II, temperature monitors (175-T1 Logger, Testo SE & Co. KGaA, Lenzkirch, Germany) were placed in a feed pile (width x depth x height: 1 m x 2 m x 0.5 m) at two scheduled times over a period of three days. The temperature monitors measured and saved the temperatures in the feed at 15-minute time intervals. The temperature of the feed in the feed troughs was also measured weekly during Trial II at three points throughout the day – at feeding time, 10 h after feeding and 24 h after feeding (orts). A stick thermometer (GTH 1150, GHM GROUP – Greisinger, Regenstauf, Germany) was used for this purpose.

Data recording, chemical analysis and calculations

The DM contents of the rations were determined daily after being cooled in a dry store at 105 °C for 24 h (Federal Plant Variety Office, 2014). The DM was then corrected (DM_{corr}) for the loss of volatiles during drying according to Weissbach and Kuhla (1995) using the following formula:

$$DM_{\text{corr}}(\%) = 2.08 + 0.975 \times DM(\%).$$

The daily DMI was calculated per cow based on the data from the feeding troughs and the DM_{corr} values. Samples were taken weekly from the face of the silage bunker and added to a collective sample, which was stored at -20°C. It was used to create a representative sample for chemical analysis at the end of the trial. A feed sample was taken from each batch of concentrates and frozen at -20 °C. A collective sample was created from samples taken at three deliveries of feed. The chemical analyses were carried out by the Landwirtschaftliche Kommunikations- und Service GmbH (Lichtenwalde, Germany). Each TMR ingredient was analysed individually and the chemical composition of the rations fed to the animals was calculated based on the analyses of the individual feed materials. Proximate analyses were done according to VDLUFA (2012) and method numbers are given below. Ash, ether extract (EE) and CP were analysed using methods 8.1, 5.1 and 4.1.1. The concentration of NDF, which was assayed with a heat-stable amylase (6.5.1) and ADF (6.5.2) were expressed exclusive of residual ash and therefore denoted aNDFom and ADFom, respectively. Starch was determined following method 7.2.1 (VDLUFA, 2012). The determination of enzyme-soluble organic matter (ESOM) was done according to method 6.6.1. The Hohenheim gas test (HGT; method

25.1) was conducted for measuring the 24 h in vitro gas production (GP, ml/200 mg DM). To estimate utilizable CP at the duodenum, which reflects the sum of ruminally synthesized microbial CP and ruminally undegraded feed CP (Lebzien and Voigt, 1999; GfE, 2001) and thus representing a precursor to metabolizable protein for ruminants, a modified HGT was carried out as described by Steingäß et al. (2001) and outlined by Steingäß and Südekum (2013). The concentration of metabolizable energy (ME) of TMR components was calculated according to following equations:

For grass silages (GfE, 2008): $ME \text{ (MJ/kg DM)} = 5.51 + 0.0828 \times ESOM - 0.00522 \times \text{ash} + 0.02507 \times EE - 0.00392 \times ADFom$; all expressed as g/kg DM; for maize silages (GfE, 2008): $ME = 7.15 + 0.00580 \times ESOM - 0.00283 \times aNDFom + 0.03522 \times EE$; all expressed as g/kg DM; for compound feeds (GfE, 2009): $ME \text{ (MJ/kg DM)} = 7.17 - 0.01171 \times \text{ash} + 0.00712 \times CP + 0.01657 \times EE + 0.00200 \times \text{starch} - 0.00202 \times ADFom + 0.06463 \times GP \text{ (ml/200 mg DM)}$; all expressed as g/kg DM unless stated. The net energy for lactation (NEL) values were estimated from ME according to Weißbach et al. (1996):

$NEL \text{ (MJ/kg DM)} = ME (0.46 + 12:38 ME / (1000 - \text{ash}))$.

Statistical analyses

Both trials were spread over two trial periods in line with the crossover principle. Between the trial periods the cows were swapped to another compartment of the shed. The day before and the day after the compartment swap counted as a wash-out period in both trials. These three days were not taken into account in the statistical evaluation of the trials. The variables DMI, milk volume and body weights were validated automatically. Values which deviated by more than 3 standard deviations from the average value were removed from the data set as an anomaly. The statistical evaluation was carried out using the MIXED procedure of SAS Version 9.4 (Statistical Analysis System, Institute Inc., Cary, NC, USA). Both trials were evaluated using the same linear mixed model for repeated measures data. The following models were chosen for the feed, nutrient and water intake characteristics as well as for the rumination duration, daily milk yield and body weight:

$y = \mu + \text{DAY} + \text{TS} + \text{TRT} + \text{LNU} + f(\text{ld})(\text{LNU}) + \text{cow} + e$,

with y = observation value of each variable, μ = general average, DAY = fixed effect of the observation day, TS = fixed effect of the treatment sequence, (Dry TMR - Wet TMR, Wet TMR - Dry TMR), TRT = fixed effect of the treatment (Dry TMR, Wet TMR), LNU = fixed effect of the lactation number (1, 2, 3, ≥ 4), $f(ld)(LNU)$ = lactation curve within lactation, cow = random effect of the cow and e = random residual error.

The following linear mixed model model for repeated measures was used for the weekly milk yield and composition variables as well as for the BCS:

$$y = \mu + \text{DAY} + \text{TS} + \text{TRT} + \text{LNU} + f(ld) + \text{cow} + e,$$

with y = observation value of each variable, μ = general average, DAY = fixed effect of the observation day, TS = fixed effect of the treatment sequence, (Dry TMR - Wet TMR, Wet TMR - Dry TMR), TRT = fixed effect of the treatment (Dry TMR, Wet TMR), LNU = fixed effect of the lactation number (1, 2, 3, ≥ 4), $f(ld)$ = lactation curve within lactation, cow = random effect of the cow and e = random residual error.

The statistical evaluation of PSPS data was also carried out using SAS software (Statistical Analysis System, Institute Inc., Cary, NC, USA, Version 9.4). The data were evaluated using the following model and the MIXED procedure with an integrated post hoc test (Tukey):

$$y = \mu + \text{TRT} + \text{TI} + (\text{TRT} \times \text{TI}) + \text{FM} + \text{P} + e,$$

with y = observation value of each variable, μ = overall average, TI = fixed effect of time (at feeding, after 5 h, 10 h, 15 h and 23 h), TRT x TI = interaction between the treatment and the time, FM = random effect of the feed mixing (1, 2, ..., 14), P = random effect of the person (1, 2, 3) and e = random residual error.

The statistical evaluation of the TMR temperature was also carried out using SAS Version 9.4. The data were evaluated using the following model and the MIXED procedure with an integrated post hoc test (Tukey):

$$y = \mu + (\text{TRT} \times \text{MI}) + \text{MI} + \text{DAY} + e,$$

with y = observation value of each variable, μ = overall average, TRT = fixed effect of the treatment (Dry TMR, Wet TMR); MI = fixed effect of the measurement interval (0-24 h after feeding, 24-48 h after feeding), DAY = random effect of the observation day, e = random residual error).

RESULTS

At the beginning of the trial, 48 German Holstein cows (Trial I: 85 ± 28 DIM; Trial II: 67 ± 34 DIM) were divided into two trial groups. The average daily milk performance per cow at the beginning of the trial was 35.1 ± 6.3 kg ECM for Trial I and 39.4 ± 5.5 kg ECM for Trial II.

Feed sorting

The particle size distribution of both rations over the course of the day during Trial I is shown in Figs. 7 and 8. The proportion of coarse feed particles (> 19 mm) in the dry TMR increased over the course of the day, and the proportion of fine particles (< 8 mm) decreased. The addition of water to the TMR restricted selective feed intake (feed sorting) considerably. The proportions on the medium sieve (8-19 mm) remained constant throughout the day and the proportions < 8 mm started to reduce during the time period of 15-24 h after feeding.

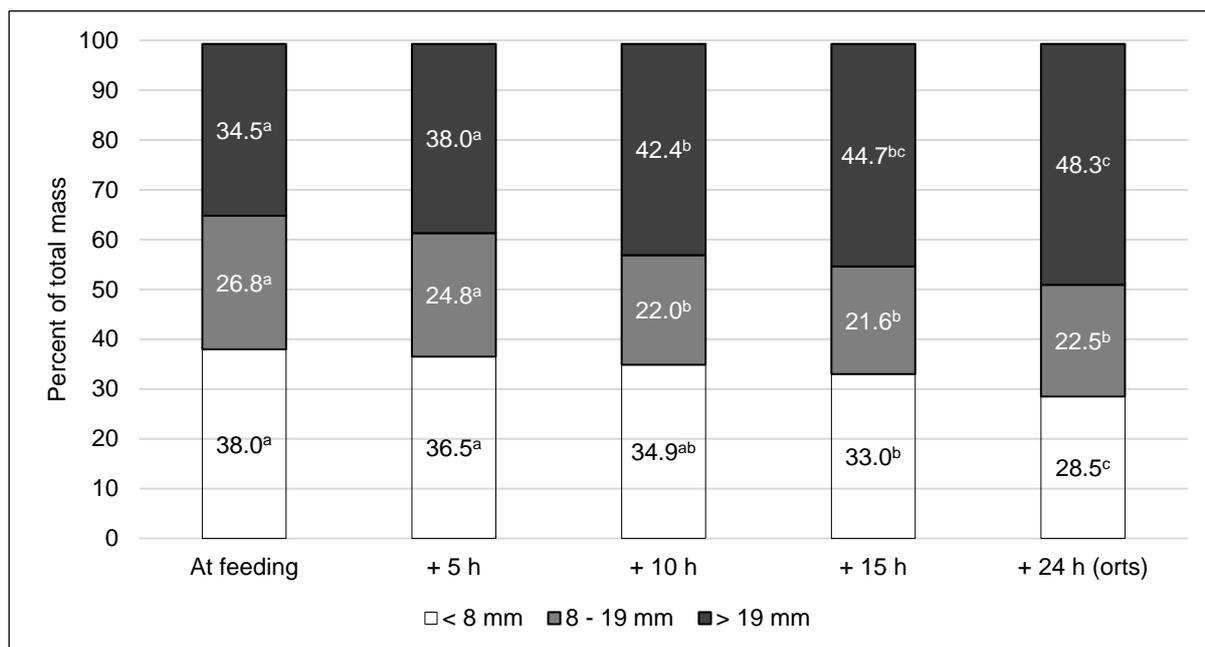


Fig. 7: Particle size distribution of the dry TMR (46.4% dry matter) throughout the day in Trial I. Different letters indicate significant differences within a level of the PSPS, $p \leq 0.05$. At feeding: freshly mixed ration; +5 h: 5 h after feeding; +10 h: 10 h after feeding; +15 h: 15 h after feeding; Orts: leftover feed 24 h after feeding.

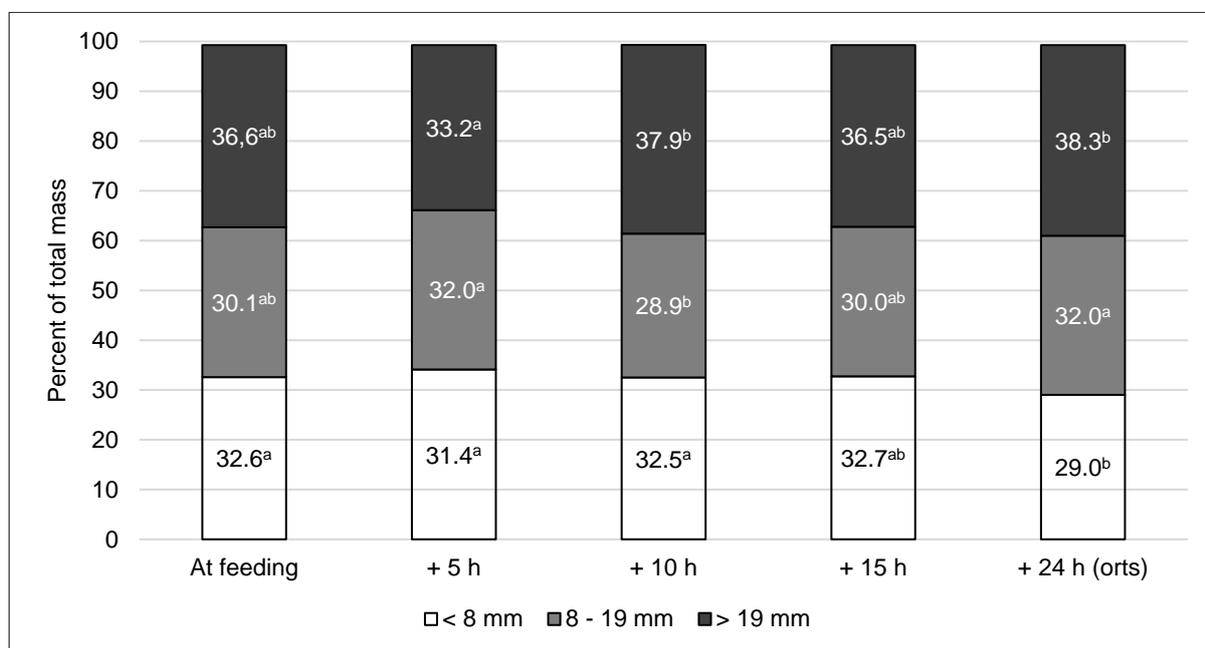


Fig. 8: Particle size distribution of the wet TMR (37.3% dry matter) throughout the day in Trial I. Different letters indicate significant differences within a level of the PSPS, $p \leq 0.05$. At feeding: freshly mixed ration; +5 h: 5 h after feeding; 10 h: 10 h after feeding; 15 h: 15 h after feeding; Orts: leftover feed 24 h after feeding.

The results from the first trial were confirmed by the second trial. In the case of the dry TMR, the proportions on the upper sieve increased by 16 percentage points ($p < 0.0001$) during the course of the day (at feeding up to 24 h after feeding time), whereas the proportions on the medium sieve reduced by 6 percentage points ($p < 0.0001$) and those on the bottom by 10 percentage points ($p < 0.0001$). The addition of water prevented particle proportions from being shifted onto the upper and medium sieves throughout the day. During the time interval from 10 h to 24 h after feeding, the proportion of particles on the bottom were reduced by 3 percentage points ($p = 0.0001$).

Temperature changes in the feed

During the second trial, temperature monitors were placed into the feed to illustrate the reheating behaviour of the rations. During the first 24 h after mixing the rations no temperature differences were observed between the dry and moistened TMR. During the time period of 24-48 h after feeding, the dry TMR had an average temperature of 36.8°C and the wet TMR had a temperature of 40.1°C, which was a significant difference ($p < 0.0001$). The temperature of the moistened TMR rose from 20°C to 45°C between 30-36 h after mixing. In the case of the dry TMR, this only happened between 40-46 h after feeding (Fig. 9). The results from the stick thermometer measurements are similar to the data monitor results, and are therefore not described in further detail.

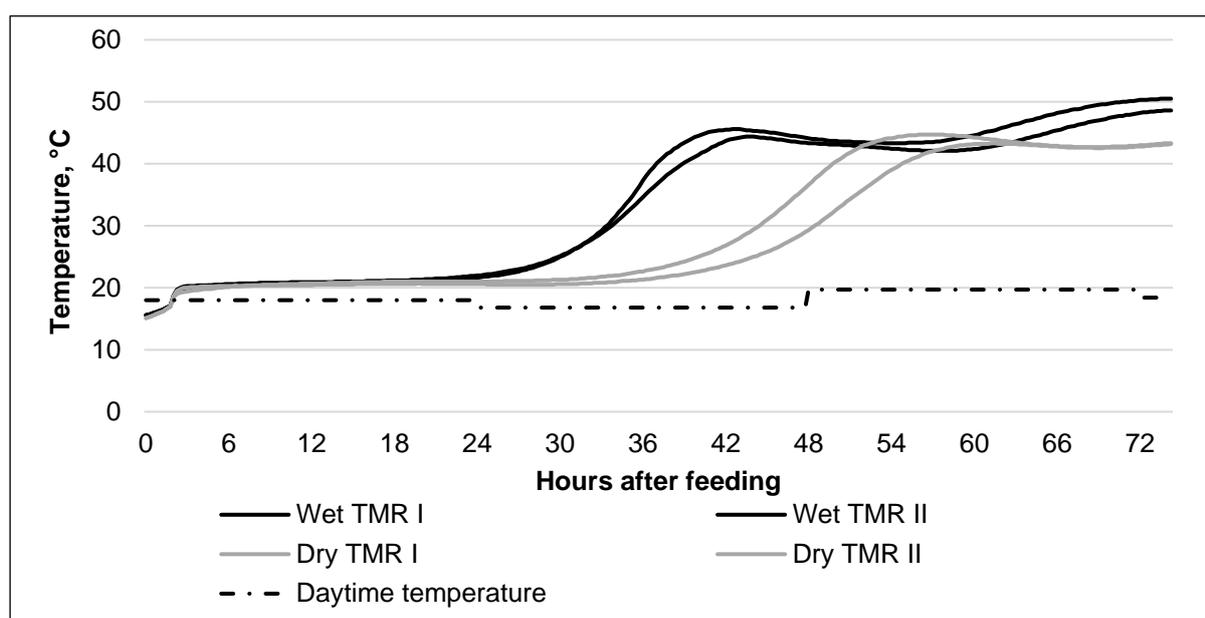


Fig. 9: Temperature changes in the dry TMR and wet TMR after feeding

Feeding trial

In both trials, the addition of water increased the DMI and therefore also the energy and nutrient intakes (Table 17). As a result of the addition of water to the TMR, the drinking water intake (DWI) reduced by more or less the same amount as was used to moisten the feed in the feed mixer wagon.

Tab. 17: Influence of the type of total mixed ration (TMR) on daily intakes, rumination, body weight and body condition score.

	Unit	Trial I				Trial II			
		Dry TMR	Wet TMR	SE	p value	Dry TMR	Wet TMR	SE	p value
DM	kg/day	24.5	25.8	0.11	0.0001	21.6	22.2	0.13	0.0001
NEL	MJ/day	170	180	0.77	0.0001	152	156	0.90	0.0001
CP	g/day	4097	4325	18.5	0.0001	3577	3670	21.1	0.0001
DW intake	kg/day	85.1	72.4	0.52	0.0001	98.8	83.8	0.63	0.0001
Rumination	min/day	607	616	2.21	0.0001	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.
Body weight	kg	674	676	0.46	0.0001	683	683	0.36	0.1599
BCS		3.08	3.06	0.02	0.3626	2.88	2.91	0.02	0.2373

TMR: Total mixed ration; DM: dry matter; NEL: net energy lactation; CP: crude protein; DW: drinking water BCS: Body Condition Score; SE: standard error; n.r.: not recorded

Trial I: dry TMR: 46.4% DM and wet TMR: 37.3% DM; Trial II: dry TMR: 41.8% DM and wet TMR: 33.9% DM.

The addition of water to the TMR increased the daily milk production by 0.6 kg/cow during the first trial and 0.5 kg/cow during the second trial (Table 18). The daily ECM yield was also increased by 0.8 kg/cow during the second trial as a result of the addition of water. A positive influence on the milk fat and milk protein yields was also established during this trial as a result of the addition of water.

Tab. 18: Influence of the type of total mixed ration (TMR) on milk yield and composition.

	Unit	Trial I				Trial II			
		Dry TMR	Wet TMR	SE	p value	Dry TMR	Wet TMR	SE	p value
Milk yield	kg/day	35.8	36.4	0.102	0.0001	38.3	38.8	0.125	0.0001
Fat	%	3.89	3.88	0.026	0.6999	3.63	3.67	0.026	0.0803
Fat	kg/day	1.38	1.39	0.013	0.4568	1.44	1.48	0.016	0.0114
Protein	%	3.49	3.50	0.013	0.7340	3.14	3.15	0.008	0.0730
Protein	kg/day	1.24	1.26	0.011	0.1376	1.25	1.27	0.011	0.0458
ECM yield	kg/day	35.3	35.7	0.282	0.1533	37.1	37.9	0.327	0.0150
Lactose	%	4.79	4.81	0.009	0.0444	4.74	4.76	0.007	0.0285
Urea	mg/kg	211	213	2.280	0.3695	218	221	2.340	0.1823
Somatic cell count	log ₁₀ /ml	2.26	2.13	0.108	0.2282	2.17	2.29	0.069	0.0961

ECM = energy-corrected milk; SE = standard error; DM = dry matter; Trial I, dry TMR: 46.4% DM and wet TMR: 37.3% DM; Trial II, dry TMR: 41.8% DM and wet TMR: 33.9% DM

DISCUSSION

The rations used for the dry and wet TMR during Trial I each had the same composition and the same energy and nutrient contents. The DM contents differed slightly as a result of the addition of water to the TMR. The same was true for the rations used in Trial II. The addition of water to the TMR led to the rations having different particle size distributions. There was a larger proportion of coarse feed particles in the moist ration compared to the dry ration, and the proportion of fine particles was correspondingly less. This resulted from an increase in fine particles clinging to the coarse particles after the addition of water (Leonardi et al., 2005; Miller-Cushon and DeVries, 2009; Felton and DeVries, 2010).

It is known that feed selection favouring a higher intake of fine, starchy particles rather than long, structurally-effective feed particles can increase the risk of subacute rumen acidosis (DeVries et al., 2008). For this reason, the effect of the addition of water on the feed intake

behaviour of cows should be investigated. In our trials, the cows were more likely to select fine particles when there was a higher DM content. Ten hours after feeding, a change in the particle size distribution in the troughs was already established. In the case of the dry ration, the proportion of coarse particles (> 19 mm) increased by around 14 percentage points and the proportion of fine particles (< 8 mm) reduced by around 10 percentage points throughout the day, which meant that the nutritive value of the ration changed significantly over the course of the day. The consequences of feed selection have already been described by DeVries et al. (2005). A shift in the particle size distribution was only noticeable in the leftovers in the case of the moistened ration, which meant that there was no significant shift in the proportions throughout the day up to 15 h after feeding. During the final hours of the day, the cows selected in favour of fine particles (< 8 mm) rather than coarse particles (>19 mm). The proportion of medium-sized particles (8-19 mm) remained constant. The cows therefore had a stable composition of ration available to them for the most part of the day. These outcomes confirm the results from Leonardi et al. (2005), according to which the selective feeding behaviour of cows could be restricted with the addition of water to TMR. In the study by Leonardi et al. (2005), rations comprised of 60% concentrate and 30% dry forage (hay) were compared against one another. The DM content for the dry ration was 80.8% and 64.4% for the moistened ration. Therefore neither the ration composition nor the DM contents are comparable with the circumstances in hand. Fish and DeVries (2012) also established a partially less marked selection behaviour in cows with limited DM contents. The DM contents in this case were 61.7% (dry) and 51.9% (wet).

On the other hand, some studies have also shown that the selection behaviour in cows increased as a result of the addition of water (Miller-Cushon and DeVries, 2009; Felton and DeVries, 2010). The authors of these studies compared rations with a DM content of 44-58%, thus covering the typical DM contents for North American rations. The varying DM contents were also achieved through the addition of water, as in the current study. Miller-Cushon and DeVries (2009) came to the conclusion that the increased selection of fine particles in the moistened treatment resulted from the ration composition. Therefore, in contrast to the study by Leonardi et al. (2005), haylage and maize silage were used as forage rather than hay in this study. The authors assume that the damp haylage was not palatable to the cows and it was therefore sorted out due to its coarse structure. In the studies by Felton and DeVries (2010) and Miller-Cushon and DeVries (2009), only silage was used. Feed selection occurred in both the dry and

moistened treatments, which meant that the cows consumed more fine than coarse particles. However, selective feeding behaviour was more pronounced in the moistened ration, as was the case for Felton and DeVries (2010). As such, the current study, in which the DM contents were between 33.9% and 46.6%, produced new findings. Despite a high proportion of silage and significantly reduced DM contents compared to the studies by Felton and DeVries (2010) and Miller-Cushon and DeVries (2009), both trials in this study resulted in selective feeding behaviour being restricted as a result of the addition of water to the TMR.

In contrast to the studies described above, the addition of water had a positive influence on the DMI in both trials. In Trial I, the cows consumed 1.3 kg DM per day more as a consequence of the addition of water, and in Trial II the difference equated to 0.6 kg DM per day after the addition of water. In both trials, the significantly differentiated DMI in the group of cows that were fed with moistened ration led to higher energy and nutrient intakes. The differences in feed intake levels between the two trials can be explained by (a) using different cows from the same herd, (b) differences in lactation status and (c) above all, the average daily temperatures. During the summer months, there was a prolonged heat wave with average daily temperatures of up to 27°C.

The effect of the DMI being higher in the case of the moistened ration compared to the dry ration has not yet been illustrated in dairy cows. In the studies by Fish and DeVries (2012) and Leonardi et al. (2005), the addition of water had no effect on the DMI. Lahr et al. (1983), Miller-Cushon and DeVries (2009), and Felton and DeVries (2010) all established a drop in DMI when the DM content was reduced by the addition of water. Miller-Cushon and DeVries (2009) stated that the cause of the reduced DMI with moist feed was down to the early filling effect in the rumen created by the moistened ration. The cows that were fed with moist ration consumed somewhat more fresh matter but could not balance out the reduced DM content in order to achieve the same DMI. This effect cannot be confirmed by the current study. The lower feed intake level of the cows in the current trial in comparison to the study described above could potentially be the cause of this. The authors put the decreased DMI down to the decrease in palatability of the moistened silage. Felton and DeVries (2010) determined higher temperatures in the moist feed in the troughs and concluded that the feed was deteriorating at a faster rate, which influenced the DMI as a result. Despite higher proportions of silage components and higher outside temperatures, this was not observed in the current study. During the first 24 h after feeding no temperature differences were determined between the two rations. The

consistently moist ration that was available to the cows throughout almost the entire day led to a higher DMI compared to the dry ration. Greter and DeVries (2011) established that a reduced feed intake is associated with feed selection favouring fine feed particles rather than coarse particles. The increased feed selection in the case of the dry ration may, therefore, have led to a reduction in the DMI.

The rumination duration only showed a slight difference between the two trial groups, but was still significant. The cows that were given the moist TMR ruminated for 9 min/day more. In the context of the overall duration, the difference was small, and should not be over-valued. It does, however, reflect the higher feed intake. DeVries et al. (2009) reported rumination durations of 555 min/day in cows that were in mid-lactation. In a study by Soriani et al. (2012), newly calved cows ruminated for 562 min/day. Denißen et al. (2018) determined rumination durations of 678 min/day in a study on the effects of different cutting lengths in maize silage. The rumination durations achieved in this study are therefore at a high but more or less standard level. They indicate that both trial groups were fed an adequate ruminant ration.

The most important influencing factors on water intake are outside temperatures, milk performance, DMI and the DM content of the ration (NRC, 2001). The daily DWI in the current study was between 72-85 kg/cow (Trial I) and 84-100 kg/cow (Trial II). The differences between the two trials resulted from the different outside temperatures during the trials. Nevertheless, all of the values were at a standard level for Holstein cows (Meyer et al., 2004). In the current study, there was a significant difference in both trials between the dry and wet TMR groups regarding the DWI ($p \leq 0.0001$). In both trials, the difference in the DWI almost exactly reflects the water amounts that were added to the mixer wagon for the wet ration, which the cows therefore consumed in addition via the feed (Trial I: 12.7 kg/(cow · day); Trial II: 15 kg/(cow · day)). This meant that the total water intake (TWI) was almost identical in both trial groups irrespective of the DM content of the ration. Murphy (1992), on the other hand, established that the increase in the DM content of the ration led to an increased DWI, which did not balance out the reduced water intake from the feed, thus resulting in a reduced TWI. Holter and Urban (1992) observed a similar trend after reducing the DM content of the ration as a result of introducing another coarse feed. They could not, however report a clear correlation between the DM content of the ration and the TWI. In the current study, the addition of water immediately before feeding using unchanged ration components led to a comparable TWI.

No previous studies until now have established an effect on milk performance due to the addition of water to TMR (Lahr et al., 1983, Leonardi et al., 2005, Miller-Cushon and DeVries, 2009, Felton and DeVries, 2010, Fish and DeVries, 2012). In the current study, the daily milk performance of the cows that had been fed with a moister TMR increased for each cow. In Trial I, the difference was 0.6 kg/day ($p \leq 0.0001$) and in Trial II, it was 0.5 kg/day ($p \leq 0.0001$). This was a result of the higher energy and nutrient intake of the cows that were fed with the moist ration. No influence on the fat and protein contents were observed in either of the trials, although, in the case of the dry ration, a higher degree of feed selection occurred among the cows, which led to a differentiated intake of nutrients and structurally effective fibre between the two trial groups. As well as establishing that sorting behaviour among cows was reduced with the addition of water, Leonardi et al. (2005) determined a higher milk fat content among the cows that had been fed with more moist TMR. In the second trial, the increased energy and nutrient intake was reflected in higher fat and protein contents and in an increased ECM yield by 0.8 kg/day ($p = 0.0150$).

CONCLUSION

The results of this study present new findings about the effects of the addition of water to TMR with DM contents of 42-46% containing high proportions of coarse silage, in particular, grass silage. A reduction in the DM content to under 42% by the addition of water led to a reduction in feed selection disfavouring coarse particles, an increase in DMI, an increase in daily milk performance and a partial increase in ECM performance. The favourable effect of a regular, non-selective feed intake in high-performing dairy cows is therefore evident from the results.

DECLARATION OF COMPETING INTEREST

All authors declare no conflict of interest.

ACKNOWLEDGEMENTS

We thank Theresa Hagemann and Katrin John for support in conducting the experiments.

REFERENCES

- Denißen, J., Speit, J.-H., Pries, M. (2018): Einfluss der Partikelgrößenverteilung bei der Maisernte auf die Silagequalität sowie die Futteraufnahme und Leistung von Milchkühen. Übers. Tierernährg. 43, 53-77.
- DeVries, T. J., Dohme, F., Beauchemin, K.A. (2008): Repeated ruminal acidosis challenges in lactating dairy cows at high and low risk for developing acidosis: Feed sorting. J. Dairy Sci. 91, 3958-3967.
- DeVries, T. J., von Keyserlingk, M.A.G., Beauchemin, K.A. (2005): Frequency of feed delivery affects the behavior of lactating dairy cows. J. Dairy Sci. 88, 3553-3562.
- DeVries, T.J., Beauchemin, K.A., Dohme, F., Schwartzkopf-Genswein, K.S. (2009): Repeated ruminal acidosis challenges in lactating dairy cows at high and low risk for developing acidosis: Feeding, ruminating, and lying behavior. J. Dairy Sci. 92, 5067-5078.
- DLG (2001a): Struktur- und Kohlenhydratversorgung der Milchkuh, DLG-Information 2/2001 des DLG-Arbeitskreis Futter und Fütterung, DLG-Verlag, Frankfurt a.M., Germany.
- DLG (2001b): Empfehlungen zum Einsatz von Mischrationen bei Milchkühen, DLG-Information 1/2001 des DLG-Arbeitskreis Futter und Fütterung, DLG-Verlag, Frankfurt a.M., Germany.
- Edmonson, A.J., Lean, I.J., Weaver, L.D., Farver, T., Webster, G. (1989): A body condition scoring chart for Holstein dairy cows. J. Dairy Sci. 72, 68-78.
- Federal Plant Variety Office (2014): Richtlinien für die Durchführung von landwirtschaftlichen Wertprüfungen und Sortenversuchen. Neufassung des Kapitels 2.8 Ernte und Bestimmungen am Erntegut. Landbuch Verlag, Hannover, Germany, pp. 2.8.3-2.8.8.
- Felton, C. A., DeVries, T.J. (2010): Effect of water addition to a total mixed ration on feedtemperature, feed intake, sorting behavior, and milk production of dairy cows. J. Dairy Sci. 93, 2651-2660.
- Fish, J. A., DeVries, T.J. (2012): Short communication: Varying dietary dry matter concentration through water addition: Effect on nutrient and sorting of dairy cows in late lactation. J. Dairy Sci. 95, 850-855.

GfE (Gesellschaft für Ernährungsphysiologie) (2001): Empfehlungen zur Energie und Nährstoffversorgung der Milchkühe und Aufzuchttrinder. DLG-Verlags-GmbH, Frankfurt a.M., Germany.

GfE (Gesellschaft für Ernährungsphysiologie) (2008): New equations for predicting metabolisable energy of grass and maize products for ruminants. Proc. Soc. Nutr. Physiol. 17, 191-197.

GfE (Gesellschaft für Ernährungsphysiologie) (2009): New equations for predicting metabolisable energy of compound feeds for cattle. Proc. Nutr. Physiol. 18, 143-146.

Greter, A. M., DeVries, T.J. (2011): Effect of feeding amount on the feeding and sorting behaviour of lactating dairy cattle. Can. J. Anim. Sci. 91, 47-54.

Holter, J. B., Urban, W.E. Jr. (1992): Water partitioning and intake prediction of dry and lactating Holstein cows. J. Dairy Sci. 75, 1472-1479.

Lahr, D. A., Otterby, D.E., Johnson, D.E., Linn, J.G., Lundquist, R.G. (1983): Effects of moisture content of complete diets on feed intake and milk production by cows. J. Dairy Sci. 66, 1891-1900.

Lammers, B.P., Buckmaster, D.R., Heinrichs, A.J. (1996): A simple method for the analysis of particle sizes of forage and total mixed rations. J. Dairy Sci. 79, 922-928.

Lebzien, P., Voigt, J. (1999): Calculation of utilisable crude protein at the duodenum of cattle by two different approaches. Arch. Anim. Nutr. 52, 363-369.

Leonardi, C., Giannico, F., Armentano, L.E. (2005): Effect of water on selective consumption (sorting) of dry diets by dairy cattle. J. Dairy Sci. 88, 1043-1049.

Meyer, U., Everinghoff, M., Gädeken, D., Flachowsky, G. (2004): Investigation on the water intake of lactating dairy cows. Livest. Prod. Sci. 90, 117-121.

Miller-Cushon, E. K., DeVries, T.J. (2009): Effect of dietary dry matter concentration on the sorting behavior of lactating dairy cows fed a total mixed ration. J. Dairy Sci. 92, 3292-3298.

Murphy, M. R. (1992): Water metabolism of dairy cattle. J. Dairy Sci. 75, 326-333.

NRC (National Research Council) (2001): Nutrient Requirements of Dairy Cattle, 7th. rev. ed. Natl. Acad. Sci, Washington, D.C., USA.

- Shaver, R. D. (2002): Rumen acidosis in dairy cattle: Bunk management considerations. *Adv. Dairy Technol.* 14, 241-249.
- Soriani, N., Trevisi, E., Calamari, L. (2012): Relationships between rumination time, metabolic conditions, and health status in dairy cows during the transition period. *J. Anim. Sci.* 90, 4544-4554.
- Steingäß, H., Südekum, K.-H. (2013): Proteinbewertung beim Wiederkäuer – Grundlagen, analytische Entwicklungen und Perspektiven. *Übers. Tierernährg.* 41, 51-73.
- Steingäß, H., Nibbe, D., Südekum, K.-H., Lebzien, P., Spiekers, H. (2001): Schätzung des nXP-Gehaltes mit Hilfe des modifizierten Hohenheimer Futterwerttests und dessen Anwendung zur Bewertung von Raps- und Sojaextraktionsschroten. 113. VDLUFA-Kongress, Berlin, p. 114 (Abstr.).
- Susenbeth, A. (2018): Der Energiebedarf von Milchkühen heutiger Rassen, in: Spiekers, H., Hertel-Böhnke, P., Meyer, U. (Eds.), Tagungsband „Abschlussveranstaltung Verbundprojekt optiKuh“, 30/31.01.2018, Braunschweig, Germany., *LfL-Schriftenr.* 2/2018, 40-43.
- Universität Hohenheim – Dokumentationsstelle (1997): *DLG-Futterwerttabellen Wiederkäuer*, seventh ed. DLG-Verlag, Frankfurt a.M., Germany.
- VDLUFA (2012): *VDLUFA-Methodenbuch, Bd. III. Die Chemische Untersuchung von Futtermitteln.* VDLUFA-Verlag, Darmstadt, Germany.
- Weißbach, F., Schmidt, L., Kuhla, S. (1996): Vereinfachtes Verfahren zur Berechnung der NEL aus der umsetzbaren Energie. *Proc. Soc. Nutr. Physiol.* 5, 117.
- Weissbach, F., Kuhla, S. (1995): Stoffverluste bei der Bestimmung des Trockenmassegehaltes von Silagen und Grünfütter. Entstehende Fehler und Möglichkeiten der Korrektur. *Übers. Tierernährg.* 23, 189-214.

KAPITEL 6

Gesamtdiskussion

Das Hauptaugenmerk dieser Arbeit lag auf der Ausarbeitung des Effektes unterschiedlicher Fütterungsstrategien auf die Energie- und Nährstoffnutzung von Milchkühen. Eine effiziente Nutzung von Energie und Nährstoffen spielt nicht nur vor dem Hintergrund einer bedarfsdeckenden Versorgung der Kühe, sondern auch im Hinblick auf die Umweltwirkung und die Wirtschaftlichkeit der Milchkuhhaltung eine entscheidende Rolle. Neben der Sicherstellung der physiologischen Bedingungen im Pansen sollte die gewählte Fütterungsstrategie den Nährstoffbedarf des Einzeltieres möglichst präzise abdecken, um Nährstoffverluste zu vermeiden. Dazu wurden unterschiedliche Fütterungsstrategien dargestellt und verglichen, so dass das komplexe Thema der Energie- und Nährstoffversorgung im Gesamtbild aus unterschiedlichen Blickwinkeln betrachtet werden konnte. Die Erarbeitung konkreter Empfehlungen für die landwirtschaftliche Praxis stand dabei stets im Vordergrund.

In der Langzeitstudie über 1,5 Jahre sollte der langfristige Einfluss unterschiedlicher Energiedichten im Grobfutter sowie unterschiedlicher Kraftfuttermengen auf die Futteraufnahme und die Milchleistungsmerkmale ermittelt werden. Die Kühe wurden mit einer PMR mit unterschiedlichen Energiedichten und nach zwei unterschiedlichen Kraftfutterkurven gefüttert. Mit vier Fütterungsintensitäten wurde die Spannweite praxisüblicher Rationszusammensetzungen abgedeckt. Der Versuch war Teil des Verbundprojektes „optiKuh“, sodass vergleichbare Ergebnisse aus insgesamt sechs Versuchseinrichtungen vorliegen. Die Gesamtbetrachtung der vorliegenden Ergebnisse sowie der Ergebnisse der Projektpartner ließ darauf schließen, dass unter Einhaltung der guten fachlichen Praxis alle Fütterungsintensitäten in der Praxis eingesetzt werden können (Gerster et al., 2018; Hertel-Böhnke et al., 2018; Kraus et al., 2018; Rischewski et al., 2018; Schmitz et al., 2018). Damit kann die zugrundeliegende Hypothese bezüglich der Anpassungsfähigkeit von genetisch hochveranlagten Kühen an das gegebene Fütterungsregime bestätigt werden. Die Versorgung der Kühe mit unterschiedlichen Fütterungsintensitäten unter Beachtung von Tiergesundheit und Tierwohl sind folglich möglich.

In allen Versuchen war nominal ein Effekt der Kraftfuttermenge und des Energieniveaus im Grobfutter zu verzeichnen, sodass sich die vorliegenden Ergebnisse stimmig einordnen lassen.

Innerhalb des Projektes „optiKuh“ gab es zwischen den Versuchsbetrieben zum Teil erhebliche Unterschiede in den täglichen TM-Aufnahmen und den Milchleistungsparametern. Es zeichneten sich positive Auswirkungen auf das Leistungsgeschehen der Kühe in den Einrichtungen ab, in denen die Futterrationen als TMR und nicht als PMR vorgelegt wurden. Das Leistungsniveau im vorliegenden, in Kapitel 3 beschriebenen Versuches, lag auch in der intensiv gefütterten Versuchsgruppe deutlich unterhalb des Herdendurchschnitts der Versuchseinrichtung. Sowohl die Energie- als auch die Proteineffizienz der Tiere aller Versuchsgruppen waren im Vergleich zu Literaturangaben gering, so dass das geringe Leistungsniveau nicht mit einer Energie- und Nährstoffversorgung unterhalb des Bedarfs begründet werden kann.

Das gewählte Fütterungsverfahren war die Vorlage einer aufgewerteten Teilmischung. Dieses Verfahren ermöglicht eine gute Anpassung der Energie- und Nährstoffversorgung an den Bedarf der Einzeltiere. Mit steigenden Milchleistungen und erhöhtem Einsatz von Kraftfutter kommt es jedoch zu einer zunehmenden Grobfutterverdrängung sowie einer abnehmenden Verwertung der umsetzbaren Energie für die Milchbildung bei einer Energieversorgung oberhalb des Bedarfs (Gruber et al., 2012). Die Kraftfutterwirkung verändert sich zudem im Laktationsverlauf (Gruber et al., 2004) und in Abhängigkeit zur Grobfutterqualität. Die höchste Kraftfutterwirkung wird in der ersten Laktationshälfte erreicht, so dass sich Kraftfuttermengen auf diesen Zeitraum konzentrieren sollten (Gruber et al., 2004). Die vorliegenden Ergebnisse bestätigen die geringere Kraftfutterwirkung bei steigender Energiedichte im Grobfutter. Zur Optimierung der Energie- und Nährstoffnutzung ist die Betrachtung der Grobfutterverdrängung und Kraftfutterwirkung somit von besonderer Bedeutung. Die Kraftfutterzuteilung erfolgte im Projekt „optiKuh“ einheitlich nach einer zuvor festgelegten Kraftfutterkurve für erst- und mehrlaktierende Kühe und nicht nach individueller Leistung. Dieses Verfahren beugte einem zusätzlichem „Ausbremsen“ der Kühe vor. Derzeit gibt es keine klare Empfehlung für eine Strategie bei der Kraftfutterzuteilung, so dass weitere Untersuchungen erforderlich sind.

Bei der Vorlage einer TMR wird den Tieren eine gleichmäßige Mischung aller Komponenten vorgelegt. Mit diesem Fütterungsverfahren steht den Tieren jederzeit eine konstante Rationszusammensetzung zur Verfügung. Schwankungen des Pansen-pH-Wertes werden vermindert und die Selektion einzelner Bestandteile weitestgehend vermieden. Die Vorlage einer TMR kann die Futteraufnahme um bis zu 1,5 kg TM/Kuh und Tag erhöhen und damit zu

einer Steigerung der Milchleistung führen (DLG, 2001). Die Vorteile der Vorlage einer TMR bestätigen sich bei der Betrachtung der Ergebnisse aus dem Projekt „optiKuh“ (Spiekers et al., 2019). Diese deutliche Leistungsdifferenz innerhalb der Versuche im Projekt „optiKuh“ und auch auf einzelbetrieblicher Ebene verdeutlichen den weiteren Forschungsbedarf zur Frage nach der optimalen Futtermischung. Eine präzise Energie- und Nährstoffversorgung des Einzeltieres steht derzeit im Konflikt zu einer gleichmäßigen Rationsvorlage zur Aufrechterhaltung von stabilen und physiologischen Bedingungen im Pansen.

In der Milchkuhfütterung kommt Grobfutterkomponenten eine besondere Bedeutung zu, da sie die Grundlage jeder Milchkuhration darstellen. In Folge ihrer physikalischen Eigenschaften gewährleisten sie einen ausreichenden Speichelfluss, stabile pH-Werte in den Vormägen und eine Schichtung des Vormageninhaltes (Steingass und Zebeli, 2008). Sowohl die Grobfutterqualität als auch die Grobfutteraufbereitung bei der Ernte beeinflussen die fermentativen Vorgänge im Verdauungssystem der Kuh. Zur Optimierung der Energie- und Nährstoffverfügbarkeit und der Strukturwirkung der Grobfutterkomponenten können bei der Maisernte unterschiedliche Häckseltechniken eingesetzt werden. Seit einigen Jahren wird in den USA über eine neuartige Erntetechnik berichtet. Bei dem Verfahren Shredlage wird die Maispflanze auf Partikelgrößen von 26 bis 30 mm geschnitten. Eine besondere Bauform gegenläufiger Zerkleinerungswalzen ermöglicht zusätzlich eine starke Nachzerkleinerung der Maiskörner und ein Aufspießen der Restpflanzenbestandteile in Längsrichtung. Aus früheren Studien war bekannt, dass mit einer Erhöhung der tHL die Futteraufnahme und die Milchleistung der Kühe zurückgeht (Spiekers et al., 2009). Bei Betrachtung der vorliegenden Ergebnisse aus Fütterungsversuchen zum Einsatz von Shredlage-Maissilage zeigen sich hingegen keine negativen Effekte der neuen Erntetechnik auf die Nährstoffversorgung der Milchkuhe und die ermittelten Leistungsparameter. Zentraler Unterschied zwischen den Ergebnissen von Spiekers et al. (2009) und den vorliegenden Ergebnissen ist die Intensität der Kornaufbereitung. Die neue Bauform des Crackers ermöglicht ein Aufspießen der Restpflanze und einen intensiven Kornaufschluss, welcher mit einer Teilung des Maiskorns in viele kleine Bestandteile einhergeht. Diese haften an den groben, in Längsrichtung aufgesplissenen Bestandteilen an und führen damit zu einer gleichmäßigen Futteraufnahme feiner und grober Rationsbestandteile. Der Einsatz von Shredlage-Maissilage fördert die Versorgung mit physikalisch-effektiver Neutrale-Detergenzien-Faser und leistet damit einen Beitrag zu einer wiederkäuergerechten Ration. Die vorliegenden Ergebnisse verdeutlichen das Potential einer

bestmöglichen Aufbereitung des Erntegutes, eines optimierten Silomanagements und einer bedarfsgerechten Rationsgestaltung mit genügend strukturwirksamer Faser. Die beschriebenen Faktoren beeinflussen maßgeblich die Energie- und Nährstoffnutzung sowie das Leistungs- und Gesundheitsgeschehen der Milchkühe, so dass eine optimierte Rationsgestaltung bereits bei der Ernte der Futterpflanzen beginnt.

Zur Sicherstellung einer optimierten Energie- und Nährstoffversorgung der Kühe muss eine gleichmäßige Futteraufnahme der Ration gewährleistet sein. Dabei sollte eine von der Rationskalkulation abweichende, forcierte Aufnahme an leicht verdaulichen Kohlenhydraten und ein geringerer Verzehr an Faserkomponenten, die sich aus Futterselektion ergeben, vermieden werden. Die Wasserzugabe zu einer trockenen TMR wurde von Shaver (2002) und Leonardi et al. (2005) als eine Möglichkeit beschrieben, das Selektionsverhalten von Kühen beim Fressen von TMR zu reduzieren. Andere Studien zeigten hingegen eine Verstärkung der selektiven Futteraufnahme und eine Verringerung der TM-Aufnahme infolge der Wasserzugabe in die TMR (Miller-Cushon und DeVries, 2009; Felton und DeVries, 2010). In keiner bisherigen Studie wurde ein Effekt der Wasserzugabe zur TMR auf die Milchleistung ermittelt (Lahr et al., 1983; Leonardi et al., 2005; Miller-Cushon und DeVries, 2009; Felton und DeVries, 2010; Fish und DeVries, 2012). In einer hiesigen Praxiserhebung wurde hingegen ein positiver Effekt der Wasserzugabe auf die Stabilität des Pansen-pH-Wertes und die Milchleistungsparameter festgestellt (Fenske et al., 2018). Die positiven Effekte der Wasserzugabe werden in der vorliegenden Studie bestätigt. Eine Absenkung des TM-Gehaltes auf 37 bzw. 34 % durch Zugabe von Wasser führte zu verminderter Futterselektion gegen grobe Partikel, zu einem Anstieg der TM-Aufnahme, zu einer Erhöhung der täglichen Milchleistung und teilweise zu einer Erhöhung der energiekorrigierten Milchmenge. Somit steigert die Wasserzugabe die Energie- und Nährstoffnutzung hochleistender Milchkühe und stellt damit eine Möglichkeit dar, die einzelbetriebliche Fütterungsstrategie zu optimieren. Ursächlich für die differenten Erkenntnisse zur Wasserzugabe zu TMR sind deutlich unterschiedliche Grobfutterkomponenten, Rationszusammensetzungen und TM-Gehalte der Rationen. Bei hohen TM-Gehalten (>61 %) mit hohen Kraftfutter- und Heuanteilen scheint die Wasserzugabe das Nacherwärmungsverhalten und die Schmackhaftigkeit der Ration negativ zu beeinflussen (Felton und DeVries, 2010). Mit der vorliegenden Studie ergeben sich damit neue Erkenntnisse hinsichtlich der Wasserzugabe zu TMR unter hiesigen Bedingungen. Aus den Ergebnissen ist ebenfalls abzuleiten, dass TMR mit TM-Gehalten > 42 % verstärkt selektiv gefressen werden,

so dass die Empfehlungen der DLG (2001) zum optimalen TM-Gehalt von TMR nicht mehr den neuesten Erkenntnissen entsprechen. Die aktuelle Empfehlung für den TM-Gehalt von Rationen für Kühe in der Früh-laktation liegt derzeit, unabhängig vom Leistungsniveau, bei 45 bis 55 % der TM.

FAZIT

Es besteht weiterer Forschungsbedarf zur Klärung der Frage nach der optimalen Futtervorlage. Eine präzise Energie- und Nährstoffversorgung des Einzeltieres steht derzeit im Konflikt zu einer gleichmäßigen Rationsvorlage zur Aufrechterhaltung einer stabilen und physiologischen Situation im Pansen. Eine optimierte Rationszusammensetzung, die eine bedarfsgerechte Nährstoff- und Strukturversorgung ermöglicht und eine selektive Futteraufnahme verhindert, bietet erhebliche Möglichkeiten zur Steigerung der Energie- und Nährstoffnutzung der Milchkühe. Ein entscheidender Faktor ist die Aufbereitungsform der Futterpflanzen, die eine verbesserte Energieverfügbarkeit und Strukturwirkung ermöglichen kann. Folglich beginnt die optimierte Rationsgestaltung bereits bei der Ernte der Futterpflanzen. Im weiteren Prozessverlauf stellt die Herstellung einer homogenen Ration eine wichtige Optimierungsmöglichkeit dar. Eine gleichmäßige, nicht selektive Futteraufnahme wirkt sich positiv auf die Futteraufnahme und die Milchleistung der Kühe aus.

Die vorliegenden Erkenntnisse bestätigen des Weiteren die eingeschränkte Übertragbarkeit von Ergebnissen aus Fütterungsversuchen aus dem nordamerikanischen Raum auf hiesige Bedingungen. Grobfutterkomponenten, Genotypen der Pflanzen und Rationszusammensetzungen sind mit hiesigen nur bedingt vergleichbar, so dass im Bereich der praxisnahen Forschung Versuchsanstellungen unter mitteleuropäischen Produktionsbedingungen weiterhin notwendig sind.

LITERATUR

DLG (2001): Empfehlungen zum Einsatz von Mischrationen bei Milchkühen, DLG-Information 1/2001 des DLG-Arbeitskreis Futter und Fütterung, DLG Verlag, Frankfurt a.M.

Felton, C. A. und T. J. DeVries (2010): Effect of water addition to a total mixed ration on feed temperature, feed intake, sorting behavior, and milk production of dairy cows. *J. Dairy Sci.* 93, 2651-2660.

Fenske, K., H.-G. Schön und H. Westendarp (2018): Einfluss einer Wasserzugabe in die TMR auf die Selektion und ausgewählte Gesundheits- und Leistungsparameter von Milchkühen, Tagungsband Forum für angewandte Forschung in der Rinder- und Schweinefütterung Fulda, 10.-11.04.2018, 107-110. Herausgeber: Verband der Landwirtschaftskammern und DLG.

Fish, J. A. und T. J. DeVries (2012): Short communication: Varying dietary dry matter concentration through water addition: Effect on nutrient and sorting of dairy cows in late lactation. *J. Dairy Sci.* 95, 850-855.

Gerster, E., T. Jilg, H. Steingass, M. Rodehutschord und H. Spiekens (2018): Ergebnisse aus zwei Jahren TMR-Fütterung von Milchkühen der Rasse Fleckvieh bei einem Kraftfutteraufwand von 150 und 250 g pro kg ECM. Tagungsband „Abschlussveranstaltung Verbundprojekt optiKuh“ am 30/31.01.2018 in Braunschweig, Herausgeber: Spiekens, H., P. Hertel-Böhnke, U. Meyer, LfL-Schriftenreihe 2/2018, 34-39.

Gruber, L., F.J. Schwarz, D. Erdin, B. Fischer, H. Spiekens, H. Steingass, U. Meyer, A. Chassot, T. Jilg, A. Obermaier und T. Guggenberger (2004): Vorhersage der Futteraufnahme von Milchkühen - Kooperation von 10 Forschungs- und Universitätsinstituten Deutschlands, Österreichs und der Schweiz. 31. Viehwirtschaftliche Fachtagung 2004, Bericht HBLFA Raumberg-Gumpenstein, Irdning, 21-39.

Gruber, L., A. Schauer, J. Häusler, A. Adelwöhrer, M. Urdl, K.-H. Südekum und S. Kirchhof (2012): Einfluss der Kraftfutterzusammensetzung auf Futteraufnahme und Leistung von Milchkühen bei unterschiedlichem Vegetationsstadium des Wiesenfutters. 39. Viehwirtschaftliche Fachtagung 2012, Bericht HBLFA Raumberg-Gumpenstein, Irdning, 51-60.

Hertel-Böhnke, P., M. Schneider, T. Ettle und H. Spiekers (2018): Langzeitstudie zu den Effekten verschiedener Kraftfutter-Grobfutterverhältnisse in der Milchkuhfütterung auf Leistung und Futteraufnahme. *Züchtungskunde*, 90 (6), 417-429, Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart.

Kraus, N., L. Durst, U. Mohr und H. Spiekers (2018): Ergebnisse zum Kraftfuttereinsatz bei Milchkühen der Rasse Fleckvieh. Tagungsband „Abschlussveranstaltung Verbundprojekt optiKuh“ am 30/31.01.2018 in Braunschweig, Herausgeber: Spiekers, H., P. Hertel-Böhnke, U. Meyer, *LfL-Schriftenreihe 2/2018*, 53-58.

Lahr, D. A., D. E. Otterby, D. G. Johnson, J. G. Linn und R. G. Lundquist (1983): Effects of Moisture Content of Complete Diets on Feed Intake and Milk Production by Cows. *J. Dairy Sci.* 66, 1891-1900.

Leonardi, C., F. Giannico und L. E. Armentano (2005): Effect of water on selective consumption (sorting) of dry diets by dairy cattle. *J. Dairy Sci.* 88, 1043-1049.

Miller-Cushon, E. K. und T. J. DeVries (2009): Effect of dietary dry matter concentration on the sorting behavior of lactating dairy cows fed a total mixed ration. *J. Dairy Sci.* 92, 3292-3298.

Spiekers, H., T. Ettle, T. Jilg, B. Kuhla, U. Mohr und M. Pries (2018): Grobfutterleistung von Milchkühen und Futterertrag – Auswertung der Versuchsdaten des Verbundprojektes optiKuh. 130. VDLUFA-Kongress Münster, *VDLUFA Schriftenreihe*, 334-341.

Rischewski, J., A. Bielak, M. Derno, A. Tuscherer und B. Kuhla (2017): Impact of different roughage qualities at comparable concentrate level on feed efficiency and methane emissions of dairy cows during the lactation cycle. *Proc. Soc. Nutr. Physiol.* 26, 29.

Schmitz, R., K. Schnabel, D. von Soosten, U. Meyer, H. Spiekers, J. Rehage und S. Dänicke (2018): The effects of energy concentration in roughage and allowance of concentrates on performance, health and energy efficiency of pluriparous dairy cows during early lactation. *Arch. Anim. Nutr.* 72, 100-120.

Shaver, R. D. (2002): Rumen acidosis in dairy cattle: Bunk management considerations. *Adv. Dairy Technol.* 14, 241-249.

Steingass, H. und Q. Zebeli (2008): Strukturbewertung von Rationen für die Milchkuh. 35. Viehwirtschaftliche Fachtagung, Raumberg-Gumpenstein 2008, 19-25.

Spiekers, H., Ettle, T., Preisinger, W. und Pries, M. (2009): Häcksellänge und Strukturwert von Maissilage. Übers. Tierernährg. 37, 91-102.

DANKSAGUNG

An dieser Stelle möchte ich mich bei allen bedanken, die auf unterschiedlichste Weise zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen haben.

Für die stetige Unterstützung, die guten Ratschläge, die fachliche Betreuung und das überaus angenehme Miteinander möchte ich Prof. Karl-Heinz Südekum meinen herzlichen Dank aussprechen. Mein Dank gilt ebenfalls Prof. Hubert Spiekers für die Übernahme des Korreferates und die gute Zusammenarbeit im Projekt „optiKuh“.

Die Grundlage dieser Dissertationsschrift ist die Arbeit meiner lieben Kollegen im VBZL Haus Riswick. Danke für Eure tägliche Mühe bei der Betreuung und Versorgung unserer Kühe, danke für die Bereitschaft über unsere Ideen zu diskutieren und den stetigen Willen Lösungen für teilweise, zugegebenermaßen, suspekten Vorschläge zu finden. Danke Richard, Josef, Stefan, Felix, Thomas, Christa und Marleen, dass ich von Euch wahnsinnig viel über Kühe und unterschiedlichste Nebensächlichkeiten lernen durfte. Silke und Christoph, danke dass ihr mich in die abwechslungsreiche Welt des Versuchsassistenten eingeführt habt. Ich vermisse die gemeinsamen Stunden bei Schüttelbox, RFD, Kot und Co. Michael, dir möchte ich für die heiteren Mittagspausen, die guten Gespräche und das vertrauensvolle Miteinander danken. Katrin möchte ich für die aufschlussreichen Gespräche und die gemeinsamen Erörterungen jeglicher Themen während der Probetermine mit unseren optiKühen danken. Ein Dankeschön an Klaus und Theo, ohne Euch gäbe es weder Silagen noch TM-Aufnahmen. Mein Dank gilt ebenso Sebastian und Herrn Dr. Stork für die gute Zusammenarbeit und die Unterstützung dieses Vorhabens. Die Zeit mit Euch in Riswick hat mich geprägt und sie hat vor allem wahnsinnig viel Spaß gemacht. Danke!

Für die uneingeschränkte persönliche und fachliche Förderung danke ich Martin. Vielen Dank für deine Begeisterung, deine Hilfe und deine Ratschläge. Danke, dass ich so viel von Dir lernen darf!

Ein großes Dankeschön an meine Freunde, vor allem aber Regina und Christiane, für Eure Unterstützung in den letzten Monaten. Für die gemeinsame Zeit und die Gespräche, die Reisen und die Molkky-Abende. Danke, dass ihr für mich da seid!

Von ganzem Herzen danke ich schließlich meiner Familie für den Rückhalt, das Verständnis und den ungebrochenen Zusammenhalt.

TAGUNGSBEITRÄGE

19. Forum angewandte Forschung in der Rinder- und Schweinefütterung, 02.-03.04.19, Fulda, Deutschland

Denißen, J., S. Beintmann, S. Hoppe & M. Pries:

Einfluss einer Wasserzugabe zu Mischrationen auf Futteraufnahme, Fressverhalten und Milchleistungsparameter hochleistender Milchkühe. (Vortrag)

18. Forum angewandte Forschung in der Rinder- und Schweinefütterung, 11.-12.04.18, Fulda, Deutschland

Denißen, J. & M. Pries:

Einfluss der Partikelgrößenverteilung von Maissilage auf Futteraufnahme und Leistung von Milchkühen. (Vortrag)

Vortragstagung der DGfZ und GfT am 20.-21.09.17, Stuttgart, Deutschland

Denißen, J., C. Hoffmanns, S. Hoppe, M. Pries & K.-H. Südekum

Einfluss der Grobfutterqualität und des Kraftfutterniveaus bei Teil-TMR über 2 Jahre auf Milchleistungsparameter bei Deutschen Holsteins. (Vortrag)

VERÖFFENTLICHUNGEN

Urh, C., J. Denißen, I. Harder, C. Koch, E. Gerster, T. Ettle, N. Kraus, R. Schmitz, B. Kuhla, E. Stamer, H. Spiekers & H. Sauerwein (2019): Circulating adiponectin concentrations during the transition from pregnancy to lactation in high-yielding dairy cows: testing the effects of farm, parity, and dietary energy level in large animal numbers. *Domestic Animal Endocrinology* 69, 1-12.

Urh, C., J. Denißen, E. Gerster, N. Kraus, E. Stamer, B. Heitkönig, H. Spiekers & H. Sauerwein (2019): Short communication: Pro- and antioxidative indicators in serum of dairy cows during late pregnancy and early lactation: Testing the effects of parity, different dietary energy levels, and farm. *Journal of Dairy Science* 102, 6672-6678.

Denißen, J., S. Beintmann, S. Hoppe, M. Pries & K.-H. Südekum (2018): Einfluss der Energiedichte im Grobfutter und der Kraftfuttermenge auf die Futteraufnahme, das Wiederkauverhalten und die Milchleistung von Milchkühen der Rasse Deutsche Holstein in der Gesamtlaktation. *Züchtungskunde* 90, 430-452.

Denißen, J., J.-H. Speit & M. Pries (2018): Einfluss der Partikelgrößenverteilung bei der Maisernte auf die Silagequalität sowie die Futteraufnahme und Leistung von Milchkühen. *Übersichten zur Tierernährung*, 43. Jahrgang, Heft 1, 53-77.

Speit, J.-H., J. Denißen, T. Ettle & M. Pries (2018): Effects of shredlage and long cut maize silage on dry matter intake and performance of dairy cows. *Tagungsband 18. Internationale Silagekonferenz 26.-26.07.18, Bonn*, 390-391.

Urh, C., J. Denißen, T. Ettle, U. Meyer, R. Schmitz, E. Stamer, H. Spiekers & H. Sauerwein (2018): Varying the energy density of the diet by roughage composition and the amount of concentrate: effects on the circulating concentrations of adiponectin in Holstein and in Simmental cows. *Proceedings of the Society of Nutrition Physiology* 27, 84.

Denißen, J., S. Beintmann, S. Hoppe, M. Pries & K.-H. Südekum (2018): Einfluss der Grobfutterqualität und des Kraftfutterniveaus bei Teil-TMR über 2 Jahre auf Milchleistungsparameter bei Deutschen Holsteins. *LfL Schriftenreihe, Tagungsband Abschlussveranstaltung Verbundprojekt OpiKuh, 30.-31.01.2018, 30-33.*

Denißen, J., C. Hoffmanns, S. Hoppe, M. Pries & K.-H. Südekum (2017): Einfluss der Grobfutterqualität und des Kraftfutterniveaus bei Teil-TMR über 2 Jahre auf Milchleistungsparameter bei Deutschen Holsteins. *Tagungsband Vortragstagung der DGfZ und GfT 20.-21.09.17, Stuttgart, A4.*