

**Aus der
Nutztierklinik – Abteilung Wiederkäuer und Kameliden
des Fachbereichs Veterinärmedizin
der Freien Universität Berlin**

**Untersuchung der Effekte einer peripartalen
Rationsergänzung mit pansengeschütztem Methionin
und Lysin in Kombination mit einer Ration mit leicht
abgesenktem Rohproteingehalt auf die Milchleistung,
Fruchtbarkeit und Tiergesundheit in der Folgelaktation
bei Holstein-Friesian Kühen**

**Inaugural-Dissertation
zur Erlangung des Grades eines
Doktors der Veterinärmedizin
an der
Freien Universität Berlin**

**vorgelegt von
Jennifer Kim Grottendieck
Tierärztin aus Heppenheim**

**Berlin 2024
Journal-Nr.: 4478**

Aus der
Nutztierklinik – Abteilung Wiederkäuer und Kameliden
des Fachbereichs Veterinärmedizin
der Freien Universität Berlin

**Untersuchung der Effekte einer peripartalen Rationsergänzung
mit pansengeschütztem Methionin und Lysin in Kombination mit einer Ration
mit leicht abgesenktem Rohproteingehalt auf die Milchleistung, Fruchtbarkeit
und Tiergesundheit in der Folgelaktation bei Holstein-Friesian Kühen**

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung des Grades eines
Doktors der Veterinärmedizin
an der
Freien Universität Berlin

vorgelegt von
Jennifer Kim Grottendieck
Tierärztin aus Heppenheim

Berlin 2024
Journal-Nr.: 4478

Gedruckt mit Genehmigung des Fachbereichs Veterinärmedizin
der Freien Universität Berlin

Dekan: Univ.-Prof. Dr. Uwe Rösler
Erster Gutachter: Univ.-Prof. Dr. Rudolf Staufenbiel
Zweiter Gutachter: Univ.-Prof. Dr. Jürgen Zentek
Dritter Gutachter: Prof. Dr. Isabelle Ruhnke

Deskriptoren (nach CAB-Thesaurus):

cows, holstein-friesian, animal nutrition, methionine, lysine, milk yield, animal reproduction, reproductive performance, lactation

Tag der Promotion: 19.09.2024

Bibliografische Information der *Deutschen Nationalbibliothek*

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.ddb.de> abrufbar.

ISBN: 978-3-96729-265-7

Zugl.: Berlin, Freie Univ., Diss., 2024

Dissertation, Freie Universität Berlin

D188

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt.

Alle Rechte, auch die der Übersetzung, des Nachdruckes und der Vervielfältigung des Buches, oder Teilen daraus, vorbehalten. Kein Teil des Werkes darf ohne schriftliche Genehmigung des Verlages in irgendeiner Form reproduziert oder unter Verwendung elektronischer Systeme verarbeitet, vervielfältigt oder verbreitet werden.

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Warenbezeichnungen, usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürfen.

This document is protected by copyright law.

No part of this document may be reproduced in any form by any means without prior written authorization of the publisher.

alle Rechte vorbehalten | all rights reserved

© Mensch und Buch Verlag 2024 Choriner Str. 85 - 10119 Berlin
verlag@menschundbuch.de – www.menschundbuch.de

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung.....	1
2	Literaturübersicht.....	3
2.1	Proteine und Aminosäuren	3
2.1.1	Besonderheiten im Proteinstoffwechsel bei Wiederkäuern	3
2.1.2	Proteinbedarf und Bewertung in der Wiederkäuerfütterung	4
2.1.3	Aminosäuregehalte in Grundfutterkomponenten.....	7
2.1.4	Funktionen von Methionin und Lysin im Stoffwechsel.....	7
2.1.5	Pansenstabile Methionin- und Lysinverbindungen.....	9
2.1.6	Effekte von rohproteinreduzierten Rationen in der Wiederkäuerfütterung auf die Stickstoffeffizienz	10
2.2	Effekte einer Supplementierung von pansenstabilem Methionin und Lysin auf die Milchleistung	12
2.2.1	Einfluss auf die Milchmengenleistung	12
2.2.2	Einfluss auf den Milchproteingehalt und die Milchproteinmenge.....	14
2.2.3	Einfluss auf die Milchfettgehalte und Milchfettmenge.....	16
2.2.4	Einfluss auf die Milchwahnharnstoffkonzentration	17
2.2.5	Einfluss auf den Milchlaktosegehalt und die Milchlaktosemenge.....	18
2.2.6	Einfluss auf die Kolostrumqualität	19
2.3	Auswirkungen einer Supplementierung von pansenstabilem Methionin und Lysin auf die Fruchtbarkeit.....	19
2.3.1	Einfluss auf Faktoren der Zwischentragzeit.....	19
2.3.2	Einfluss auf die Embryonalentwicklung und die frühembryonale Mortalität.....	20
2.3.3	Einfluss auf das neonatale Kalb	21
2.4	Auswirkungen einer Supplementierung mit pansenstabilem Methionin und Lysin auf die Tiergesundheit	22
2.4.1	Einfluss auf die Trockenmasseaufnahme.....	22
2.4.2	Einfluss auf das Körpergewicht und den Body Condition Score	24
2.4.3	Einfluss auf das Pansenmikrobiom und den Pansenstoffwechsel	25
2.4.4	Einfluss auf die Entstehung postpartaler Erkrankungen.....	25
2.4.5	Einfluss auf das Immunsystem.....	26
2.4.6	Einfluss auf den Fett- und Energiestoffwechsel	27
2.4.7	Einfluss auf die Eutergesundheit.....	27
3	Material und Methoden.....	29
3.1	Untersuchungsbetrieb.....	29
3.2	Untersuchung	29
3.2.1	Untersuchungstiere	30
3.2.2	Fütterung	30

3.3	Datenerhebung	32
3.3.1	Milchleistungsmessung	32
3.3.2	Daten zur Fruchtbarkeit	33
3.3.3	Futteraufnahmemessung	33
3.3.4	Daten zur Tiergesundheit	33
3.4	Vollständigkeit des Datensatzes	36
3.5	Statistische Auswertung	37
4	Ergebnisse	41
4.1	Deskriptive Statistik	41
4.1.1	Milchleistung	41
4.1.2	Fruchtbarkeit	56
4.1.3	Tiergesundheit	59
4.2	Analytische Statistik	71
4.2.1	Einfluss auf die Milchleistung	71
4.2.2	Einfluss auf die Fruchtbarkeit	81
4.2.3	Einfluss auf die Tiergesundheit	82
5	Diskussion	93
5.1	Methodenkritik	93
5.2	Milchleistung	94
5.2.1	Milchmengenleistung	94
5.2.2	Milchinhaltsstoffe	95
5.3	Fruchtbarkeit	98
5.4	Tiergesundheit	98
5.4.1	Körperkondition	98
5.4.2	Trockenmasseaufnahme	99
5.4.3	Postpartale Tiergesundheit	100
5.5	Zusammenfassende Diskussion	102
6	Schlussfolgerungen	103
7	Zusammenfassung	105
8	Summary	107
9	Literaturverzeichnis	109
10	Anhang	131
11	Abbildungsverzeichnis	143
12	Tabellenverzeichnis	147
13	Publikationsverzeichnis	151
14	Danksagung	152
15	Finanzierungsquellen und Interessenskonflikte	153
16	Selbstständigkeitserklärung	154

Abkürzungsverzeichnis

a.P.	anorganisches Phosphat
a.p.	ante partum
ADF	Säure-Detergenzien-Faser
AS	Aminosäuren
ASAT	Aspartat-Aminotransferase
ASG	Aminosäuregruppe
BCS	Body Condition Score
BHB	β -Hydroxybutyrat
BSQ	Basen-Säure-Quotient
BUN	<i>Blood Urea Nitrogen</i>
DCAB	<i>Dietary Cation Anion Balance</i>
d	Tag
EDTA	Ethyldiamintetraacetat
FD	Fettdicke
FM	Frischmasse
GLDH	Glutamatdehydrogenase
HMB	Hydroxymethylthiobuttersäure
HMBi	Isopropylester des HMB
IL	Interleukin
iNOS	Stickstoffmonoxid-Synthase in Makrophagen
k.A.	Keine Angabe
kg	Kilogramm
LDL	<i>Low Density Lipoprotein</i>
MJ	Megajoule
ml	Milliliter
MUN	Milk Urea Nitrogen
mval	Milliäquivalent
NALM	N-Actyl-L-Methionin
NDF	Neutral-Detergenzien-Faser
NEFA	<i>Non Esterified Fatty Acids</i>
NEL	Netto-Energie-Laktation
NFE2L2	<i>Nuclear Factor Erythroid 2-Related Factor 2</i>
NSBA	Netto-Säure-Basen-Ausscheidung
nXP	Nutzbares Rohprotein

P ₄	Progesteron
PA	Portionsaufwand
PAG	<i>Pregnancy Associated Glycoprotein</i>
p.n.	post natum
p.p.	post partum
PPAR α	Peroxisom-Proliferator-aktivierter Rezeptor α
RDP	<i>Rumen Degradable Protein</i>
RFMD	Rückenfettmuskeldicke
RNB	Ruminale N-Bilanz
RZ	Rastzeit
SAA	Serum-Amyloid-A
SAM	S-Adenosylmethionin
sidAA	<i>Small Intestinal Digestible Amino Acids</i>
sidP	<i>Small Intestinal Digestible Protein</i>
TM	Trockenmasse
TNF- α	Tumor-Nekrose-Faktor α
TS	Trockensubstanz
UDP	<i>Undegraded Dietary Protein</i>
VG	Vergleichsgruppe
VLDL	<i>Very Low Density Lipoprotein</i>
VZ	Verzögerungszeit
XF	Rohfaser
XL	Rohfett
XP	Rohprotein
XS	Rohstärke
XZ	Rohzucker
ZTZ	Zwischentragezeit
γ -GT	γ -Glutamyltransferase
μ mol	Mikromol

Verwendung von Begriffen und Abkürzungen des Proteinbewertungssystems

Eine Besonderheit von Proteinbewertungssystemen im Allgemeinen ist die große Variabilität von Begriffen und Abkürzungen, die aufgrund von internationaler Literatur und der Übersetzung ins Deutsche missverständlich sein können. Aus diesem Grund soll nachfolgend dargelegt werden, an welchem Bewertungssystem sich diese Arbeit orientiert sowie die dazugehörigen Begriffe kurz erläutert werden.

Zum Zeitpunkt der Fertigstellung dieser Arbeit existierte in Deutschland bereits ein an die internationale Literatur (NRC 2021) angepasstes und modernisiertes Proteinbewertungssystem (sidP/sidAA-System, GfE 2023). Ungeachtet dessen werden im Folgenden nur Begriffe und Abkürzungen aus dem Proteinbewertungssystem verwendet, welches das nutzbare Rohprotein (nXP-System), empfohlen von der GfE 2001, als Grundlage verwendet. Ausschlaggebend für diese Entscheidung war dessen Gültigkeit während der Studienplanung, der Rohdatenerfassung und der Datenauswertung ab dem Jahr 2018. Diese von der Gesellschaft für Ernährung veröffentlichten Versorgungsempfehlungen bilden aktuell noch das Fundament der praktischen Futtermittelbewertung, der Bedarfsermittlung und darüber hinaus der tierärztlichen Bestandsbetreuung in Deutschland, obwohl die Neuerungen des sidP/sidAA-Systems bereits Ende 2023 veröffentlicht wurden.

Im nXP-System wird die Eiweißversorgung auf Basis des nutzbaren Rohproteingehaltes (nXP, g/kg TM) beschrieben. Das nXP ist eine abgeleitete Größe und bezieht sich auf das Futtermittel. Statt nXP werden gelegentlich auch die Begriffe UCP (*Utilizable Crude Protein*) und nRp (nutzbares Rohprotein) verwendet. Sie beschreiben wie viel Rohprotein im oberen Dünndarm für die weitere Metabolisierung zur Verfügung steht und sind damit gleichwertig zu gebrauchen wie der Begriff nXP. Das nXP setzt sich aus dem mikrobiellen Protein und dem im Pansen nicht abbaubaren Futterprotein (UDP, *Undegraded Dietary Protein*) zusammen. Für letzteres findet sich in der deutschen Literatur häufig der Begriff „Durchflussprotein“. In der internationalen Literatur wird statt nXP der Begriff „metabolisierbares Protein“ angewendet.

1 Einleitung

Eine bedarfs- und leistungsgerechte Futtermittelration ist ein wichtiger Stützpfeiler für eine langfristige und erfolgreiche Milchproduktion. Die Vermeidung einer Über- bzw. Unterversorgung ist eine entscheidende Stellschraube für eine solide Tiergesundheit und hohe Leistungsbereitschaft, sorgt für die Einsparung von Betriebskosten und ist ein fundamentaler Bestandteil des Umweltschutzes. Dabei besteht die Kunst der differenzierten Nährstoffberechnung in der korrekten Mengenauswahl geeigneter Grund- und Kraftfuttermittel sowie deren Kombination mit notwendigen Ergänzungsfuttermitteln, um den Ansprüchen der verschiedenen Leistungsbereiche gerecht zu werden. Steigende Produktionskosten nebst den Preissteigerungen von Raps- und Sojaextraktionsschrot und Milchleistungsfutter (Landwirtschaftskammer-Niedersachsen 2024) verlangen schon seit Langem nach einer Anpassung des Managements und der Erweiterung und Präzisierung von Fachwissen bei landwirtschaftlichem Personal, Futtermittelunternehmern und Tierärzten.

Obwohl es bereits seit Beginn des vergangenen Jahrhunderts Belege dafür gibt, dass Rinder nicht auf die Zufuhr von Proteinen angewiesen sind, um Aminosäuren zu synthetisieren (Loosli et al. 1949), wurden proteinhaltige Futtermittel lange Zeit im Überschuss gefüttert, um Leistungseinbrüchen zu Laktationsbeginn entgegenzuwirken. Die Resultate waren eine übermäßige Belastung der Tiergesundheit und der Umwelt mit stickstoffhaltigen Stoffwechselprodukten und Einbußen der betrieblichen Rentabilität. All diese Aspekte sind Ausgangspunkt für die intensive Forschung zum Nährstoffbedarf von Wiederkäuern, der Ermittlung von Nährstoffgehalten in diversen Futterkomponenten und der notwendigen Aktualisierung und Angleichung von Berechnungs- und Bewertungssystemen. Im Fokus steht bei alledem der effizientere und gleichzeitig bedarfsdeckende Einsatz von Proteinen bzw. Aminosäuren (Sinclair et al. 2014, Schwab und Broderick 2017, Kim und Lee 2021). Dabei haben sich Methionin und Lysin als zwei der wichtigsten essenziellen Aminosäuren in der Rinderfütterung herauskristallisiert (Schwab et al. 1976, NRC 2001).

Das Ziel der vorliegenden Studie war in einem Feldversuch zu untersuchen, welche praktische Relevanz eine leichte Rohproteinreduzierung mit gleichzeitiger Aminosäuresupplementierung für die Landwirte und die tierärztliche Bestandsbetreuung von Milchkuhherden hat. Aufgrund dieses praktischen Ansatzes war es nicht Teil der Arbeit, die Bedarfsnormen an Rohprotein oder Aminosäuren zu erfassen oder neu zu bewerten, sondern vielmehr das Augenmerk auf die praxisrelevanten und einfach zu ermittelnden Parameter von Milchleistung und Tiergesundheit, insbesondere des Leberstoffwechsels, zu legen. Diese zwei Punkte sind die wirtschaftlich bedeutsamen Aspekte im Zusammenspiel zwischen Landwirt, tierärztlicher Bestandsbetreuung und weiteren Beratern, um effektiv und nutzbringend Kosten zu

reduzieren. Die Ergebnisse dieser Studie sollen den praktisch tätigen Tierärzten im Rahmen ihrer Aufgaben in der tierärztlichen Bestandsbetreuung von Milchkuhherden Argumente zur Verfügung stellen, um die Milchviehalter bei der Entscheidung über den Einsatz von Ergänzungsfuttermitteln auf Basis der geschützten Aminosäuren Methionin und Lysin mit wissenschaftlich begründeten Informationen zu unterstützen. Eine Anforderung an die praktische tierärztliche Bestandsbetreuung ist, dass der Klient Landwirt unmittelbar eine Handlungsempfehlung erwartet, weil er selbst aktuell entscheiden muss.

Aus diesen Gründen sollten im Rahmen dieser Untersuchung die Auswirkungen einer peripartalen Supplementierung von pansenstabilem Methionin und Lysin in Kombination mit einer Ration mit leicht abgesenktem Rohproteingehalt auf die Milchleistung, Fruchtbarkeit und die Tiergesundheit in der Folgelaktation untersucht werden. Folglich lassen sich die nachfolgenden Aufgabenstellungen formulieren:

1. Ist durch die Supplementierung von pansengeschütztem Methionin und Lysin der Erhalt der Milchleistung trotz gleichzeitiger Reduktion des täglichen Rohproteinangebots möglich?
2. Welchen Effekt haben die beiden Aminosäuren auf die wirtschaftlich bedeutsamen Milchinhaltstoffe Fett und Protein?
3. Kann durch die Reduktion des Rohproteinangebots bei gleichzeitiger Ergänzung von pansenstabilem Methionin und Lysin ein positiver Effekt auf die Fruchtbarkeitsleistung in der Serviceperiode erzielt werden?
4. Kann durch die peripartale Supplementierung mit pansenstabilem Methionin und Lysin in rohproteinreduzierten Rationen die postpartale Tiergesundheit optimiert werden?

2 Literaturübersicht

2.1 Proteine und Aminosäuren

2.1.1 Besonderheiten im Proteinstoffwechsel bei Wiederkäuern

Die Besonderheiten der Verdauungsprozesse sind dem komplexen Vormagensystem der Wiederkäuer geschuldet. Dem Pansen, dem anatomisch größten Segment des Vormagensystems, wohnt eine einzigartige Population inne, die sich aus Protozoen, Bakterien und Pilzen zusammensetzt. Aufgrund dieser, als Mikroben zusammengefassten Besiedlung, unterscheiden sich die präabsorbativen Verdauungs- und Syntheseprozesse beim Wiederkäuer wesentlich von denen monogastrischer Tiere. Die im Folgenden beschriebenen Stoffwechselprozesse werden in Abbildung 1 visuell verdeutlicht.

Nach der Aufnahme proteinreicher Futtermittel, stickstoffhaltiger Verbindungen und endogener Proteine aus Speichel, Muzinen und abgeschilferten Epithelien (Tamminga et al. 1995) kommt es zur Hydrolyse der pansenlabilen Eiweißverbindungen durch mikrobielle Enzyme. Aus den Eiweißverbindungen werden Di- und Oligopeptide sowie einzelne Aminosäuren und Ammoniak freigesetzt. Letzteres wird von den Mikroben für die Neusynthese des mikrobiellen Proteins genutzt (Allison 1969). Proteine, die durch die Mikroben nicht abgebaut werden können, bezeichnet man als pansenstabile Proteine. Sie verlassen das Vormagensystem weitestgehend unverändert und erreichen gemeinsam mit dem mikrobiellen Protein den Dünndarm (Wang et al. 2019). Die Abbaurate von Proteinen im Pansen wird durch eine Vielzahl von Faktoren beeinflusst. Neben der Trockenmasseaufnahme und der daraus resultierenden Verweildauer und Passagerate im Pansen (GfE 2023) hat auch die proteinäre Tertiärstruktur und die mikrobielle Aktivität Einfluss auf die Abbaubarkeit von Proteinen (Satter 1986). Die anschließende postruminale Proteinverdauung unterliegt grundsätzlich den gleichen Prinzipien wie bei Nichtwiederkäuern (Bergen 1979). Das Mikrobenprotein und die unverdaulichen Proteine aus dem Pansen gelangen über das sich dem Pansen anschließende Vormagensystem sowie den Labmagen zum oberen Dünndarmabschnitt, in dem der weitere Abbau stattfindet (Sissons 1981). Über spezielle Transportmechanismen im hinteren Dünndarmabschnitt werden die einzelnen Bestandteile zellulär aufgenommen (Bergen 1979). Über die Pfortader werden die Aminosäuren zur Leber transportiert. Abhängig von der individuellen Stoffwechsellage werden sie dort im Zuge weiterer Ab- und Umbauprozesse biochemisch metabolisiert (Wang et al. 2019). Eine Besonderheit des Wiederkäuers ist die Wiederverwertbarkeit des beim Proteinabbau freiwerdenden Ammoniaks im Rahmen des ruminohepatischen Kreislaufs. Ammoniak kann über die Pansenwand ins Blut diffundieren und via Blutstrom zur Leber gelangen, wo er im Harnstoffzyklus zu ungiftigem Harnstoff umgewandelt wird (Kennedy 1980, Visek 1984). Der entstandene Harnstoff wird über den Speichel

oder per diffusionem in den Pansen zurücktransportiert (Haupt und Haupt 1968) und kann dort zur erneuten Synthese von Aminosäuren und Proteinen verwendet werden.

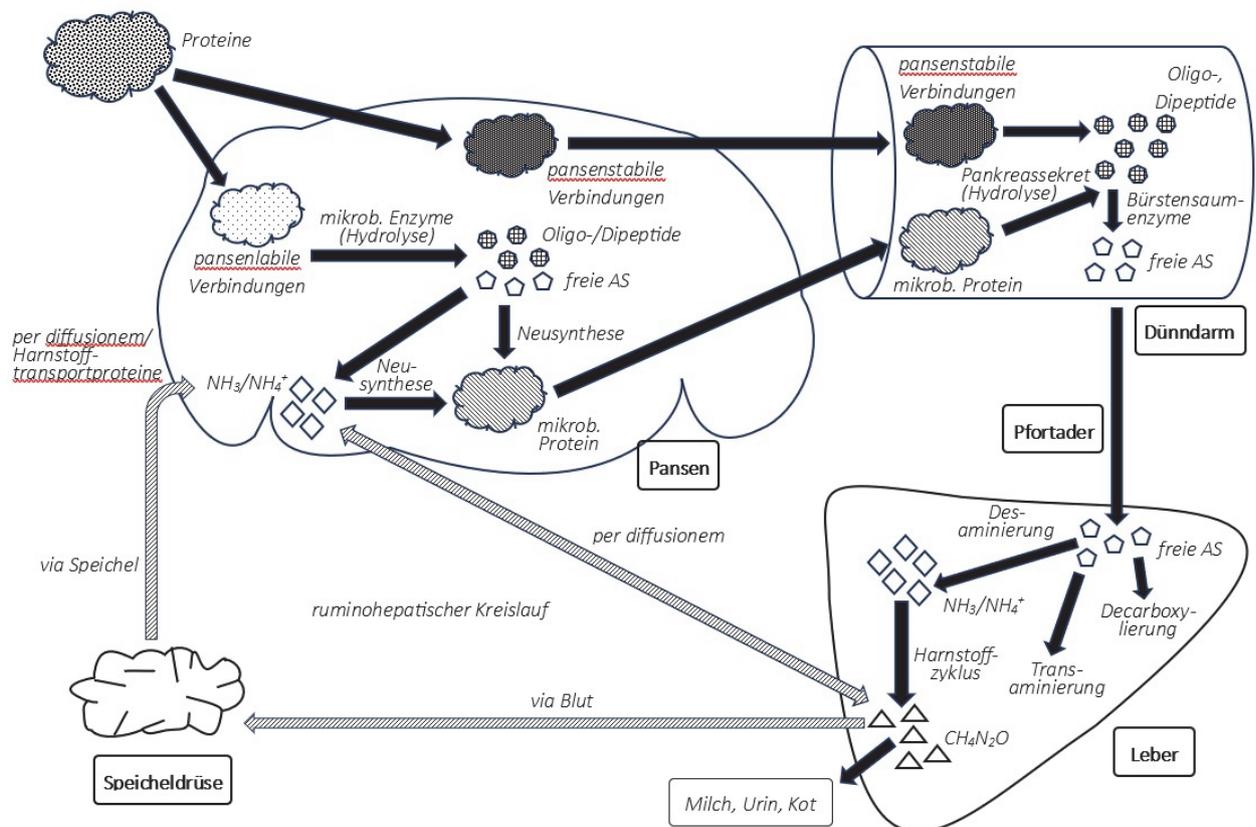


Abbildung 1: Schematische Darstellung des Proteinflusses von der oralen Aufnahme bis zur vollständigen Verstoffwechslung und der Ausscheidung unter Beteiligung aller relevanten Organstrukturen, modifiziert nach (Wang et al. 2019)

2.1.2 Proteinbedarf und Bewertung in der Wiederkäuerfütterung

Der eigentliche Bedarf eines Proteins bezieht sich auf dessen Grundbausteine, die in jedem Protein in einzigartiger Zusammensetzung und spezifischer Reihenfolge enthaltenen Aminosäuren und dessen α -Amino-Stickstoffatomen (GfE 2023). Für Wiederkäuer sind die gleichen Aminosäuren essenziell wie für monogastrische Tiere (Schwab et al. 1976). Im Rahmen der mikrobiellen Proteinsynthese werden diese essenziellen Aminosäuren allerdings direkt im Pansen der Wiederkäuer durch die Pansenmikroben hergestellt (Virtanen 1966). Essenziell für die Syntheseleistung der Pansenmikroben ist eine Stickstoffquelle, die auch nicht-proteinären Ursprungs sein kann (Loosli et al. 1949, Rooke et al. 1987) sowie ausreichend Energie, die durch hochverdauliche Kohlenhydrate bereitgestellt wird (Rohr 1986, Wang et al. 2019). Als Richtwert gilt eine mittlere mikrobielle Proteinsyntheserate von 10 g pro MJ umsetzbarer Energie (von Engelhardt 2010). Außerdem müssen sowohl der Abbau von Protein, als auch der Abbau der Kohlenhydrate zeitlich aufeinander abgestimmt sein, da es

sonst zu einer ineffizienten Verwertung des Stickstoffs durch Energiemangel und damit zu einer verringerten mikrobiellen Proteinsynthese kommt. Als rechnerische Kenngröße für die Versorgung der Mikroben mit Stickstoff wurde bisher die ruminale Stickstoffbilanz (RNB) verwendet. Eine negative RNB zeigt einen N-Mangel an, der durch eine unzureichende N-Versorgung aus dem RDP zustande kommt. Eine positive RNB hingegen zeigt einen N-Überschuss im Pansen an und damit eine übermäßige Belastung des Organismus mit Stickstoffverbindungen (NRC 2001). Deshalb und aufgrund der bereits erläuterten anatomisch-physiologischen Fähigkeit zur zyklischen N-Verwertung ist in der Rationskalkulation eine RNB von 0 anzustreben.

Schwierigkeiten hinsichtlich der Erfassung des Protein- bzw. Aminosäurebedarfes ergeben sich in der praktischen Umsetzung der Rationsgestaltung. Auf Seiten des Tieres steht der Bedarf an Stickstoff und anderer Verbindungen, die für die weitere Verstoffwechslung und Syntheseleistungen des Stickstoffs notwendig sind. Auf der anderen Seite steht das Futter mit seinem spezifischen Futterwert. Sowohl durch pflanzenphysiologische Eigenschaften, als auch durch technisch bedingte Veränderungen während der Verarbeitung, kommt es zu schwankende Rohproteingehalten in den Grundkomponenten (Titze 2023). Ein beispielhafter Überblick über die teils große Variabilität der Rohproteingehalte in typischen Futtermitteln ist in Tabelle 1 zusammengestellt. Auch die Syntheserate und das Aminosäureprofil des Mikrobenproteins unterliegt solchen Schwankungen (Schröder 2008, GfE 2023).

Tabelle 1: Rohproteingehalte verschiedener Futtermittel, zusammengestellt nach Titze (2023)

Futtermittel	XP-Gehalt (g/kg TM)
Grobfutter:	
Maissilage	71 - 80
Grassilage	157 - 195
Luzerne*	171 - 206
Erzeugnisse aus Ölsaaten:	
Rapsextraktionsschrot*	344 - 401
Sojaextraktionsschrot	386 - 564

XP = Rohprotein, TM = Trockenmasse, * in verschiedenen Verarbeitungsformen

Diverse, teils länderspezifische Proteinbewertungssysteme ermöglichen in unterschiedlichem Umfang eine Qualifizierung und Quantifizierung der Protein- und Aminosäuregehalte in einzelnen Futtermitteln. Das deutsche Proteinbewertungssystem, das lange Zeit auf dem nutzbaren Rohprotein (nXP) basierte, wurde mithilfe von Dosis-Wirkungskurven zu dem nXAA-System erweitert und ermöglichte so eine genauere Bedarfsdeckung primär der Aminosäuren Methionin und Lysin (Schröder 2008). Seit Ende 2023 wird das nXP- bzw. nXAA-System durch die neuen Kennzahlen *sidP* und *sidAA* ersetzt. In diesem System wird weniger auf den Rohproteingehalt des Futtermittels geachtet, sondern vielmehr auf dessen duodenale

Aminosäureverfügbarkeit und damit neben der Verdaulichkeit von Proteinen auch die Futteraufnahme sowie verdauungsphysiologische Prozesse berücksichtigt (GfE 2023). Die daraus resultierenden, notwendigen Anpassungen für praxisübliche Berechnungsverfahren und Kalkulationen wird noch einige Zeit in Anspruch nehmen. Daher wird aktuell an vielen Stellen noch das nXP- bzw. nXAA-System angewendet. Die Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL) hat in einer Veröffentlichung aus dem Jahr 2021 Daten verschiedener Institutionen und Autoren zur Bedarfsdeckung zusammengetragen und diese als *Gruber-Tabellen zur Milchviehfütterung* veröffentlicht. Auszüge davon sind in Tabelle 2 dargestellt. Abhängig von der Milchleistung ergibt sich daraus ein täglicher nXP-Bedarf von 3020 - 3870 g/Kuh. Diese Werte sind etwas höher als die Empfehlung in der internationalen Literatur (Tabelle 3). Die Aminosäurebereitstellung wird hauptsächlich durch das Mikrobenprotein und die UDP-Fraktion sichergestellt, die Mobilisierung von Körperprotein spielt hingegen keine Rolle (GfE 2023). Die mikrobielle Proteinsynthese ist allerdings mit steigender Milchleistung nicht mehr bedarfsdeckend, sodass der prozentuale Anteil des UDP am nXP schrittweise erhöht werden muss (Tabelle 2).

Tabelle 2: Bedarfswerte für das nXP, nach GfE (2023) und LfL (2021)

	nXP-Bedarf (pro Tier und Tag)
Erhaltungsbedarf (700 kg LM)	470 g
Leistungsbedarf (je kg Milch)	+ 85 g
UDP-Anteil (%) am XP	21-27 %*

* bei einer täglichen Milchleistung von 30-40 Litern, nach Kirchgeßner (2014)

Tabelle 3: Proteinbedarf, unterteilt nach XP, nXP, RDP und UDP, einer adulten Milchkuh* zu verschiedenen Zeitpunkten, modifiziert nach (NRC 2021)

Zeitpunkt	TM (kg/d)	Bedarf**			
		XP		nXP	
		%	g/d	%	g/d
ante partum (< 21 d)	12	14,3 <i>10^a</i> <i>4,3^b</i>	k.A.	6,7	k.A.
Frühlaktation (20 d)	26	17,5 <i>10^a</i> <i>7,5^b</i>	4515 <i>2580^a</i> <i>1935^b</i>	10,9	2802
Hochlaktation (100 d)	29	17,4 <i>10^a</i> <i>7,4^b</i>	5116 <i>2940^a</i> <i>2176^b</i>	10,2	2999

* >1 Laktation, 700 kg KGW, ** basierend auf der Trockenmasseaufnahme, ^a Anteil RDP, ^b Anteil UDP

2.1.3 Aminosäuregehalte in Grundfutterkomponenten

In Silagerationen mit Mais- und Luzernegrundlage wurden Methionin und Lysin vielfach als die beiden erstlimitierenden Aminosäuren identifiziert, wobei Maisrationen häufiger erstlimitierend im Lysingehalt und Luzernerationen häufiger erstlimitierend im Methioningehalt sind (Schwab et al. 1976, King et al. 1991, Polan et al. 1991, Schwab et al. 1992a, Armentano et al. 1997, Xu et al. 1998, NRC 2001). In Grassilagerationen ist Histidin die erstlimitierende Aminosäure (Vanhatalo et al. 1999). Die in Deutschland häufig als Grundfuttermittel eingesetzte Maissilage zeichnet sich zwar durch eine hohe Energiedichte aus, allerdings hat sie einen vergleichsweise geringen Proteingehalt, der für hochleistende Milchkühe nicht bedarfsdeckend ist. Die Ergänzung einer maishaltigen Ration mit einem Proteinausgleichsfutter ist somit erforderlich. Die hierzulande üblicherweise verwendeten Proteinfuttermittel Soja- und Rapsextraktionsschrot enthalten allerdings unterschiedliche Aminosäurekonzentrationen, wodurch es zu einem einseitigen Mangel an essenziellen Aminosäuren kommen kann. Sojaextraktionsschrot gilt mit Werten um 6,26 g Lysin pro 100 g Rohprotein als besonders lysinreich, hat dafür aber einen geringen Methioningehalt. Rapsextraktionsschrot hat mit Werten um 2,02 g Methionin pro 100 g Rohprotein im Vergleich zum Sojaextraktionsschrot eine deutlich höhere Methioninkonzentration (Kamphues et al. 2014). Im Vergleich dazu enthalten 100 g Mikrobenprotein 2,6 g Methionin und 8,7 g Lysin (GfE 2023). Zur optimalen Aminosäureversorgung empfehlen diverse Literaturangaben einen Methioningehalt zwischen 2,40 % (Cho et al. 2007) und 2,60 % (NRC 2001, Schröder 2008) des nXP, sowie einen Lysingehalt von 7,20 % (NRC 2001, Schröder 2008) des nXP. Daraus ergibt sich ein, nach aktuellen Empfehlungen beschriebenes, optimales Verhältnis von Lysin zu Methionin von 2,7:1 bis 3:1 (NRC 2001, Schröder 2008, Ordway et al. 2009).

2.1.4 Funktionen von Methionin und Lysin im Stoffwechsel

Methionin gehört zu den schwefelhaltigen, proteinogenen Aminosäuren (Brosnan und Brosnan 2006). Es besitzt eine unverzweigte, hydrophobe Seitenkette und als einzige Aminosäure eine Thioetherbindung (Ferla und Patrick 2014). Aufgrund seiner Codierung als Startcodon dient Methionin als Ausgangspunkt der Translation und ist damit fester Bestandteil der Proteinbiosynthese (Ferla und Patrick 2014). Die Metabolisierung von Methionin findet überwiegend in der Leber statt (Finkelstein 1990). Ein geringer Anteil wird auch im Gastrointestinaltrakt oxidiert (Lobley et al. 2003, Riedijk et al. 2007). Die Leber kann sich an die Metabolisierung der bereitgestellten Methioninmenge anpassen und besitzt einen empfindlichen Regulationsmechanismus, der entweder die Speicherung oder den Abbau von Methionin in Abhängigkeit von der Nährstoffversorgung ermöglicht (Finkelstein und Martin 1986). Über Trans-

methylierungs- und Transsulfurierungsreaktionen ist Methionin an einer Vielzahl verschiedener Stoffwechselprozesse beteiligt (Finkelstein 1990). Im ersten Schritt der Metabolisierung wird Methionin zu S-Adenosylmethionin (SAM) umgewandelt, ein für alle Methylierungsvorgänge wichtiger Methylgruppenspende (Finkelstein et al. 1988, Finkelstein 1990, Lobley et al. 1996). SAM kann im Cytosol und in den Mitochondrien der Leber gespeichert werden (Farooqui et al. 1983). Als Methylgruppenspende wirkt SAM auch bei der Methylierung der DNA, der RNA und von Proteinen und Lipiden mit (Chiang et al. 1996) und kann so die Genexpression beeinflussen (Van den Veyver 2002). Studien bei Masthähnchen zeigen eine Beteiligung von Methionin an der Immunglobulin-G-Synthese und der T-Zell-Antwort (Tsiagbe et al. 1987). Auch die Polyamidsynthese, die Spermidin- und Sperminherstellung sowie die Bereitstellung von Homocystein, das für den Metabolismus von intrazellulärem Folat und Cholin wichtig ist, wird durch Methionin beeinflusst. (Finkelstein 1990). Homocystein ist zudem die Vorstufe von Cystein, der einzigen anderen schwefelhaltigen Aminosäure und von Glutathion, einem allgemeinen Zellantioxidant (Mato et al. 2002). Durch die Synthese von Cholin trägt Methionin zusätzlich zur hepatischen Lipogenese bei (Emmanuel und Kennelly 1984). Zusätzlich führt Methionin zu einer Hochregulierung des Peroxisom-Proliferator-Rezeptors- α (Osorio et al. 2016), der für die Verstoffwechslung von langkettigen Fettsäuren verantwortlich ist (Bionaz et al. 2012). Gleichzeitig wirkt es bei der Synthese von LDL mit (Trams und Brown 1966) und regt die Sekretion von VLDL an (Auboiron et al. 1995).

Neben den positiven Effekten von Methionin werden im Rahmen einer Überversorgung allerdings auch nachteilige Wirkungen beschrieben. Bei Ratten und Mäusen zeigen sich negative Effekte durch eine exzessive Methioninzufuhr auf das Körperwachstum (Wretling 1950, Russell et al. 1952). Außerdem können histologische als auch makroskopische Veränderungen an Nieren, Pankreas, Leber und Milz festgestellt werden (Earle und Kendall 1942, Klavins und Peacocke 1964). Bei verschiedenen Tierarten werden darüber hinaus atheromatöse Gefäßveränderungen mit einer erhöhten Methioninzufuhr assoziiert (Rolland et al. 1995, Toborek et al. 1995, Ambrosi et al. 1999, Troen et al. 2003). In vitro Untersuchungen aus der Humanmedizin zeigen zudem, dass es bei Mäusen die an einer Hypermethioninämie leiden zu einer Polarisation von Makrophagen sowie zu einer Aktivitätssteigerung von induzierbaren Stickstoffmonoxid-Synthasen (iNOS) und einer erhöhten Freisetzung des Tumor-Nekrose-Faktor- α (TNF- α) kommt (Dos Santos et al. 2017). Ebenso wie eine Überversorgung mit Methionin kann ein Mangel schwerwiegende Auswirkungen haben. Ein anteiliger Methioninmangel kann durch Remethylierung von Homocystein ausgeglichen werden, vorausgesetzt es ist ausreichend Cystein vorhanden (Finkelstein et al. 1988, Finkelstein 1990).

Bei neonatalen Schweinen kommt es unter Methioninrestriktion zu einer jejunalen Zottenatrophie und daraus resultierendem vermindertem Epithelwachstum (Bauchart-Thevret et al. 2009b). Hühner mit Methioninmangel zeigen reduzierte Gewichtszunahmen und eine Vergrößerung der Leber (Carew et al. 2003).

Lysin gehört zu den basischen, proteinogenen Aminosäuren und besitzt je eine Aminogruppe in der α - und der ϵ -Position. Letztere ist für die Reaktivität von Lysin verantwortlich (Broquist 1982). Lysin ist zudem eine Aminosäure mit ketogenen Eigenschaften. Die Beteiligung von Lysin an verschiedenen Stoffwechselprozessen wurde bereits Ende der 90er-Jahre zusammengefasst. Nach der Verstoffwechslung in der Leber und der Beteiligung an der Carnitin-, Collagen- und Elastinsynthese werden Lysin weitere positive Eigenschaften im Wesentlichen bei der Prävention von Schlaganfällen, der diätetischen Aufwertung von Nahrungszubereitungen in Drittländern und dem Kalziumhaushalt zugeschrieben (Flodin 1997). Bei der Wundheilung fördert Lysin als unspezifisches Bindungsmolekül zwischen Zelle und Wachstumsfaktor sowohl die Zellproliferation als auch die Angiogenese (Datta et al. 2001) und ist auch an der Rekonstruktion von Gewebeproteinen beteiligt (Fellows und Lewis 1973). Studien an Kälbern und adulten Tieren bestätigen positive Effekte auf den Aufbau von Körpergewebe durch Lysin (Swanepoel et al. 2010, Morris und Kononoff 2020, Kong et al. 2021). Ähnliche Effekte sind auch beim Muskelaufbautraining im Leistungssport bei Menschen festzustellen (Datta et al. 2001).

2.1.5 Pansenstabile Methionin- und Lysinverbindungen

Mittlerweile existiert eine Vielzahl von Methioninprodukten namhafter Hersteller, bei denen durch unterschiedliche Methoden die Abbaubarkeit der Aminosäure im Pansen reduziert und somit deren Verfügbarkeit im Dünndarm erhöht wurde. Neben lipidhaltigen Hüllen oder pH-sensitiven Ummantelungen aus synthetischen Polymeren (Ordway 2005) kommen auch Methionin-Analoga zum Einsatz wie die Hydroxymethylthiobuttersäure (HMB) oder dessen Isopropylester (HMBi), der eine Hydroxy- anstelle einer Aminogruppe enthält (Ordway 2005, Ordway et al. 2009). Wird die Aminogruppe durch eine Acetylgruppe ersetzt, entsteht das Methioninderivat N-acetyl-L-Methionin (NALM) (Fagundes et al. 2018). Die chemische Bearbeitung reduziert den Abbau durch die Mikroben, wodurch es zu einem Anstieg der Methioninkonzentration im Dünndarm und im arteriellen Plasma kommt (Donkin et al. 1989, Overton et al. 1996, Berthiaume et al. 2001, Berthiaume et al. 2006). Dabei erreicht die Methioninkonzentration im Plasma innerhalb von zwölf Stunden post absorptionem ihren Höhepunkt und fällt dann innerhalb von sechs Stunden wieder auf den Ausgangswert zurück (Toledo et al. 2017). Je nach Verfahren werden geringfügige Unterschiede in der Bioverfügbarkeit der jeweiligen Methioninprodukte beschrieben (Blum et al. 1999, Koenig und

Rode 2001, Graulet et al. 2005). Die Eigenschaften des in dieser Studie verwendeten pansenstabilen Methioninproduktes können Tabelle 4 entnommen werden.

Tabelle 4: Produkteigenschaften des Methioninzusatzes (lt. Herstellerangaben)

MetaSmart® , Adisseo, Frankreich	
Aktivsubstanz	HMBi
chemische Behandlung	Isopropylester des Methionins
AS-Gehalt	96 % HMBi im pulverförmigen Produkt
Pansenschutz	50 %
Bioverfügbarkeit	50 %
Fütterungsempfehlung	20-40 g/Kuh/d*

* abhängig vom Laktationsstadium

Im Vergleich zu Methionin sind weniger pansenstabile Lysinprodukte auf dem Markt verfügbar. Dies liegt unter anderem an hohen Produktionskosten sowie den biochemischen Eigenschaften von Lysin, die eine stabile und verlässliche Herstellung einer Pansenstabilität erschweren (Swanepoel et al. 2010). In den meisten Studien mit pansenstabilem Lysin werden Produkte mit Matrixhüllen verwendet, um die Aminosäure vor dem Abbau zu schützen (Swanepoel et al. 2010, Morris und Kononoff 2020, Lobos et al. 2021). Nur selten werden andere Zusammensetzungen verwendet, die meist mit einer geringen Bioverfügbarkeit einhergehen (Malacco et al. 2022). Die Produkteigenschaften des verwendeten Lysininzusatzes sind in Tabelle 5 zusammengefasst.

Tabelle 5: Produkteigenschaften des Lysininzusatzes (lt. Herstellerangaben)

LysiGem™ , Kemin, USA	
Aktivsubstanz	L-Lysin
chemische Behandlung	Fettbeschichtung
AS-Gehalt	55 %
Pansenschutz	85 %
Bioverfügbarkeit	95 %
Fütterungsempfehlung	10-50 g/Kuh/d

2.1.6 Effekte von rohproteinreduzierten Rationen in der Wiederkäuerfütterung auf die Stickstoffeffizienz

Die Effizienz der Stickstoffverwertung ist bei Wiederkäuern sehr gering. Untersuchungen zufolge liegt sie bei 25-35 %, für die Milch- und Milcheiweißsynthese werden sogar nur 22 % des gefütterten Rohproteins verwendet (NRC 2001). Durch diese geringe Effizienz kommt es zu einer Akkumulation stickstoffhaltiger Verbindungen im Organismus und einer vermehrten

Abgabe von Stickstoffverbindungen an die Umwelt durch ausgeschiedene Stoffwechselendprodukte (Bach et al. 2000a, Frank und Swensson 2002, Broderick 2003, Kalscheur et al. 2006, Lee et al. 2012b, Lee et al. 2015). Bedarfsdeckende Proteingehalte im Futter können diesen Effekt verringern und zu einer Verbesserung der Stickstoffausnutzung führen (Leonardi et al. 2003, Kalscheur et al. 2006, Cyriac et al. 2008, Law et al. 2009, Arriola Apelo et al. 2014, Bahrami-Yekdangi et al. 2014, Laroche et al. 2022). Dies bestätigen sowohl Labor- (Lee et al. 2012b) als auch Feldversuche (Frank und Swensson 2002, Lee et al. 2015). Untersuchungen zeigen zudem, dass mit steigendem RDP-Gehalt die Stickstoffeffizienz linear abnimmt (Kalscheur et al. 2006, Agle et al. 2010). Häufig werden besonders zu Laktationsbeginn hohe Gehalte von bis zu 173 g Rohprotein/kg TM gefüttert, da diese die Futterraufnahme und Milchleistung unterstützen können (Law et al. 2009). Allerdings ist diese Mehrzulage an Rohprotein ab der zweiten Laktationshälfte nicht mehr notwendig und kann daher ohne Leistungseinbußen reduziert werden (Wu und Satter 2000, Law et al. 2009). Auch Untersuchungen in der Transitphase zeigen, dass die Fütterung von Rohproteingehalten über > 12 % an Mehrkalbskühe nicht zu einer Steigerung der Milchleistung in der Folgelaktation führt (Greenfield et al. 2000). Anders scheint die Wirkung bei Erstkalbstieren. Hier kann eine Steigerung der Milchleistung durch eine Mehrzulage an Rohprotein a.p. beobachtet werden (Santos et al. 2001).

Auch im Hinblick auf die Stickstoffeffizienz ist, besonders zu Laktationsbeginn, ein qualitativ hochwertiges AS-Profil vorteilhafter als die Zulage an Rohprotein (Bach et al. 2000a). Zusätzlich gibt es Belege dafür, dass bereits ein ausbalanciertes Aminosäuremuster in der Ration die Stickstoffeffizienz verbessern kann und dieser Effekt unabhängig vom Rohproteingehalt ist (Haque et al. 2012). Untersuchungen bestätigen auch, dass die im Futter enthaltenen Aminosäuren besser ausgenutzt werden, wenn der Anteil des metabolisierbaren Proteins reduziert ist (Lee et al. 2015). Dabei ist eine Reduktion des metabolisierbaren Proteins um 256 - 305 g/d ohne Leistungseinbußen möglich, wenn der Bedarf an verdaulichem Methionin und Lysin sowie der Energiebedarf gedeckt sind (Lee et al. 2015, Laroche et al. 2022). Versuche mit einer Methioninsupplementierung bestätigen eine Verbesserung der Stickstoffeffizienz je nach verwendetem Methioninprodukt um + 3,1 % (St-Pierre und Sylvester 2005) und + 2 % bei D,L-Methionin (Broderick und Muck 2009). Letzteres scheint die Stickstoffgehalte in Urin und Fäzes in einigen Studien allerdings weniger zu beeinflussen als andere Produkte (Berthiaume et al. 2001, Leonardi et al. 2003). Auch die peripartale Supplementierung von Methionin, und dessen Kombination mit Lysin, beeinflussen die Stickstoffeffizienz positiv (Socha et al. 2005, Elsaadawy et al. 2022a).

2.2 Effekte einer Supplementierung von pansenstabilem Methionin und Lysin auf die Milchleistung

2.2.1 Einfluss auf die Milchmengenleistung

Die Milchleistung wird durch eine Vielzahl von extrinsischen und intrinsischen Faktoren beeinflusst. Neben intrinsischen, wenig regulierbaren Einflüssen wie der Rasse und der Nutzungsrichtung gibt es extrinsische Faktoren, mithilfe derer die Milchleistung anteilig beeinflusst werden kann. Ein von außen steuerbarer Faktor ist die Optimierung der Ration in Hinblick auf die Qualität und Quantität der Rohkomponenten.

Pauschalisiert tragen hohe Rohproteingehalte zu einer hohen Milchleistung bei, während geringe Rohproteingehalte oft an einen Milchleistungsrückgang gekoppelt sind (Frank und Swensson 2002, Kalscheur et al. 2006, Broderick et al. 2009, Cabrita et al. 2011). Differenziert betrachtet lässt sich feststellen, dass es mit steigenden RDP-Gehalten zu einem linearen Anstieg der Milchleistung kommt (Kalscheur et al. 2006). Ist der RDP-Gehalt bedarfsdeckend, so kann eine Reduktion des RUP-Gehalts auf bis zu 15,6 % ohne Defizite in der Milchleistung realisierbar sein (Bahrami-Yekdangi et al. 2014). Eine Reduzierung des RDP-Anteils verursacht einen Substratmangel für die Pansenmikroben, gleichzeitig kann es, bedingt durch die Abnahme der Schmackhaftigkeit der Ration, zu einem Rückgang der Trockenmasseaufnahme kommen und somit zu einem Milchleistungsabfall (Cyriac et al. 2008). Auch der Zeitpunkt einer Rohproteinveränderung scheint wichtig für die Wirkung auf die Milchleistung zu sein. Eine Steigerung des Rohproteingehaltes auf 14,2 % a.p. führt nur bei Erstkalbstieren zu höheren Milchleistungen in der Folgelaktation, während Mehrkalbskühe eher mit einem Rückgang der Milchleistung reagieren (Santos et al. 2001). Ursächlich hierfür ist vermutlich der gegenüber Mehrkalbskühen erhöhte Proteinbedarf, der sich noch im Wachstum befindlichen Erstkalbstiere. Unabhängig von der Anzahl der Kalbungen führen hohe Rohproteingehalte während der ersten Laktationshälfte zu einer Steigerung der Milchleistung. Mit fortschreitender Laktation, und damit der stetigen Abnahme der Milchleistung, können hohe Rohproteingehalte diesen Effekt jedoch nicht mehr bewirken, sodass eine Einsparung an Rohprotein ohne Leistungseinbußen möglich ist (Wu und Satter 2000, Law et al. 2009). Somit kann auch die Menge an metabolisierbarem Protein reduziert werden, ohne dass die Milchleistung absinkt, vorausgesetzt der Bedarf an verdaulichen essenziellen Aminosäuren wie Methionin, Lysin und auch Histidin ist gedeckt (Laroche et al. 2022). In diesem Falle werden die essenziellen Aminosäuren besser ausgenutzt (Lee et al. 2015).

Die Ergebnisse zur Wirkung von Aminosäurezugaben auf die Milchleistung sind allerdings wenig einheitlich. Einige wenige Studien beschreiben eine Milchleistungssteigerung durch die Ergänzung von pansenstabilem Methionin innerhalb des ersten Laktationsdrittels in Rationen mit üblichen Rohproteingehalten (St-Pierre und Sylvester 2005, Junior et al. 2021). Gleiches

gilt für die alleinige Supplementierung mit pansenstabilem Lysin (Lobos et al. 2021). Mehrheitlich zeigt sich jedoch, dass die Fütterung von pansenstabilen Methioninprodukten während der Laktation nicht zu steigenden Milchmengen führt (Berthiaume et al. 2001, Noftsgger et al. 2005, Ardalan et al. 2021) und das auch bei rohproteinreduzierten Rationen keine Veränderung der Milchleistung durch eine Methioninzulage stattfindet (Leonardi et al. 2003, Fagundes et al. 2018, Tamura et al. 2018). Auch die kombinierte Ergänzung von pansenstabilem Methionin und Lysin während der Laktation in konventionellen Rationen hat keine Steigerung der Milchleistung bewirkt (Donkin et al. 1989). Gleiches gilt für Rationen mit reduzierten Proteingehalten (Piepenbrink et al. 1996, Lee et al. 2012a, Bahrami-Yekdangi et al. 2014, Lee et al. 2015).

Werden die Aminosäuren während der Transitphase ergänzt, zeigen sich hingegen positive Effekte in der darauffolgenden Laktation. Im Vergleich zu einer un-supplementierten Kontrollgruppe lässt sich besonders bei Mehrkalbskühen in unterschiedlichen Literaturstellen eine Steigerung der täglichen Milchmenge um + 1,9 kg (30,71 vs. 32,64 kg) (Ardalan et al. 2010), + 2,8 kg (41,8 vs. 44,6 kg) (Zhou et al. 2016b), + 3,4 kg (35,7 vs. 40,0 kg) (Osorio et al. 2013) bis hin zu + 4,1 kg (37,1 vs. 41,2 kg) in der Früh-laktation feststellen. Während der Hochlaktation kann es zu einem Milchleistungsanstieg um bis zu + 4,4 kg (45,8 vs. 50,2 kg) kommen (Batistel et al. 2017b).

Die kombinierte Fütterung von pansenstabilem Methionin und Lysin im peripartalen Zeitraum kann im Vergleich zu un-supplementierten Rationen zu einer Steigerung der Trockenmasse-aufnahme und damit wiederum zu einer Steigerung der Milchleistung p.p. beitragen (Xu et al. 1998, Elsaadawy et al. 2022b). Durch die gesteigerte Trockenmasseaufnahme kommt es gleichzeitig zu einem schnelleren Erreichen des Laktationshöhepunktes, da die Energie- und Nährstoffversorgung optimiert ist (Elsaadawy et al. 2022a). Ist die Trockenmasseaufnahme trotz Methionin- und Lysinergänzung hingegen unverändert, kommt es nicht zu einer Milch-leistungssteigerung. Ursächlich für die ausbleibende Steigerung der Trockenmasseaufnahme ist höchstwahrscheinlich die sensorische und biochemisch-physikalische Qualität der verwendeten Methioninprodukte und die Qualität der Rationszusammensetzung (Lee et al. 2019). Die peripartale Fütterung der beiden Aminosäuren führt gleichzeitig zu einer Optimierung der Aminosäureversorgung, wodurch die postpartalen Rohproteingehalte in der Ration gesenkt werden können, ohne dass ein erheblicher Milchleistungsrückgang entsteht (Socha et al. 2005).

2.2.2 Einfluss auf den Milchproteingehalt und die Milchproteinmenge

Die Synthese von Milchproteinen wird im Wesentlichen durch die Versorgung mit metabolisierbarem Protein und ausreichenden Mengen an Energie in der Ration beeinflusst. Da das metabolisierbare Protein die Summe aus mikrobiellem Protein und pansenstabilem Rohprotein ist, wird die Milcheiweißsynthese also maßgeblich durch die Fütterung von stickstoffhaltigen Verbindungen bestimmt. In vitro Untersuchungen am Zellmodell bestätigen, dass essenzielle Aminosäuren über die Phosphorylierung und damit Aktivierung der mTOR-Signalkaskade zu einer erhöhten Syntheserate des Milchproteins beitragen können (Moshel et al. 2006, Appuhamy et al. 2011, Duan et al. 2017, Gao et al. 2017). In vivo scheint dieser Stoffwechselweg allerdings nicht ausschließlich für den Milchproteinertrag verantwortlich zu sein (Toerien et al. 2010, Arriola Apelo et al. 2014). Eine langfristige Proteinsteigerung ist vielmehr das Ergebnis einer Aktivierung der Biogenese im endoplasmatischen Retikulum (Nichols et al. 2017). Auch die vermehrte Expression des Aminosäuretransporters LAT1 durch die essenzielle Aminosäure Methionin in vitro kann einen positiven Einfluss auf die Milcheiweißsynthese haben (Duan et al. 2017). In vivo ist allerdings die Transferleistung der Aminosäuren aus dem metabolisierbaren Protein in das Milcheiweiß nicht konstant und variiert je nach Angebot und Aminosäure (Doepel et al. 2004). So zeigt sich, dass bei einer Reduktion des Gehaltes an metabolisierbarem Protein in der Ration die essenziellen Aminosäuren besser ausgenutzt werden können und eine Proteinerhöhung in der Milch zwar möglich sein kann (Haque et al. 2012), aber nicht zwingend gegeben sein muss (Lee et al. 2015). Kommt es dennoch zu einer durch essenzielle Aminosäuren bedingten Aktivierung der mTOR-Signalkaskade und damit zu einer Erhöhung des Milcheiweißes, betrifft dies hauptsächlich die α - und β -Caseinfraktion (Donkin et al. 1989, Gao et al. 2017).

Die peripartale Methioninsupplementierung hat mehrheitlich positive Auswirkungen auf den Milchproteingehalt (Ordway et al. 2009, Osorio et al. 2013, Zhou et al. 2016b). Lediglich das Methioninanalogon HMB zeigt keine Veränderung der Milchproteingehalte (Piepenbrink et al. 2004). Besonders Mehrkalbskühe in der Früh-laktation können von einer peripartalen Methioninsupplementierung profitieren. Je nach Ausmaß kommt es durch den Anstieg der Trockenmasseaufnahme p.p. und der daraus resultierenden Milchleistungssteigerung zu einem Anstieg des Milchproteingehaltes (Osorio et al. 2013, Zhou et al. 2016b, Toledo et al. 2017, Batistel et al. 2017b).

Vorteilhaft für diese Tiere ist auch die kombinierte, peripartale Versorgung von pansenstabilem Methionin und pansenstabilem Lysin, bei der neben dem Milchproteingehalt auch die tägliche Milchproteinmenge ansteigt und über das gesamte erste Laktationsdrittel erhöht bleibt (Elsaadawy et al. 2022a).

Auch die Ergänzung beider Aminosäuren im späteren Laktationsverlauf kann eine Steigerung der Milchproteingehalte bewirken (Donkin et al. 1989, Robinson et al. 1995, Awawdeh 2016). Kommt es während dieses Zeitraumes gleichzeitig zu einer Reduktion des Rohproteingehaltes in der Ration, kann die Supplementierung mit Methionin und Lysin allerdings keine Verbesserung des Milchproteingehaltes bewirken (Piepenbrink et al. 1996, Arriola Apelo et al. 2014, Lee et al. 2015).

Auch die ausschließliche Supplementierung von pansenstabilem Methionin während der Laktation führt zu einem Anstieg des Milchproteingehalts (St-Pierre und Sylvester 2005, Benefield et al. 2009, Toledo et al. 2017, Junior et al. 2021). Dabei steigt der Milchproteingehalt linear mit zunehmender Methioninmenge im Futter (Pisulewski et al. 1996, Armentano et al. 1997, Socha et al. 2008, Ardalán et al. 2021). In sojabasierten Rationen ist der positive Effekt der Methioninzugabe auf den Milchproteingehalt unabhängig vom Rohproteingehalt der Ration (Leonardi et al. 2003). In Rationen auf Maisgrundlage kann eine Reduzierung des Rohproteingehaltes auf 15,6 % bei gleichzeitiger Zulage von pansenstabile Methioninverbindungen eine Steigerung der Milchproteingehalte verursachen (Chen et al. 2011). Ausbleibende positive Effekte auf die Milchproteingehalte durch eine Methioninsupplementierung während der Laktation können durch physiologische Begebenheiten und den tierindividuellen Energiehaushalt erklärt werden (Berthiaume et al. 2001).

Untersuchungen zeigen, dass besonders durch die Lysinzulage a.p. höhere Milchproteinmengen p.p. erreicht werden können, als durch eine peripartale oder ausschließlich postpartale Ergänzung (Fehlberg et al. 2020). Diese Annahme wird weiterhin durch Studien an laktierenden Kühen unterstützt, bei denen ebenfalls keine Veränderung des Milchproteins erkennbar war (Swanepoel et al. 2010). In beiden Studien führte der Anstieg der Lysinkonzentration allerdings zu einem Konzentrationsrückgang anderer Aminosäuren im Plasma, was auf eine vermehrte Absorption und Verstoffwechslung dieser Aminosäuren hindeutet. Weitere Vermutungen der Autoren legen einen direkten oder indirekten Einfluss auf den Muskelproteinstoffwechsel nahe, der durch das Wachstum des Konzeptus und der Milchdrüse einen erhöhten Lysinbedarf erklären könnte. Stabilere Körpergewichte nach antepartaler Lysinsupplementierung sind hinweisend für den erhöhten muskulären Lysinbedarf (Fehlberg et al. 2020).

Die Wirkung von Lysin scheint weiterhin auch von der Rationsgestaltung abhängig zu sein. So kann durch Zugabe von pansenstabilem Lysin in Rationen auf Maisbasis die Milchproteinmenge zwar signifikant im Vergleich zu unsupplementierten Rationen erhöht werden, sie ist allerdings nicht vergleichbar mit den Milchproteinmengen einer unsupplementierten Ration auf Sojaproteinbasis (Lobos et al. 2021).

2.2.3 Einfluss auf die Milchfettgehalte und Milchfettmenge

Die Effekte einer peripartalen Supplementierung mit Methionin und Lysin sind variabel. Signifikante Erhöhungen der Milchfettgehalte durch die peripartale Ergänzung beider Aminosäuren sind möglich (Xu et al. 1998, Elsaadawy et al. 2022a), bei einem fehlenden Anstieg der Trockenmasseaufnahme allerdings nicht zu beobachten (Lee et al. 2019). Die meisten Effekte nach peripartaler Ergänzung werden in der Frühlaktation beobachtet, da hier der Bedarf der beiden Aminosäuren am höchsten zu sein scheint (Socha et al. 2005). Auch die Kombination beider Aminosäuren ist hier vorteilhafter als eine alleinige Ergänzung von Methionin oder Lysin (Elsaadawy et al. 2022b). Dabei ist der Beginn der Supplementierung direkt p.p. ausreichend, um höhere Milchfettgehalte zu erzielen, ohne dass bereits a.p. Aminosäuren eingesetzt werden müssen (Elsaadawy et al. 2022b). Zusätzlich kann eine gleichzeitige Rohproteineinsparung vorgenommen werden, ohne Verluste beim Milchfettgehalt zu erleiden (Socha et al. 2005).

Wird ausschließlich Methionin peripartal zugefüttert, führt dies vor allem zu Beginn der Laktation zu Zunahmen der täglich Milchfettmengen (Overton et al. 1996, Osorio et al. 2013, Batistel et al. 2017b). Je nach verwendetem Methioninprodukt sind die positiven Effekte zwischen der ersten und dritten Laktationswoche messbar (Osorio et al. 2013). Einige Studien belegen ausbleibende Effekte durch peripartale Methioninfütterung (Piepenbrink et al. 2004, Ordway et al. 2009, Zhou et al. 2016b). Grund dafür sind unter anderem die verwendeten Methioninprodukte sowie deren Konzentrationen und die tierindividuelle Stoffwechsellage.

Steigt die Trockensubstanzaufnahme durch die Zugabe von pansenstabilem Lysin an, kommt es zu einer Mehraufnahme an Energie, die wiederum die Acetatproduktion im Pansen stimuliert und so zu einer Zunahme des Milchfetts führen kann (Fehlberg et al. 2020). Auch die ergänzende Fütterung einer oder beider Aminosäuren während der Laktation erzielt unterschiedliche Ergebnisse. Theoretisch soll es durch die Aufnahme von Methionin zu einer erhöhten Bereitstellung von Fettsäuren am Euter und dadurch zu einem Anstieg des Milchfetts kommen (Fagundes et al. 2018). Ob eine Methioninergänzung während der Laktation tatsächlich Wirkung zeigt, hängt von der Länge des Supplementierungszeitraumes, der Rationsgrundlage und der Menge des verfütterten Methionins ab (Benefield et al. 2009). Auch die Laktationszahl scheint Einfluss auf die Wirkung der Methioninsupplementierung zu nehmen. So profitieren besonders Mehrkalbskühe von einer postpartalen Methioninzulage durch Zunahme der Milchfettgehalte und Milchfettmengen, wenn auch nicht immer signifikant (Toledo et al. 2017, Junior et al. 2021). Auch der Zeitpunkt, zu dem mit der Supplementierung begonnen wird, beeinflusst den Erfolg. Je früher mit einer Methioninsupplementierung begonnen wird, desto größer scheint die Wirkung auf das Milchfett zu sein (Huber et al. 1984).

Dabei wirkt sich auch ein reduzierter Rohproteingehalt der Ration nicht nachteilig auf das Milchfett aus, wenn Methionin zugefüttert wird (Chen et al. 2011).

Unabhängig vom Rohproteingehalt werden ausbleibende Effekte nach kombinierter Supplementierung von Methionin und Lysin während der Laktation beschrieben (Donkin et al. 1989, Lee et al. 2015). Auch die alleinige Supplementierung von pansenstabilem Lysin scheint sich eher nachteilig auf den Milchfettgehalt und die Milchfettmengen auszuwirken (Swanepoel et al. 2010).

2.2.4 Einfluss auf die Milchharnstoffkonzentration

Im Stoffwechsel anfallender Stickstoff wird unter anderem über die Milch ausgeschieden. Während im deutschen Sprachgebrauch von der Milchharnstoffkonzentration gesprochen wird, verwendet die angloamerikanische Literatur hingegen den Begriff *Milk Urea Nitrogen* (MUN). Die Milchharnstoffkonzentration wird maßgeblich durch den Rohproteingehalt des Futters beeinflusst (Broderick et al. 2008, Chen et al. 2011, Arriola Apelo et al. 2014, Lee et al. 2015, Giallongo et al. 2016) und steht in enger Korrelation zu der Stickstoffkonzentration im Blut (Baker et al. 1995). Sie gilt daher als verlässlicher Indikator zur Vorhersage der Stickstoffausscheidung über den Urin (Nousiainen et al. 2004).

Untersuchungen zeigen, dass eine peripartale Supplementierung mit Methionin und Lysin einen deutlich größeren Effekt auf die Reduktion der MUN-Konzentration als eine rein postpartale Supplementierung oder die Ergänzung mit nur einer Aminosäure (Elsaadawy et al. 2022a, Elsaadawy et al. 2022b) hat. Die Ergänzung mit pansenstabilem Lysin hat im Vergleich zur Methioninsupplementierung die Milchharnstoffkonzentration weniger deutlich reduziert (Elsaadawy et al. 2022b). Ausbleibende Effekte nach peripartaler Methionin- und Lysin-supplementierung werden ebenfalls beschrieben (Lee et al. 2019).

Die alleinige Supplementierung von Methionin während des peripartalen Zeitraumes verändert die MUN-Konzentration nicht (Sun et al. 2016, Zhou et al. 2016b, Batistel et al. 2017b, Toledo et al. 2021). Auch längerfristige Untersuchungen bis zur Laktationsmitte zeigen keine Veränderungen der Harnstoffausscheidung über die Milch (Ordway et al. 2009). Im Vergleich zu unsupplementierten Kontrollgruppen zeigen Studien sogar einen Anstieg der MUN-Konzentration nach peripartaler Methioninergänzung (Kudrna et al. 2009).

Untersuchungen mit pansenstabilem Lysin in Kombination mit energiereichen Rationen (6,4 MJ NEL/kg TM) a.p. zeigen einen Rückgang der MUN-Konzentration im Vergleich zu Rationen mit geringerem Energiegehalt (5,73 MJ NEL/kg TM) unabhängig davon, ob Lysin zugegeben wurde oder nicht. Durch die erhöhte Energieversorgung kommt es zu einer Stimulation des Pansenstoffwechsels, wodurch der Einbau von Ammoniak und Aminosäuren

in das mikrobielle Protein gefördert wird. Gleichzeitig wird die Aminosäure-desaminierung und Harnstoffsynthese reduziert und damit die MUN-Konzentration gesenkt (Girma et al. 2019). Untersuchungen an laktierenden Tieren zeigen, dass die Reduktion des Rohproteingehaltes im Hinblick auf die MUN-Konzentration von größerer Bedeutung als die Ergänzung mit Methionin und Lysin ist. Dies belegen auch diverse Studien, bei denen keine Veränderung der MUN-Konzentration nach Zugabe beider Aminosäure zu proteinarmen Rationen beobachtet wurde (Lee et al. 2012a, Arriola Apelo et al. 2014, Lee et al. 2015, Van den Bossche et al. 2023). Bestätigt wird diese Annahme weiter durch Versuche mit ausbleibender Wirkung einer Methionin- und Lysinsupplementierung in Rationen mit nicht reduzierten Rohproteingehalten (Colin-Schoellen et al. 1995, Abreu et al. 2023). Ist dennoch eine positive Wirkung durch die Aminosäurefütterung feststellbar, so ist dies eher auf die Methioninwirkung als auf die Lysinwirkung zurückzuführen (Wang et al. 2010).

2.2.5 Einfluss auf den Milchlaktosegehalt und die Milchlaktosemenge

Die Synthese des aus Glukose und Galaktose bestehenden Disaccharides Laktose erfolgt im Golgi-Apparat der Laktozyten der Milchdrüse. Über Exozytose erreicht die Laktose im Anschluss das Alveolarlumen. Für die Synthese von Laktose ist das Vorhandensein von Glukose essenziell (von Engelhardt 2010). Der native Laktosegehalt in der Milch liegt, je nach Laktationsstadium, bei 5 % (Krömker 2006) bzw. im Mittel bei 48 g/l (4,8 %) (von Engelhardt 2010). Um ein Kilogramm Milch zu synthetisieren, werden rund 62 g Glukose benötigt (Kronfeld et al. 1968). Steigt die Laktosesynthese, so kommt es aufgrund der osmotischen Gradienten gleichzeitig zu einer Steigerung der Milchmenge.

Die Laktosegehalte zeigen sich überwiegend unbeeinflusst durch eine peripartale Supplementierung mit Methionin (Kudrna et al. 2009, Zhou et al. 2016b, Batistel et al. 2017b, Toledo et al. 2021), Lysin (Girma et al. 2019, Fehlberg et al. 2020) oder beiden Aminosäuren (Lee et al. 2019). Eine signifikante Steigerung der Laktosegehalte im Vergleich zu Kontrollgruppen ist nach einer Zunahme der Trockenmasseaufnahme und einer Milchmengensteigerung zu beobachten (Elsaadawy et al. 2022b). Anders scheint die Auswirkung der Aminosäureergänzung auf die täglichen Laktosemengen zu sein. Hier wird sowohl nach der peripartalen Supplementierung von Methionin (Batistel et al. 2017b) als auch durch eine Lysin-supplementierung (Fehlberg et al. 2020) eine signifikante Erhöhung der Laktosemenge festgestellt. Sowohl peripartal gefüttertes Methionin als auch Lysin steigern die Laktosemenge gleichermaßen, eine Maximierung wird allerdings nur durch die Kombination beider Aminosäuren erreicht (Elsaadawy et al. 2022b). Dabei scheint besonders der Zeitpunkt der Supplementierung entscheidend, da im Vergleich die peripartale Supplementierung signifikant höhere Laktosemengen hervorruft als eine postpartale Ergänzung (Elsaadawy et al. 2022a).

Ähnlich wie auch beim Laktosegehalt beschreiben einige Studien ausbleibende Effekte auf die tägliche Laktosemenge nach peripartaler Aminosäureergänzung (Kudrna et al. 2009, Girma et al. 2019, Toledo et al. 2021).

Die Supplementierung beider Aminosäuren während der Laktation hat mehrheitlich keinen Einfluss auf den Laktosegehalt und die Laktosemenge der Milch (Wang et al. 2010, Lee et al. 2015, Awawdeh 2016, Pereira et al. 2017). Auch hier werden Ausnahmen beschrieben (Robinson et al. 1995).

2.2.6 Einfluss auf die Kolostrumqualität

Nur wenige Studien haben die Wirkung von Methionin und Lysin auf das Kolostrum untersucht. Unterschiedliche Ergebnisse in Bezug auf die Kolostrumqualität lassen sich oft auf die Verwendung verschiedener Methioninprodukte zurückführen. So kommt es nach Verwendung von mit Ethylcellulose ummanteltem Methionin nicht zu einer Veränderung der Kolostrumqualität, aber zu einer Konzentrationserhöhung von Asparagin und verschiedener langkettiger Fettsäuren im Kolostrum (Alharthi et al. 2018). Methioninprodukte mit pH-sensitivem Coating haben hingegen keine Wirkung auf die Konzentration von freien Aminosäuren (Jacometo et al. 2017). Auch im Hinblick auf den Zeitpunkt und die Aminosäuren zeigen sich unterschiedliche Ergebnisse in der Literatur. Bei Mehrkalbskühen führt eine peripartale Supplementierung mit pansenstabilem Methionin und Lysin zu einer signifikanten Verbesserung der Kolostrumqualität (Wang et al. 2021). Verglichen mit einer Kontrollgruppe kann diese Qualitätssteigerung auch durch die Einzelsupplementierung der beiden Aminosäuren hervorgerufen werden. Andere Untersuchungen zur peripartalen Methioninergänzung zeigen hingegen keine Veränderung der Kolostrummenge oder Qualität (Jacometo et al. 2017, Alharthi et al. 2018). Auch die Supplementierung von pansenstabilem Lysin beeinflusst die Menge des Kolostrums und dessen Inhaltsstoffe nicht (Thomas et al. 2022).

2.3 Auswirkungen einer Supplementierung von pansenstabilem Methionin und Lysin auf die Fruchtbarkeit

2.3.1 Einfluss auf Faktoren der Zwischentragezeit

Die Zwischentragezeit beschreibt den Zeitraum zwischen zwei Trächtigkeiten. Beginnend mit der Kalbung umfasst sie die erste und alle folgenden Ovulationen p.p. sowie alle Besamungen, die für eine erneute Trächtigkeitsentstehung notwendig sind.

Studien zeigen verschiedene Effekte einer Aminosäuresupplementierung auf die Brunst, die ersten Ovulationen post partum sowie die Entstehung und Erhaltung der frühen Trächtigkeit. Geht die Aminosäuresupplementierung mit einer Steigerung der Trockenmasseaufnahme einher, kommt es zu einem Ausgleich der negativen Energiebalance und Verbesserung der

Stoffwechsellage post partum. Eine signifikant geringere Zeitspanne bis zur ersten Besamung, Verdeutlichung der Brunstsymptome und erhöhte Konzeptions- und Trächtigkeitsraten werden nach peripartaler Fütterung von Methionin und Lysin beschrieben, die genauen physiologischen Wirkungsprozesse sind aber bisweilen ungeklärt (Elsaadawy et al. 2022a). Eine Größenzunahme des Embryos nach peripartaler Supplementierung von Methionin an die Kuh wird beschrieben und könnte ursächlich für die erhöhte Überlebenschance sein (Toledo et al. 2017). Zusätzlich können die Anzahl der nicht tragenden Tage und die Besamungsanzahl signifikant reduzieren (Ardalan et al. 2010) und die Konzeptionsrate verbessert (Spiekers und Pfeffer 1990) werden durch eine peripartale Methioninsupplementierung. Auch eine Fütterung von Methionin ab der Kalbung kann zu einer signifikanten Verbesserung der Brunsterkennung, verringerte die Anzahl der nicht tragenden Tage und damit das Kalbeintervall (Nikkhah et al. 2013).

Nur wenige Studien konnten keine oder nur wenig Veränderung bestimmter Parameter nach peripartaler Methionin- und/oder Lysinsupplementierung feststellen (Polan et al. 1991, Acosta et al. 2017, Guadagnin et al. 2022).

2.3.2 Einfluss auf die Embryonalentwicklung und die frühembryonale Mortalität

Die Sensitivität des perikonzeptionellen und frühen präimplantativen Zeitraumes auf nutritive Einflüsse ist hinreichend bekannt. Studien zur Follikelreifung und Embryonalentwicklung basieren häufig auf der Supplementierung von Methionin während des peripartalen Abschnittes. In vitro-Untersuchungen zeigen, dass der Methioninbedarf für die Entwicklung des perimplantativen Embryos zwischen 14 - 21 $\mu\text{mol/l}$ liegt (Bonilla et al. 2010). Obwohl die Methioninkonzentration in der Eileiter- und Uterusflüssigkeit abhängig vom Zyklustag schwankt, ist sie jedoch durchgängig höher als die Methioninkonzentration im Blutplasma und deckt den Bedarf des Embryos an Methionin (Hugentobler et al. 2007). Ein Methioninmangel stellt somit üblicherweise keinen Grund für die embryonale Mortalität dar (Bonilla et al. 2010). Trotzdem sei auf die unverzichtbare Rolle von Methionin während des periimplantativen Zeitraumes hingewiesen. Wird die tragende Kuh mit Methionin gefüttert, kommt es zu einer Konzentrationserhöhung von Methionin in der Follikelflüssigkeit (Acosta et al. 2017). Auch in vitro Versuche belegen, dass Methionin die Entwicklung der Oozyte zur Blastozyste sowie den sogenannten Vorgang des *hatching and expanding* der Blastozyste unterstützt (Bonilla et al. 2010). Ein Methioninmangel zu diesem Zeitpunkt führt somit zu einer Beeinträchtigung des Überganges vom Morula- zum Blastozystenstadium und führt durch eine Hypomethylierung der DNA zu einer veränderten Genexpression und einer Störung der Blastozystenentwicklung (Ikeda et al. 2012). Zusätzlich weisen in vitro Embryonen, die ohne Methionin kultiviert werden, einen höheren Glutathiongehalt auf (Bonilla et al. 2010).

Die maternale Methioninsupplementierung im perikonzeptionellen Zeitraum hat zusätzlich Auswirkungen auf die fötale Expression von Genen der Embryonalentwicklung und des Immunsystems. Unklar bleibt jedoch, ob die Methylierung der DNA zu diesem Zeitpunkt einen positiven oder tendenziell negativen Einfluss auf die weitere Entwicklung nimmt (Penagaricano et al. 2013). Studien zeigen zudem, dass durch die Methioninsupplementierung die Synthese von Steroidhormonen im Follikel gefördert werden kann (Acosta et al. 2017).

Zusätzlich wurde *in vitro* nachgewiesen, dass es durch die peripartale Methioningabe zu einer Lipidakkumulation in den Embryonen kommt, die als endogene Energiereserve die Überlebenswahrscheinlichkeit verbessert (Acosta et al. 2016). *In vivo* sind die Embryonen von Mehrkalbskühen, die eine peripartale Methioninversorgung erhielten, deutlich größer als die Embryonen von Erstkalbstieren (Toledo et al. 2017). Diese Mehrkalbskühe erleiden außerdem weniger Trächtigkeitsverluste bis zum 61. Trächtigkeitstag (Toledo et al. 2017).

2.3.3 Einfluss auf das neonatale Kalb

Eine Verbesserung der maternalen Methioninversorgung vor der Kalbung kann durch verschiedene Mechanismen Einfluss auf verschiedene physiologische Stoffwechsel- und Adaptionsvorgänge des Kalbes nehmen und zu einer besseren und schnellen Anpassung an das extrauterine Leben beitragen (Jacometo et al. 2016, Jacometo et al. 2017, Jacometo et al. 2018).

Kälber, deren Mütter peripartal mit Methionin gefüttert wurden, zeigen höhere Geburtsgewichte und bessere Tageszunahmen (Batistel et al. 2017a, Alharthi et al. 2018). Diese positiven Effekte sind auch nach der kombinierten Supplementierung mit pansengeschütztem Methionin und Lysin (Wang et al. 2021) und auch bei der alleinigen Supplementierung von pansenstabilem Lysin (Thomas et al. 2022) zu beobachten. Lediglich eine Studie konnte durch die Fütterung von Methionin und Lysin keine Veränderung des Geburtsgewichtes feststellen (Lee et al. 2019). Ursache für höhere Körpergewichte ist eine Verbesserung der Nährstoffversorgung im Uterus. Die Untersuchungen von Placentomen methioninsupplementierter Mutterkühe zeigte eine Veränderung von Genen des mTOR-Signalweges, der mit einer Verbesserung des uteroplacentären Transportes von Aminosäuren und Glukose einhergeht (Batistel et al. 2017a). Auch ein Trend zu einer größeren NDF- und ADF-Verdaulichkeit zeigt sich bei Kälbern von methioninsupplementierten Kühen (Silva et al. 2021). Die maternale Fütterung von pansenstabilem Lysin zeigt außerdem einen Trend zu einer höheren Trockenmasseaufnahme der Kälber (Thomas et al. 2022).

Auch die Körpergröße zum Zeitpunkt scheint durch die maternale Methioninsupplementierung beeinflusst zu werden. So haben Kälber innerhalb der ersten Lebenswochen eine signifikant höhere Hüft- und Widerristhöhe, wenn die Mutterkühe mit einer Ration mit erhöhtem

Methioningehalt gefüttert wurden (anteilig 1,73 % vs. 2,30 % im metabolisierbaren Protein) (Alharthi et al. 2018). Ursächlich hierfür sind Veränderungen in der Glukoneogenese, der Glukoseaufnahme und Freisetzung sowie Veränderungen in der hepatischen Insulinsensitivität und der Fettsäureoxidation, die für eine bessere Anpassung an die Stoffwechseleanforderungen des extrauterinen Lebens verantwortlich sind (Jacometo et al. 2016). Da diese Effekte durch Methionin langfristig Wirkung zeigen, ist davon auszugehen, dass diese Art der Stoffwechselprogrammierung bereits in utero stattfindet (Alharthi et al. 2018). Zusätzlich zeigen Blutuntersuchungen einen Trend für höhere Cholesterin-, NEFA- und Glukosekonzentrationen (Jacometo et al. 2016, Alharthi et al. 2018, Silva et al. 2021) bei Kälbern, deren Mütter mit pansenstabilem Methionin gefüttert wurden. Eine erhöhte Plasma-insulinkonzentration der Kälber weist auf eine bessere systemische Insulinsensitivität durch die maternale Methioninergänzung hin (Jacometo et al. 2016). Ein höherer Totalproteingehalt im Serum sowie eine höhere IgG-Konzentration im Plasma der Kälber kommen nach maternaler Supplementierung beider Aminosäuren vor (Wang et al. 2021). Aber auch die alleinige Supplementierung von pansenstabilem Lysin führt zu weniger medizinischen Behandlungen und geht mit prozentual mehr phagozytotischen Neutrophilen im Kälberblut einher (Thomas et al. 2022). Eine Reduktion reaktiver Sauerstoffspezies und ein Trend zur Verringerung der Coeruloplasminkonzentration im Blut der Kälber deuten zusätzlich auf eine Reduktion des metabolischen Stresslevels hin, wenn Methionin an deren Mutterkühe gefüttert wurde (Jacometo et al. 2016). Dies unterstützt auch die Untersuchung von Leberbiopsien, die nach Methioninsupplementierung Veränderungen im Methionin-, Cholin- und Homocysteinmetabolismus zeigen und durch eine gestiegene Synthese von Taurin und Glutathion für eine bessere Adaption und Regulation von metabolischem Stress sorgen (Jacometo et al. 2017). Weiterhin kommt es durch die antepartale Methioninzufuhr zu einer Veränderung der Häufigkeit bestimmter Botenstoffe, die an Entzündungsprozessen beteiligt sind. Während maternal reduzierte Haptoglobinkonzentrationen im Serum festgestellt werden können, zeigt sich bei den Kälbern unter anderem eine geringere Konzentrationen des Tumor-Nekrose-Faktors- α (TNF- α) und eine höhere Konzentration an Enzymen, die für die Bereitstellung des intrazellulären Antioxidans Glutathion bedeutend sind (Jacometo et al. 2018).

2.4 Auswirkungen einer Supplementierung mit pansenstabilem Methionin und Lysin auf die Tiergesundheit

2.4.1 Einfluss auf die Trockenmasseaufnahme

Wie bei Monogastriern spielen Aminosäuren eine entscheidende Rolle bei der Regulation der Futteraufnahme (Lee et al. 2012a). Einige Studien belegen eine Steigerung der Trockenmasseaufnahme durch peripartale Methioninsupplementierung sowohl ante partum (Alharthi

et al. 2018) als auch im gesamten peripartalen Zeitraum (Zhou et al. 2016b, Jacometo et al. 2017). Batistel et al. (2017b) beschreiben eine signifikante Zunahme der täglichen Trockenmasseaufnahme von + 1,2 kg a.p. und von + 1,7 kg während der Frischmelkerphase durch eine peripartale Fütterung von anteilig 2,3 % pansenstabilem Methionin im metabolisierbaren Protein. In der Hochlaktation hat die tägliche Trockenmasseaufnahme signifikant um + 1,5 kg zugenommen. Allerdings scheint der positive Effekt a.p. wenig reproduzierbar, denn einige Autoren beschreiben eine Steigerung der Trockenmasseaufnahme nach peripartaler Methioninsupplementierung hauptsächlich als postpartales Phänomen (Ordway et al. 2009, Osorio et al. 2013, Abdelmegeid et al. 2018). Im Gegensatz dazu konnten einige Studien keine Veränderung in der Trockenmasseaufnahme nach peripartaler Methioninsupplementierung feststellen (Overton et al. 1996, Piepenbrink et al. 2004, Acosta et al. 2016, Acosta et al. 2017, Toledo et al. 2021). Auch das verwendete Supplement kann Einfluss auf die Quantität der Trockenmassesteigerung nehmen (Ordway et al. 2009).

Die peripartale Supplementierung von pansenstabilem Lysin führt zu einer Steigerung der postpartalen Trockenmasseaufnahme (Girma et al. 2019, Fehlberg et al. 2020, Guadagnin et al. 2022). Ähnlich wie bei der Methioninsupplementierung zeigt sich a.p. allerdings keine Veränderung der Trockenmasseaufnahme (Guadagnin et al. 2023).

Die kombinierte Ergänzung von pansenstabilem Methionin mit Lysin im peripartalen Zeitraum bewirkt ebenfalls eine Steigerung der postpartalen Trockenmasseaufnahme (Elsaadawy et al. 2022a). Allerdings zeigen verschiedene Studien auch ausbleibende Effekte nach peripartaler Methioninsupplementierung (Acosta et al. 2016, Acosta et al. 2017) und nach der kombinierten Ergänzung mit pansenstabilem Lysin (Lee et al. 2019).

Eindeutig sind die Ergebnisse im Hinblick auf die Supplementierung während der Laktation. Hier kann weder die alleinige Ergänzung von Methionin oder seinen Derivaten (Donkin et al. 1989, Noftzger et al. 2005, Chen et al. 2011, Fagundes et al. 2018), noch die alleinige Fütterung von pansenstabilem Lysin eine Veränderung der Trockenmasseaufnahme bewirken (Swanepoel et al. 2010, Malacco et al. 2022). In Rationen mit reduzierten Rohproteingehalten kommt es weder nach der Supplementierung von Methionin allein (Chen et al. 2011) noch durch die Kombination mit Lysin zu einer Veränderung der Trockenmasseaufnahme (Piepenbrink et al. 1996, Leonardi et al. 2003, Lee et al. 2015).

Es zeigt sich jedoch im Vergleich, dass in proteinreduzierten Laktationsrationen eine durch die Proteinreduktion herbeigeführte rückläufige Trockenmasseaufnahme durch die Zugabe von pansenstabilem Methionin und Lysin verringert werden kann (Lee et al. 2012a). Darüber hinaus kann bei einer bedarfsdeckenden Methionin- und Lysinversorgung und ausreichend pansenverdaulichem Protein in der Ration eine Steigerung der Trockenmasseaufnahme trotz

einer Reduktion der Rohproteinfraktion und der RUP-Fraktion möglich sein (Bahrami-Yekdangi et al. 2014).

2.4.2 Einfluss auf das Körpergewicht und den Body Condition Score

Das Körpergewicht einer Milchkuh unterliegt im Laktations- und Tagesverlauf teils enormen Schwankungen. Der Body Condition Score (BCS) ist eine subjektives Kriterium zur Beurteilung der Körperkondition, der durch Edmonson bereits 1989 entwickelt wurde und seither praktische Anwendung findet (Edmonson et al. 1989). Ob und in welchem Maße eine singuläre oder kombinierte Aminosäuresupplementierung Einfluss auf das Körpergewicht und den BCS nimmt, hängt nicht allein von der Zufütterung ab, sondern kann auch von dem Einzeltier und einer Vielzahl tierindividueller Faktoren beeinflusst werden.

Durch die Förderung der täglichen Trockenmasseaufnahme kann eine peripartale Ergänzung mit Methionin und Lysin vor allem langfristig eine Reduktion des Körpergewichts verhindern und somit im Verlauf der anschließenden Laktation zu stabilen BCS-Noten beitragen (Elsaadawy et al. 2022a). Im Vergleich zu einer alleinigen Methionin- oder Lysinsupplementierung führt die Kombination beider Aminosäuren zu höheren BCS-Noten (Elsaadawy et al. 2022b). Bleibt eine Steigerung der TM-Aufnahme aus, kommt es nicht zu einer Veränderung des Körpergewichts oder der BCS-Noten (Lee et al. 2019). Auch bei einer Proteinreduktion lassen sich keine Veränderungen des Körpergewichts und des BCS feststellen, wohingegen eine gleichzeitige Ergänzung mit pansenstabilem Methionin und Lysin zu höheren BCS-Noten führt (Socha et al. 2005).

Eine peripartalen Methioninergänzung zeigt mehrheitlich keine Veränderung des Körpergewichts und der BCS-Bewertung (Zhou et al. 2016b, Clements et al. 2017, Batistel et al. 2017b, Alharthi et al. 2018). Ausnahmen in Bezug auf die Art der Methioninquelle scheinen allerdings möglich zu sein. Im Vergleich zu pansenstabilem Methionin wird durch HMBi eine Erhöhung des BCS post partum im Allgemeinen sowie eine Steigerung des Körpergewichts post partum speziell bei Erstkalbskühen beobachtet (Ordway et al. 2009). Ante partum hingegen bewirken HMBi und pansenstabiles Methionin keine Veränderung des Körpergewichts oder dem BCS (Ordway et al. 2009, Osorio et al. 2013).

Auch wenn ante partum keine Veränderung des Körpergewichts durch Lysin feststellbar ist, so führt die antepartale Supplementierung, ähnlich wie die von Methionin, zu höheren Körpergewichten post partum bei gleichzeitiger Steigerung der Trockenmasseaufnahme (Fehlberg et al. 2020, Guadagnin et al. 2022). Gleichzeitig werden höhere BCS-Noten nach einer postpartalen Lysinsupplementierung beschrieben. Andere Studien finden keinen Einfluss einer peripartalen Lysinsupplementierung auf den BCS (Girma et al. 2019). Gleiches gilt für

die Lysinergänzung während der Laktation (Swanepoel et al. 2010, Robinson et al. 2010b). Grund hierfür sind oftmals nur geringe Veränderungen der Trockenmasseaufnahme.

Die gemeinsame Supplementierung von pansenstabilem Methionin und Lysin während der Laktation hat keinen Einfluss auf den BCS (Wang et al. 2010, Abreu et al. 2023).

2.4.3 Einfluss auf das Pansenmikrobiom und den Pansenstoffwechsel

Trotz der chemischen Behandlung kommt es zur Freisetzung einer gewissen Menge an Methionin und Lysin aus der pansenstabilen Verbindung. Diese freie Menge an Methionin hat im Allgemeinen keinen nachteiligen Effekt auf die Häufigkeit der Pansenbakterien (Abdelmegeid et al. 2018). Jedoch gibt es Auswirkungen auf die ruminalen Syntheseprozesse. Während die Supplementierung mit NALM keine Veränderung der Konzentration und der Zusammensetzung des Profils an flüchtigen Fettsäuren zeigt (Fagundes et al. 2018), wird in vitro mit steigender HMBi-Konzentrationen ein linearer Anstieg der Isobutyrat- und Propionatkonzentration und nach D,L-Met-Ergänzung ein Anstieg der Acetat- und ein Rückgang der Isobutyrat- und Butyratkonzentration beschrieben, verglichen mit HMB (Noftsker et al. 2003b). Allerdings muss eine Veränderung des Fettsäureprofils durch HMB, HMBi oder DL-Met nicht immer gegeben sein (Noftsker et al. 2005, Lee et al. 2015). Ein signifikanter Anstieg von Acetat wird auch nach Methionin- und Lysinsupplementierung in Kombination mit Rohproteinreduzierung bei Mastbullen beschrieben (Zou et al. 2023). Die Supplementierung beider Aminosäuren während der Laktation, auch in Rationen mit defizitären Proteingehalten, hat hingegen keine Veränderungen des Fettsäureprofils zur Folge (Robinson et al. 2000, Lee et al. 2015).

Der ruminale pH-Wert unterliegt mehrheitlich keinem Einfluss durch eine Aminosäuresupplementierung (Robinson et al. 2000, Noftsker et al. 2005, Lee et al. 2015, Fagundes et al. 2018, Zou et al. 2023). In Rationen mit Rohproteinreduktion und einer Reduzierung der RDP-Fraktion kann eine Minderung des pH-Wertes vorkommen, die allerdings der höheren Kohlenhydratkonzentration geschuldet ist (Agle et al. 2010).

2.4.4 Einfluss auf die Entstehung postpartaler Erkrankungen

Bereits die Supplementierung von pansenstabilem Methionin kann Auswirkungen auf die postpartale Tiergesundheit haben. So ist das Auftreten von Schweregeburten und die Häufigkeit von typischen postpartalen Erkrankungen wie Nachgeburtsverhalten, Mastitis, Labmagenverlagerung und Milchfieber nach einer peripartalen Methioninsupplementierung signifikant reduziert (Ardalan et al. 2010). Nach einer peripartalen Methioninsupplementierung lässt sich zudem eine Verbesserung der uterinen Immunität feststellen, die durch die Optimierung der

uterinen Drüsenmorphologie und dem Anstieg der Zahl an Neutrophilen in Form von sogenannten extrazellulären Neutrophilen-Fallen im Endometrium verursacht wird (Stella et al. 2018). Eine Steigerung der Phagozytoseaktivität von Neutrophilen ist auch im Blut feststellbar und deutet auf eine Verbesserung der Immunfunktion im peripartalen Zeitraum hin (Osorio et al. 2013). Zusätzlich kann eine peripartale Supplementierung von Methionin zu einer verringerten Inzidenz von klinischen Ketosen beitragen (Osorio et al. 2013, Zhou et al. 2016b), da die Methioninzugabe einen potenziellen Mangel an Lecithin und Sphingomyelin vorbeugen und revidieren kann (McCarthy et al. 1968, Waterman und Schultz 1972, Shibano und Kawamura 2006). Die Reduktion der LDL-Konzentration und eine Steigerung der VLDL- und Apolipoprotein-B-Konzentrationen belegen eine Unterstützung des Leberfettstoffwechsels (Sun et al. 2016).

2.4.5 Einfluss auf das Immunsystem

Besonders Methionin hat Einfluss auf molekulare Prozesse der Leber, die neben dem Glutathionstoffwechsel auch die Intensität von Entzündungsprozessen und die Kapazität zur Freisetzung von Sauerstoffradikalen beeinflussen (Osorio et al. 2014a).

Auf biochemischer und molekularer Ebene werden die positiven Effekte über die durch Methionin vermittelte erhöhte DNA-Methylierung und die damit verbundene Expressionssteigerung des PPAR (Peroxisom-Proliferator-aktivierter Rezeptor- α) und dessen zugehörigen Gene verursacht (Osorio et al. 2016). Zusätzlich kommt es durch die peripartale Methioninsupplementierung zu einer vermehrten Phosphorylierung des Transkriptionsfaktors NFE2L2, der den antioxidativen Stoffwechsel in der Milchdrüse fördert (Han et al. 2018). Labordiagnostisch ist der positive Effekt einer peripartalen Methioninsupplementierung an einem Rückgang der Coeruloplasmin- und Serum-Amyloid-A-Konzentration, als auch an einer Steigerung der Glutathion-, Carnitin- und Vitamin E-Konzentration erkennbar (Osorio et al. 2014b, Sun et al. 2016, Zhou et al. 2016a). Zusätzlich wird die Phagozytoseleistung von Neutrophilen im Blut gesteigert (Osorio et al. 2013, Zhou et al. 2016a). Eine Steigerung der IL-2 Konzentration bei gleichzeitiger Reduktion von IL-6 und des TNF- α belegen weitere positive Effekte auf das Immunsystem (Sun et al. 2016). Eine Reduktion der antepartalen Haptoglobinkonzentration kann eintreten (Zhou et al. 2016a, Jacometo et al. 2018), muss aber nicht immer gegeben sein, um dennoch positive Effekte auf das Immunsystem zu bestätigen (Osorio et al. 2014a).

Nach einer Lysinsupplementierung mit 1,4 g a.p. und 1,0 g p.p. werden reduzierte Haptoglobinkonzentrationen, eine verringerte Glutathion-Peroxidase-Aktivität sowie eine Kapazitätserhöhung reaktiver Sauerstoffspezies als Beleg für eine unterstützende Wirkung auf die Leberfunktion und den Entzündungsstatus beschrieben (Fehlberg et al. 2023).

2.4.6 Einfluss auf den Fett- und Energiestoffwechsel

Die Ergebnisse zu Auswirkung einer peripartalen Fütterung von Methionin und Lysin an Transitzühe sind unterschiedlich. Die Ursachen für diese inhomogenen Ergebnisse lassen sich in den Studien selbst finden, denn eine exakte Vergleichbarkeit ist meist nicht möglich. Neben der Studiengröße und Dauer spielt auch die Auswahl und Konzentration des verwendeten Supplements eine Rolle. Weiterhin kommt es durch die Auswahl und Zusammensetzung der Rationskomponenten und deren Nährstoffgehalte zu Unterschieden zwischen den einzelnen Studien. Auch das Milchleistungsniveau sowie die gewählten Untersuchungszeitpunkte variieren. Daher beschreiben einige Studien keine Veränderung der NEFA-, BHB-, und Glukosekonzentration (Piepenbrink et al. 2004) sowie der TAG-, VLDL- und ApoB-Konzentration (Osorio et al. 2013) und der Cholesterol-, Gesamtprotein- und Harnstoffgehalte im Serum (Kudrna et al. 2009) nach peripartaler Methioninsupplementierung. Andere Autoren beschreiben eine Reduktion der Triglycerid-, NEFA-, BHB- und Glukosekonzentration p.p. nach peripartaler Supplementierung mit 17,7 g D,L-Methionin (Sun et al. 2016) als auch nach einer peripartalen Supplementierung mit täglich 13 g dünndarmverfügbarem Methionin und 40 g dünndarmverfügbarem Lysin (Xu et al. 1998).

Auch die peripartale Supplementierung mit Methionin und Lysin führt zu einer signifikanten Reduktion der BHB-Konzentration ante partum (Elsaadawy et al. 2022b) als auch im weiteren Verlauf der Laktation (Elsaadawy et al. 2022a). Ursächlich hierfür sind die höheren TM-Aufnahmen, die über die Erhöhung der Energiedichte den Abbau von Fettgewebe und damit der Synthese von Ketonkörpern entgegenwirken. Bleibt eine Veränderung der TM-Aufnahme aus, ist nur eine geringe Veränderung der BHB-Konzentration feststellbar (Lee et al. 2019). Gleiches gilt für Rationen mit reduzierten Rohproteingehalten (Socha et al. 2005). Die Fütterung von pansenstabilem Lysin in hochenergetischen Rationen führt zu einer Reduktion der Konzentration an freien Fettsäuren und an BHB (Girma et al. 2019).

2.4.7 Einfluss auf die Eutergesundheit

Nur wenige Studien können positive Effekte einer Aminosäuresupplementierung auf die Eutergesundheit feststellen. Durch die Verbesserung des Immunstatus kann eine peripartale Supplementierung mit pansenstabilem Methionin und Lysin zu einer signifikanten Reduzierung der Zellzahl führen und damit die Eutergesundheit zu Beginn der Laktation fördern (Elsaadawy et al. 2022b). Dieser positive Effekt, der auf die antepartale Supplementierung zurückzuführen ist, hat aber auch langfristig positive Auswirkungen auf die Zellzahl (Lee et al. 2019). Die Supplementierung dieser Aminosäuren während der Laktation hat hingegen keine Veränderung der Zellzahl zur Folge (Donkin et al. 1989, Abreu et al. 2023). Allerdings zeigt sich, dass das Risiko einer Mastitiserkrankung durch die Aminosäuresupplementierung

reduziert werden kann (Abreu et al. 2023). Während des peripartalen Zeitraumes konnte weder durch die Ergänzung von pansenstabilem Lysin (Girma et al. 2019, Fehlberg et al. 2020) noch durch pansenstabiles Methionin ein Einfluss auf die Zellzahl festgestellt werden (Sun et al. 2016, Zhou et al. 2016b, Toledo et al. 2017, Han et al. 2018, Toledo et al. 2021).

3 Material und Methoden

3.1 Untersuchungsbetrieb

Die durchgeführte Untersuchung fand von Juni 2018 bis Januar 2019 im Zentrum für Tierhaltung und Technik der Landesanstalt für Landwirtschaft und Gartenbau in Iden, Sachsen-Anhalt, statt. Der konventionelle Milchviehbetrieb umfasste zu diesem Zeitpunkt etwa 400 Milchkühe der Rasse Holstein-Friesian mit eigener Remontierung weiblicher Kälber (Merzungsrate 20 %). Die Kühe waren in acht Leistungsgruppen aufgeteilt, die in unterschiedlichen Stallabteilen mit verschiedenen baulichen Bedingungen gehalten wurden. Die trockenstehenden Tiere wurden in einem separaten Gebäudekomplex mit Boxenlaufstall mit Stroheinstreu und vorgeschaltetem Futtertisch gehalten. Für die Abkalbung erfolgte eine Umstallung in das Hauptgebäude in einen Boxenlaufstall mit Stroheinstreu. Die frischmelkenden Tiere wurden während der ersten Woche p.p. in einem Boxenlaufstall mit vorgeschaltetem Spaltenboden und Futtertisch gehalten. Im Anschluss daran standen die Tiere in einem Hochboxenlaufstall mit Komfortmatten und Strohmehl-Kreide-Einstreu. Die Stallhülle des Hauptstalles, in dem die hochleistenden Kühe untergebracht waren, wurde 1964 erbaut. Eine Sanierung fand im Jahr 1993 statt.

Die Besamungen erfolgten ausschließlich künstlich nach einer freiwilligen Wartezeit von mindestens 80 Tagen. Die durchschnittliche 305-Tage-Milchleistung betrug 12.104 kg mit 3,68 % Eiweiß und 3,51 % Fett (Jahresabschluss Milchleistungsprüfung 2017). Die Kühe wurden drei Mal täglich im achtstündigen Rhythmus gemolken. Der Melkstand bot zwei Reihen mit je 16 Side-by-Side Melkplätzen und ein klassisches Pumpmelkgeschirr mit Pulsatortechnik der Firma De Laval. Die Grundfütterration war grasbetont und enthielt Luzerne, Feuchtkornmais und Silomais. Außerdem erhielten die Tiere eine Getreidemischung sowie Mineralfutter ohne Phosphor. Kranke Kühe wurden fallindividuell durch den Herdenmanager, das melkende Personal oder den Bestandstierarzt behandelt.

3.2 Untersuchung

Die Untersuchung wurde als Feldstudie in einer kommerziellen Milchkuhherde und unter Produktionsbedingungen konzipiert. Der Versuch begann für die ausgewählten, trockenstehende Kühe tierindividuell am errechneten 24. Tag a.p. und erstreckte sich bis zum Erreichen des 105. Laktationstages. Um einen Ursache-Wirkungs-Zusammenhang durch die Fütterung festzustellen, wurden die ausgewählten Tiere mit Eintritt in die Vorbereitungsphase entweder der Aminosäuregruppe (ASG) oder der Vergleichsgruppe (VG) zugeteilt, der sie bis zum Ende der Untersuchung zugehörig waren. Während dieses Zeitraums wurde die für den

Betrieb übliche Standardration an beide Untersuchungsgruppe gefüttert. In die ASG wurde die Ration ante als auch post partum mit pansenstabilem Methionin und Lysin supplementiert sowie post partum der Rohproteingehalt reduziert. Die Ration der VG hingegen war nicht rohproteinreduziert und enthielt während des gesamten Untersuchungszeitraums auch keine AS-Zugabe.

Es wurden Daten zur Milchleistung, Fruchtbarkeit und Tiergesundheit gesammelt und dokumentiert.

3.2.1 Untersuchungstiere

Die Tierausswahl und Eingruppierung erfolgte durch fachkundiges betriebseigenes Personal und orientierte sich anhand der Vorlaktationsleistung, der Laktationszahl und der tierindividuellen Eignung für die Durchführung der Untersuchung (Vorerkrankungen, Melkbarkeit, Futteraufnahme aus dem Trogsystem). Erstkalbskühe und Kühe mit mehr als sieben Laktationen wurden in der Auswahl nicht berücksichtigt. Aufgrund der begrenzt verfügbaren Futterplätze mit Trogsystem wurden insgesamt 37 Tiere für die Aminosäuregruppe und 35 Tiere für die Vergleichsgruppe ausgewählt (Tabelle 6).

Tabelle 6: Anzahl der Untersuchungstiere in den beiden Untersuchungsgruppen

Laktationszahl	n Tiere	
	ASG	VG
2	9	10
3	11	13
4	8	5
5	5	6
6	3	0
7	1	1
gesamt	37	35

n = Anzahl Tiere

3.2.2 Fütterung

Als Fütterungsgrundlage a.p. und p.p. wurde die Standardration des landwirtschaftlichen Betriebes verwendet. Eine Übersicht über die Rationsgestaltung bieten die Tabelle 7 und Tabelle 8. Die detaillierten Rationszusammensetzungen für die Vorbereitungsphase und die Laktation sind in den Tabelle 66 bis Tabelle 69 (Anhang) dargestellt. Während der Vorbereitungsphase bestand die Futtermittelration in beiden Haltungsgruppen aus den Grundfüttermitteln Gras-, Mais- und Luzernesilage und Stroh. Zusätzlich wurde an beide Untersuchungsgruppen ein Mikromineralfutter verfüttert, welches nur in der ASG mit den pansengeschützten AS Methionin und Lysin ergänzt wurde (22,5 g *MetaSmart*/Kuh/d und 20 g

LysiGEM/Kuh/d). Während dieses Zeitraums unterschied sich der Rohproteingehalt zwischen den beiden Untersuchungsgruppen nicht (134 bzw. 135 g XP/kg TM, Tabelle 8). In der Laktationsration wurde die Luzernesilage durch Luzerneheu ersetzt. Zusätzlich erhielt die VG Pressschnitzelsilage. Der Rohproteingehalt der ASG wurde von dem sonst standardmäßig verwendetem Rohproteingehalt von 161 g/XP auf 150 g XP/kg TM reduziert und die Menge des AS-Zusatzes im Mikromineralfutter verdoppelt (45 g *MetaSmart/Kuh/d* und 40 g *LysiGEM/Kuh/d*). Die differenzierte Fütterung der beiden Gruppen wurde durch eine transpondergestützte Tiererkennung ermöglicht. Sie bot in jedem Stallabteil einen tierindividuellen Zugang zu den Fress-Wiege-Trögen, die drei Mal täglich mit dem gruppenspezifischen Futter befüllt wurden. Im Frischmelkerabteil wurde die differenzierte Fütterung durch eine räumliche Trennung der beiden Gruppen gewährleistet, da hier keine Fress-Wiege-Tröge installiert waren.

Tabelle 7: Rationsmenge während der Vorbereitungsphase und Laktation

Rationsmenge	Einheit	ASG		VG	
		Vorbereitung	Laktation	Vorbereitung	Laktation
TM	kg/Kuh/d	13,9	24,3	13,9	24,3

Tabelle 8: Rationsgehalte während der Vorbereitungsphase und während der Laktation

Inhaltsstoffe	Einheit	ASG		VG	
		Vorbereitung	Laktation	Vorbereitung	Laktation
NEL	MJ/kg TM	6,4	7,0	6,4	7,0
XZ	g/kg TM	38	52	39	50
XS	g/kg TM	202	230	198	231
XL	g/kg TM	30	33	30	33
XP	g/kg TM	134	150	135	161
UDP	% XP	22	24	23	25
nXP	g/kg TM	134	153	134	157
RNB	g/kg TM	0,2	- 0,4	0,4	0,7
XF	g/kg TM	198	163	201	165
NDF	g/kg TM	361	312	362	310
XA	g/kg TM	-	83	-	83
Ca	g/kg TM	12,34	7,24	12,5	6,97
P	g/kg TM	3,81	3,93	3,87	4,40
Mg	g/kg TM	3,12	2,13	2,88	1,91
Na	g/kg TM	1,77	3,29	1,79	3,06
K	g/kg TM	12,0	12,3	12,1	12,47
Cl	g/kg TM	8,53	4,93	8,74	4,62
S	g/kg TM	3,29	2,43	3,22	2,49
DCAB (o.s.S)	mval/kg TM	- 60	167	- 59	167

o.s.S = ohne saure Salze

3.3 Datenerhebung

3.3.1 Milchleistungsmessung

Aus betriebstechnischen Gründen erfolgte die Sammlung der Milchleistungsdaten bis zum 105. Laktationstag. Dieser Zeitraum entspricht 15 Laktationswochen.

Die täglichen Milchmengen wurden während jedes Melkvorganges elektronisch durch das Melksystem erfasst und die Gesamttagesmenge aufgezeichnet. Die 100-Tage und 305-Tage-Gesamtmilchmengenleistung wurden dem Melksystem entnommen. Eine wöchentliche Entnahme von Milchproben zur Bestimmung der Milchinhaltsstoffe wurde an festgelegten Tagen durch das Betriebspersonal durchgeführt. Dazu wurden die drei Tagesgemelke jedes Untersuchungstieres gepoolt und auf die in Tabelle 9 aufgeführten Inhaltsstoffe in einem externen Untersuchungslabor untersucht.

Die Qualität des Kolostrums wurde direkt nach der Kalbung von einem geschulten Mitarbeiter des Betriebes manuell bestimmt (Tabelle 9). Dazu wurde eine geringe Menge Vollkolostrum auf ein optisches Refraktometer mit einer Brix-Skala gegeben und die spezifische Dichte abgelesen. Wie bereits von (Gey 2016) zusammengefasst, korreliert die spezifische Dichte mit der Gammaglobulinkonzentration im Kolostrum (Tabelle 10). Die Messung per Refraktometer ist eine kostengünstige und einfach durchzuführende Methode zur Beurteilung der Kolostrumqualität.

Tabelle 9: Milchuntersuchungsplan

Tage p.p.	Milchmenge	Milchinhaltsstoffe
0	-	IgG (g/l)
0 - 7	täglich (kg)	-
7 - 105	Mittelwert der wöchentlichen Gesamtmilchmenge (kg)	Milchfett (% , g) Milcheiweiß (% , g) Laktose (% , g) Harnstoff (mg/l) N-Ausscheidung (g/Kuh/d) Zellzahl (x1000/ml)
100	Gesamtmilchmengenleistung (kg)	-
305	Gesamtmilchmengenleistung (kg)	Milcheiweißleistung (kg) Milchfettleistung (kg)

Tabelle 10: Interpretation der Kolostrumqualität anhand der Refraktometermessung (nach Gey 2016)

Messwert	Kolostrumqualität		
	schlecht	mäßig	gut
Brix	< 19 %	20 – 21 %	> 22 %
IgG*	< 25 g/l	25 – 50 g/l	> 50 g/l

*IgG = Gammaglobulinkonzentration

3.3.2 Daten zur Fruchtbarkeit

Die Beurteilung des Abkalbung erfolgte durch das diensthabende Betriebspersonal. Es wurde nur zum Zweck der Geburtshilfe in den Kalbevorgang eingegriffen und die Qualität der Abkalbung (leicht, mittel, schwer) anhand der notwendigen Hilfestellung (ohne Hilfe, leichte Hilfe, starke Hilfe) bewertet und dokumentiert. Die Fruchtbarkeitskennzahlen wurden anhand der Abkalbe- und der Besamungsdaten errechnet. Zur Beurteilung der Fruchtbarkeit wurden die Parameter Verzögerungszeit, Rastzeit, Portionsaufwand und Zwischentragezeit erfasst. Das Kalbedatum sowie der Zeitpunkt und die Anzahl der Besamungen wurden dem Herdenmanagerprogramm entnommen. Die Blutprobenentnahme zur Bestimmung der P₄- und der PAG-Konzentration für eine Trächtigkeitsdiagnose erfolgte örtlich sowie zeitlich abgestimmt zu der Entnahme der regulären Blutproben.

3.3.3 Futteraufnahmemessung

Über den elektronischen Halstransponder wurden die Futteraufnahme jedes Probanden über den gesamten Versuchszeitraum elektronisch erfasst. Auf der Grundlage der erfassten Futteraufnahmen und der täglichen Beladung des Futtermischwagens wurde für jede Kuh eine individuelle Aufnahme der Rationsinhaltsstoffe ermittelt. Die Dokumentation sowie die Berechnungen wurden durch das Betriebspersonal verwaltet. Obwohl die Vorbereitungsphase und damit der Versuchsbeginn bereits mit dem errechneten 24. Tag a.p. begann, wurden die tierindividuellen täglichen Trockenmasseaufnahmen rückwirkend nur für die letzten 14 Tage vor der Kalbung ausgewertet. Grund dafür war die große Anzahl an fehlenden Messungen aufgrund der rechnerisch verfrühten Kalbung. Post partum wurde die Trockenmasseaufnahme wöchentlich bis zum Erreichen des 105. Laktationstages gemessen und dokumentiert.

3.3.4 Daten zur Tiergesundheit

3.3.4.1 Konditionsbeurteilung

Die Kondition wurde sonographisch mithilfe einer neuen Messmethode der Rückenfettmuskel- dicke beurteilt (Grottendieck 2022). Die Untersuchungsstelle lag zentral auf der gedachten Verbindungslinie zwischen Sitzbein- und Hüftbeinhöcker. Die RFMD ergibt sich aus der

Dickenmessung der dort lokalisierten Fettschicht (FD) und der Muskeldicke (MD) des sich darunter befindlichen Musculus gluteus medius. Durch diese Methode kann sowohl die Mobilisation von Fett als auch von Muskelprotein bestimmt werden. Die Ultraschalluntersuchung für die Konditionsbeurteilung wurde parallel zu den Terminen der Blutprobenentnahme durch eine fachkundige Person durchgeführt.

3.3.4.2 Erkrankungen

Die Dokumentation von Erkrankungen wurde durch das Personal vorgenommen. Notwendige Behandlungen wurden fallindividuell durch den Herdenmanager oder durch den Bestands-tierarzt durchgeführt und im Managementsystem des Betriebes elektronisch dokumentiert.

3.3.4.3 Blut- und Harnprobenentnahme

Die Entnahme der Blut- und Harnproben wurde zwei Mal wöchentlich zu festgelegten Zeitpunkten durchgeführt (Tabelle 11). Die Blutproben wurden zu sechs unterschiedlichen Zeitpunkten genommen. Die Probenentnahme 7 Tage a.p. erfolgte anhand des errechneten Abkalbetermins. Abhängig vom Wochentag und der Tageszeit wurde die erste Blutprobe p.p. zwischen dem 1. und 3. Tag nach der Abkalbung entnommen. Eine Harnprobe wurde sieben Tage vor dem errechneten Abkalbedatum zusammen mit der Blutprobe gewonnen. Die Blutanalyse auf Progesteron und PAG erfolgte am 19. Tag bzw. zwischen dem 31. und 33. Tag nach der Erstbesamung. Die Probengewinnung der tragenden Probanden erfolgte um sechs Uhr morgens. Dazu wurden die Vorbereitertiere und die Tiere in der Abkalbebucht im Fangfressgitter ihres separaten Boxenlaufstalls fixiert. Die melkenden Probanden wurden im Anschluss an die Mittagsmelkung in einem Treibgang von den anderen Kühen des Bestandes separiert und einem Zwangsstand zugeführt. Im Zwangsstand wurde die RFMD per Ultraschall gemessen und die Blutprobe gewonnen. Der Blutentzug erfolgte sowohl bei trockenstehenden als auch melkenden Probanden über die V./A. coccygealis mit sterilen Einmalkanülen. Das Blut wurde in Monovetten der Firma Sarstedt (Serum 9 ml Z mit Gerinnungsaktivator, EDTA 9 ml K3E mit 1,6 mg EDTA/ml) aufgefangen. Die Harngewinnung erfolgte mittels manueller Stimulation im Bereich des äußeren ventralen Schamwinkels. In seltenen Fällen kam ein Harnkatheter nach Breslau zum Einsatz, wenn die manuelle Stimulation erfolglos blieb. Der Mittelstrahlurin wurde in einem Harnsammelröhrchen aus Plastik (etwa 50 ml) aufgefangen. Während der gesamten Probenentnahme wurden unsterile Einmalhandschuhe getragen.

Tabelle 11: Entnahmeplan für Blut- und Harnproben

Material	US	Entnahmezeitpunkt Tage p.p.					
		-7	1-3	14	21	35	63
Blut	(3)	x	x	x	x		
	(4)					x	x
	(5)	x	x	x	x	x	x
	P ₄ PAG		Tag 19 nach Erstbesamung		Tag 31-33 nach Erstbesamung		
Harn		x					

US = Untersuchungsprofil

3.3.4.3.1 Probenaufbereitung und labordiagnostische Untersuchung

Das Vollblut wurde nach der Blutentnahme für zehn Minuten bei 2800 g zentrifugiert. Das Serum wurde bis zur vollständigen Gerinnung ruhen gelassen und anschließend ebenfalls für zehn Minuten bei 3500 g zentrifugiert. 4 ml des gewonnenen Serums und des Plasmas wurden in je ein Röhrchen überführt und bis zum Transport und der Untersuchung im Labor der Freien Universität Berlin bei - 40 Grad tiefgefroren. Ein Teil des gewonnenen Harns wurde im betriebseigenen Labor untersucht. Der pH-Wert wurde manuell mit einer pH-Messsonde bestimmt. Im Anschluss wurden zehn Milliliter Harn mit Natriumhydroxid-Lösung und Salzsäure titriert, um die fraktionierte NSBA, den Säure- und Basengehalt sowie den Basen-Säure-Quotienten und den NH₄⁺-Gehalt zu bestimmen. Vom restlichen Harn wurden 4 ml in ein Röhrchen überführt und für die weitere chemische Untersuchung im Labor der Freien Universität Berlin tiefgefroren.

Die Untersuchungsprofile der Blut- und Harnproben sind Tabelle 12 zu entnehmen. Die Untersuchungsmethoden der Harnproben zeigt Tabelle 13. Die Referenzen zu den einzelnen Harnparametern sind in Tabelle 65 (Anhang) aufgeführt.

Tabelle 12: Untersuchungsmaterial und Parameter der Harn- und Blutprofile

Material	US	untersuchte Parameter
Serum	(3)	ASAT, γ-GT, GLDH, a.P., Ca, Cl, K, Mg, Na Bili, Chol, BUN, NEFA, BHB, CK, Gluk
	(4)	ASAT, γ-GT, GLDH, BUN, BHB
	P ₄ PAG	Progesteron PAG
Plasma	(5)	Alb, TP
Harn	Harnprofil	pH, frakt. NSBA, BSQ, NH ₄ ⁺ , Crea, Ca, Mg, Na, K, Cl, a.P.

US = Untersuchungsprofil

Tabelle 13: Methodik und Referenzen der Harnuntersuchung

Parameter	Methode	Gerät/Bezug
pH-Wert	manuell	pH-Meter 526 der Firma WTW
frakt. NSBA, Basenzahl, Säurezahl, NH_4^+ , BSQ	Titration nach Kutas (1965)	
Na, K, Ca, Mg	Atomabsorptionsspektrometrie	
Cl	coulometrische Titration	
a. P	Ammonium-Phosphomolybdat-Komplexbildung in schwefels. Lsg.	LT-PH 0100
Crea	Jaffé ohne Enteiweißung	LT-CR 0121/0251

3.4 Vollständigkeit des Datensatzes

Insgesamt wurden Rohdaten von 37 Tieren aus der ASG und von 35 Tieren aus der VG ausgewertet. Während der Rohdatenerfassung kam es sporadisch zu fehlenden Einzelmessungen von Untersuchungstiere, deren Ursachen im Folgenden erläutert werden.

Die Auswertung der 305-Tage-Gesamtmilchmengenleistung wurde nur bei 35 Tieren aus der ASG und 31 Tieren aus der ASG vorgenommen. Grund dafür war das Ausscheiden von Tieren aus dem Betrieb nach Versuchsende. Aufgrund von betriebstechnischen Abläufen oder des Kalbezeitpunktes wurde die Bestimmung der Kolostrumqualität in der ASG bei 27 von 37 Probanden und in der VG bei 29 von 35 Probanden durchgeführt. Die Fruchtbarkeitskennzahlen wurden von 35 Tieren der ASG und 31 Tieren der VG ausgewertet. Grund für das Fehlen einzelner Tiere war auch hier der Abgang von Probanden aus dem Betrieb. Aus dem gleichen Grund wurden die P₄- und die PAG-Konzentrationen in der ASG von 31 und in der VG von 22 ausgewählten Probanden analysiert. Ein weiterer Grund für die geringere Probenanzahl war neben der tierindividuell notwendigen Besamungshäufigkeit auch der Abgang wegen Zuchtuntauglichkeit. Die Beendigung des Untersuchungszeitraums sowie betriebstechnische Begebenheiten waren ebenfalls Anlass dafür, keine weiteren Hormonprobenentnahmen mehr durchzuführen. Insgesamt wurden bei zwei Blutproben unphysiologisch hohe Kaliumwerte gemessen. Diese zwei Kaliumwerte wurden von der Analyse ausgeschlossen, da es sich um ein Artefakt durch die Blutprobenentnahme handelte. Pathophysiologisch bedingte Normabweichung wurden hingegen in die Auswertung mit aufgenommen.

In der deskriptiven Statistik wurden die Milchmengen und Milchinhaltsstoffe jeweils ab der 1. Laktationswoche dargestellt. In der analytischen Statistik hingegen wurde die Milchmengenleistung ab der 1. Laktationswoche ausgewertet, die Milchinhaltsstoffe hingegen erst ab der 2.

Laktationswoche. Grund hierfür war, dass die Milchmengenleistungen in der ersten Laktationswoche manuell dokumentiert wurden, aber eine Analyse der Milchinhaltsstoffe erst ab der vollendeten 1. Laktationswoche durchgeführt wurde.

3.5 Statistische Auswertung

Die Rohdatensammlung wurde mit Hilfe von Microsoft Excel (Version 2312, Redmond, Washington, USA) durchgeführt. Die statistische Auswertung der Daten wurde mit dem Statistikprogramm SPSS (IBM SPSS Statistics Inc., Version 29.0.1.0.) vorgenommen.

Vor der Analyse wurden die zur Auswertung bestimmten Rohdaten auf ihre Verteilung hin überprüft. Dazu wurden Histogramme erstellt und die Daten grafisch auf Vorliegen einer Normalverteilung untersucht. Die hinreichende Anpassung an eine Normalverteilung wurde angenommen, wenn $\frac{3}{4}$ aller Werte unterhalb der Normalverteilungskurve im Histogramm lagen.

Für die deskriptive Analyse der untersuchten Parameter wurden im weiteren Verlauf Tabellen mit statistischen Kennzahlen erstellt. Neben dem arithmetischen Mittel, der Standardabweichung (SD) und dem Median wurden auch das Minimum, Maximum und das 1. sowie das 3. Quartil angegeben. Für einige Parameter (Portionsaufwand, Abkalbeverhalten, Trächtigkeitsergebnis per Blutprobe und Geburtsgewicht der Kälber) sind zusätzlich Häufigkeitstabellen erstellt worden.

Abhängig von der Qualität des vorliegenden Untersuchungsparameters wurden im Rahmen der analytischen Auswertung unterschiedliche statistische Verfahren angewendet. Die wiederholt gemessenen, stetigen Variablen wurden mithilfe eines allgemeinen linearen Modells mit Messwiederholungen analysiert (Tabelle 14). Mithilfe dieser Art der ANOVA-Analyse lässt sich herausfinden, ob eine Variable (unabhängige Variable) Einfluss auf eine andere Variable (abhängige Variable) hat. In der vorliegenden Untersuchung war daher die Frage, ob die Untersuchungsgruppe (unabhängige Variable) Einfluss auf die jeweils erhobenen Untersuchungsparameter (abhängige Variable) hat. Für die Analyse wurde als Innersubjektvariable der zu untersuchende Parameter (z.B. Milchmengenleistung) und als Innersubjektfaktoren die Anzahl der Untersuchungszeitpunkte gewählt (Milchmengenleistung von der 2. bis zur einschließlich 15. Laktationswoche, also 14 Faktorstufen). Die Untersuchungsgruppe wurde als Zwischensubjektfaktor verwendet. Als Ergebnis erhielt man zwei Regressionskoeffizienten (b und b_d). Ersterer bezieht sich auf die Messung in der ASG, letzterer auf die Messung der VG. Am Beispiel der Milchmengenleistung beschreibt der Regressionskoeffizient b also die mittlere Milchmengenleistung der ASG zu den jeweiligen Untersuchungszeitpunkten (Woche 2 bis 15). Der Regressionskoeffizient b_d beschreibt die mittlere Milchmengenleistung der VG, er ist allerdings als absoluter Differenzbetrag zu b

dargestellt und gibt mit seinem Vorzeichen an, ob die Milchmengenleistung in der VG größer (positives Vorzeichen) oder kleiner (negatives Vorzeichen) als in der ASG war. Weiterhin wurden für alle Variablen mit $p < 0,10$ der Standardfehler SE und das Signifikanzniveau p angegeben. Zur besseren Visualisierung wurden Verlaufsdiagramme angefertigt und die signifikanten Unterschiede ($p < 0,05$) mit (*) und die Unterschiede mit einer statistischen Tendenz ($p < 0,10$) mit (°) gekennzeichnet. Die Residuen wurden im Anschluss an die Analyse auf Normalverteilung hin überprüft und auf Ausreißer korrigiert.

Stetige Variablen ohne Messwiederholung (Tabelle 15) wurden mithilfe des Mann-Whitney U-Tests auf Gleichheit der Rangsummen analysiert.

Kategoriale Variablen wurden vor ihrer Analyse dichotomisiert und mithilfe einer binär logistischen Regression untersucht (Tabelle 16). Dabei wurde die Haltungsguppe als die unabhängige Variable verwendet. Als Referenzkategorie wurde die VG bestimmt. Bei signifikanten Ergebnissen wurden neben dem Regressionkoeffizient b , dem Standardfehler SE und dem Signifikanzniveau p auch das Odds Ratio sowie das Bestimmtheitsmaß nach Nagelkerke angegeben. Die Ergebnisse der Trächtigkeitsuntersuchung per Blutprobe mussten für die Durchführung der analytischen Statistik anhand des cut-off-Wertes (tragend: $P_4 > 1,0$ ng/ml und $PAG > 0,3$ ng/ml) dichotomisiert (0 = nicht tragend, 1 = tragend) werden. Eine Irrtumswahrscheinlichkeit von $p < 0,05$ wurde allgemein als signifikant festgelegt.

Tabelle 14: Stetige Variablen mit Messwiederholung

Variable	Zeitraum		Untersuchungszeitpunkt	Test
	a.p.	p.p.		
Milchmengenleistung		x	1.-15. LW, 1x wöchentlich	Allgemeines lineares Modell mit Messwiederholungen
Milchinhaltsstoffe		x	2.-15. LW, 1x wöchentlich	
Körperkondition	x		-7 d	
		x	1-3 d, 14 d, 21 d, 35 d, 63 d	
TM-Aufnahme	x		- 14 d bis Abkalbung, täglich	
		x	1.-15. LW, 1x wöchentlich	
Blutparameter	x		- 7 d	
		x	1-3 d, 14 d, 21 d, 35 d, 63 d	

d = Tag, LW = Laktationswoche

Tabelle 15: Stetige Variablen ohne Messwiederholung

Variable	Zeitpunkt	Test
Milchmengenleistung	d 0 – d 7*	nicht parametrisch nach Mann-Whitney U
	d 100	
	d 305	
Kolostrumqualität	p.p.	
Fruchtbarkeitskennzahlen	-	
Geburtsgewicht Kalb	direkt p.n.	
Harnparameter	-7 d p.p.	

* verwendet wurde die tierindividuelle Gesamtmilchmengenleistung in den ersten sieben Laktationstagen

Tabelle 16: Kategoriale Variablen ohne Messwiederholung

Abhängige Variable	Codierung	Test
Abkalbeverhalten	0 = ohne Hilfe 1 = mit Hilfe	Binär logistische Regressionsanalyse
Trächtigkeitsergebnis	P ₄ : 0 = nicht tragend, 1 = tragend PAG: 0 = nicht tragend, 1 = tragend	
Erkrankungen	0 = nicht erkrankt 1 = erkrankt	

4 Ergebnisse

4.1 Deskriptive Statistik

4.1.1 Milchleistung

4.1.1.1 Tägliche Milchmengenleistung in den ersten sieben Laktationstagen

Die mittlere tägliche Milchmengenleistungen in den ersten sieben Laktationstagen lag in der ASG im Schnitt bei 27,7 kg und in der VG bei 28,4 kg pro Kuh (Tabelle 17). Sowohl die höchste (41,1 kg) als auch die geringste (14,3 kg) tägliche Milchmengenleistung in diesem Zeitraum wurde in der ASG gemessen. In beiden Untersuchungsgruppen stieg die Milchleistung innerhalb der ersten sieben Tage p.p. an. Außer an Tag 3 p.p. lagen die Mittelwerte der Milchmengenleistung in der ASG unterhalb der Mittelwerte der VG (Abbildung 2 und Abbildung 3). Während in der ASG sowohl an Tag 2 als auch an Tag 3, 5 und 7 Kühe mit sehr hoher und sehr geringer Milchleistung zu verzeichnen waren, kommen geringe Milchleistung in der VG nur an Tag 5 und 7 vor.

Tabelle 17: Mittlere Milchmengenleistung (kg/Kuh/d) in den ersten sieben Laktationstagen

	n	\bar{x}	SD	Median	Min.	Max.	Perzentil	
							25	75
ASG	37	27,7	5,1	27,9	14,3	41,1	24,7	30,4
VG	35	28,4	5,1	27,9	17,6	37,8	24,4	32,9

n = Anzahl untersuchter Tiere, \bar{x} = arith. Mittel, SD = Standardabweichung, Min. = Minimalwert, Max. = Maximalwert

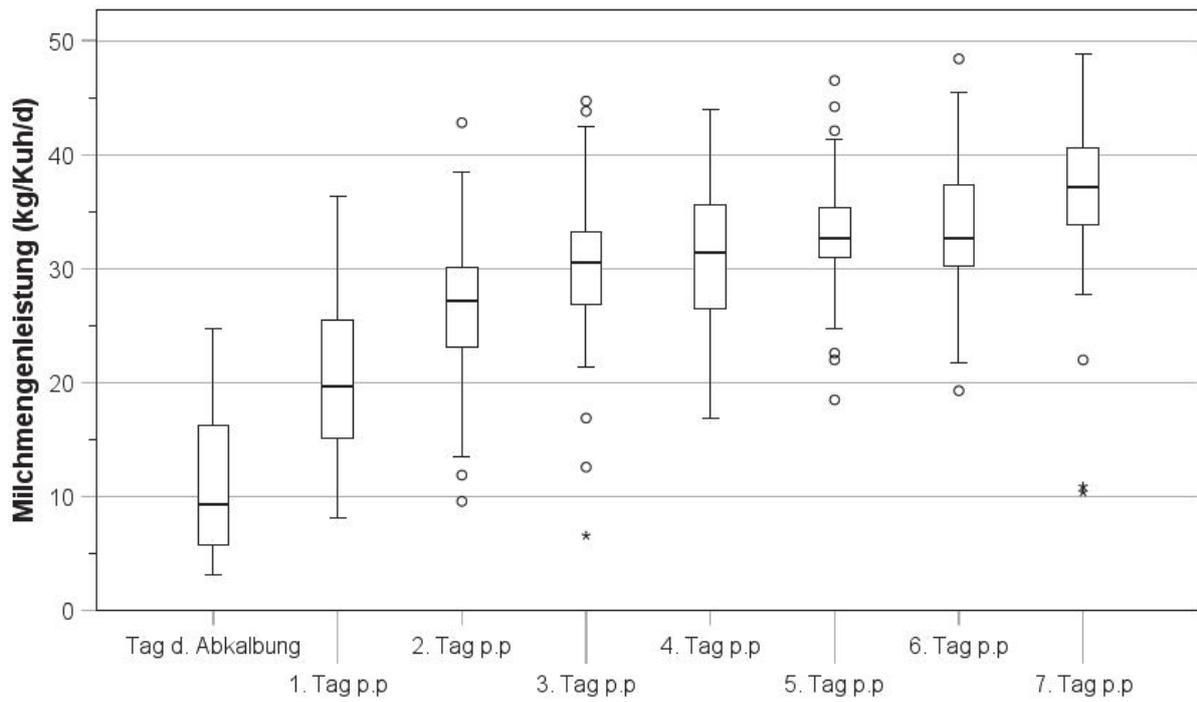


Abbildung 2: Verteilung der Milchmengenleistung (kg/Kuh/d) in der ASG in den ersten sieben Laktationstagen

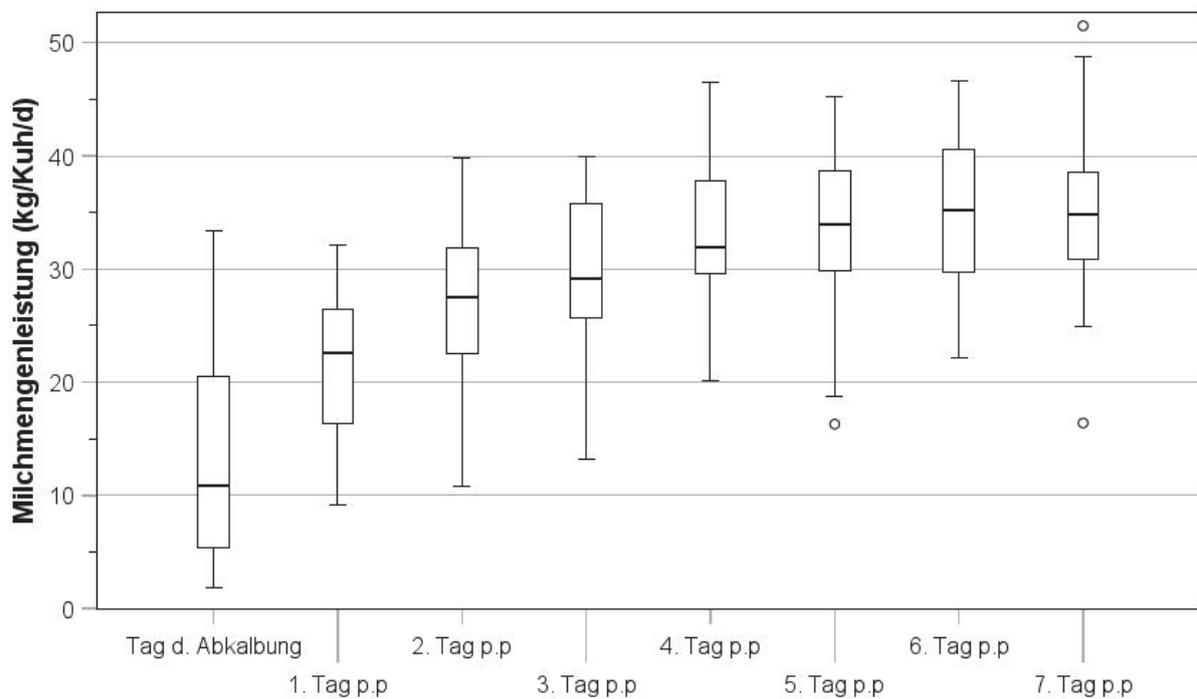


Abbildung 3: Verteilung der Milchmengenleistung (kg/Kuh/d) in der VG während der ersten sieben Laktationstage

4.1.1.2 100-Tage-Gesamtmilchmengenleistung

In der ASG wurde eine durchschnittliche 100-Tage-Milchleistung von 4463 kg/Kuh erreicht. In der VG betrug die 100-Tage-Leistung im Mittel 4717 kg/Kuh (Tabelle 18, Abbildung 4). Die geringste Milchmenge (3210 kg) stammt von einem Probanden aus der ASG. Die höchste Milchmenge (6154 kg) wurde in der VG gemolken.

Tabelle 18: 100-Tage-Milchmengenleistung (kg)

	n	kg	\bar{x}	SD	Median	Min.	Max.	Perzentil	
								25	75
ASG	37		4463	539	4469	3210	5531	4076	4755
VG	35		4717	693	4781	3560	6154	4068	5249

n = Anzahl untersuchter Tiere, \bar{x} = arith. Mittel, SD = Standardabweichung, Min. = Minimalwert, Max. = Maximalwert

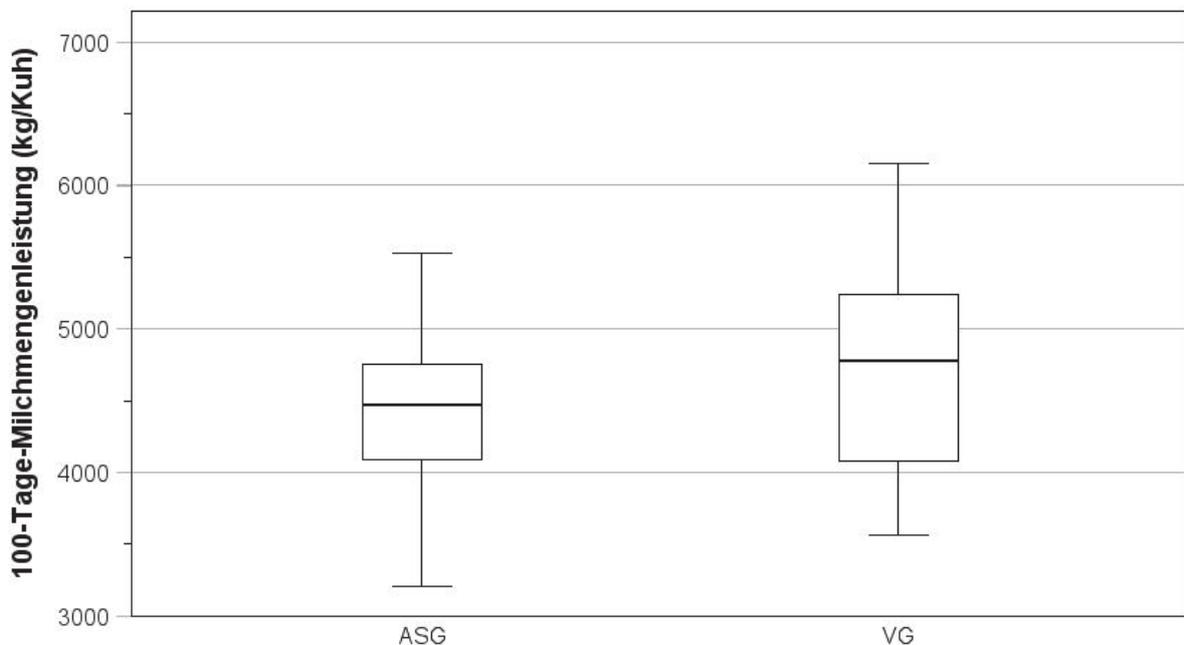


Abbildung 4: Verteilung der 100-Tage-Gesamtmilchmengenleistung (kg/Kuh)

4.1.1.3 Tägliche Milchmengenleistung im Untersuchungszeitraum

In der ASG wurden im Mittel 43,0 kg Milch, in der VG im Mittel 45,3 kg Milch täglich während des Untersuchungszeitraums gemolken (Tabelle 19). Sowohl das 25. als auch das 75. Perzentil der VG liegt über dem der ASG. Die größte Milchleistung wurde in der VG gemessen (58,9 kg), während die geringste Milchmenge in der ASG vorkam (27,0 kg). Innerhalb der ersten sechs Laktationswochen stieg die durchschnittliche Milchleistung in der ASG an (Abbildung 5). Drei Tiere in Woche 2 sowie ein Tier in Woche 4 und 6 hatten in dieser Zeit deutlich geringere Milchmengenleistungen als der Rest dieser Gruppe. Mit Beginn der

7. Laktationswoche fiel die Milchleistung der ASG leicht ab, mit geringfügigen Mittelwert-erhöhungen in Woche 10 und 14. Bis zum Ende des Untersuchungszeitraums hatte ein Tier der ASG eine Milchmengenleistung unter 30 kg. In der VG stieg die Milchmengenleistung ebenfalls bis zur einschließlich 6. Laktationswoche an (Abbildung 6). Während dieser Zeit fand sich jeweils ein Ausreißer in Woche 2 und 3. Von der 7. bis zur einschließlich 10. Laktationswoche verhielt sich die mittlere Milchmengenleistung dieser Gruppe weitestgehend konstant. Ab der 11. Laktationswoche kam es zu einem leichten Abfall der Milchmengenleistung.

Tabelle 19: Mittlere Milchmengenleistung (kg/Kuh/d) während des Untersuchungszeitraums

	n	kg	\bar{x}	SD	Median	Min.	Max.	Perzentil	
								25	75
ASG	37		43,0	5,3	43,5	27,0	52,1	39,6	46,9
VG	35		45,3	6,6	44,5	31,2	58,9	41,6	50,5

n = Anzahl untersuchter Tiere, \bar{x} = arith. Mittel, SD = Standardabweichung, Min. = Minimalwert, Max. = Maximalwert

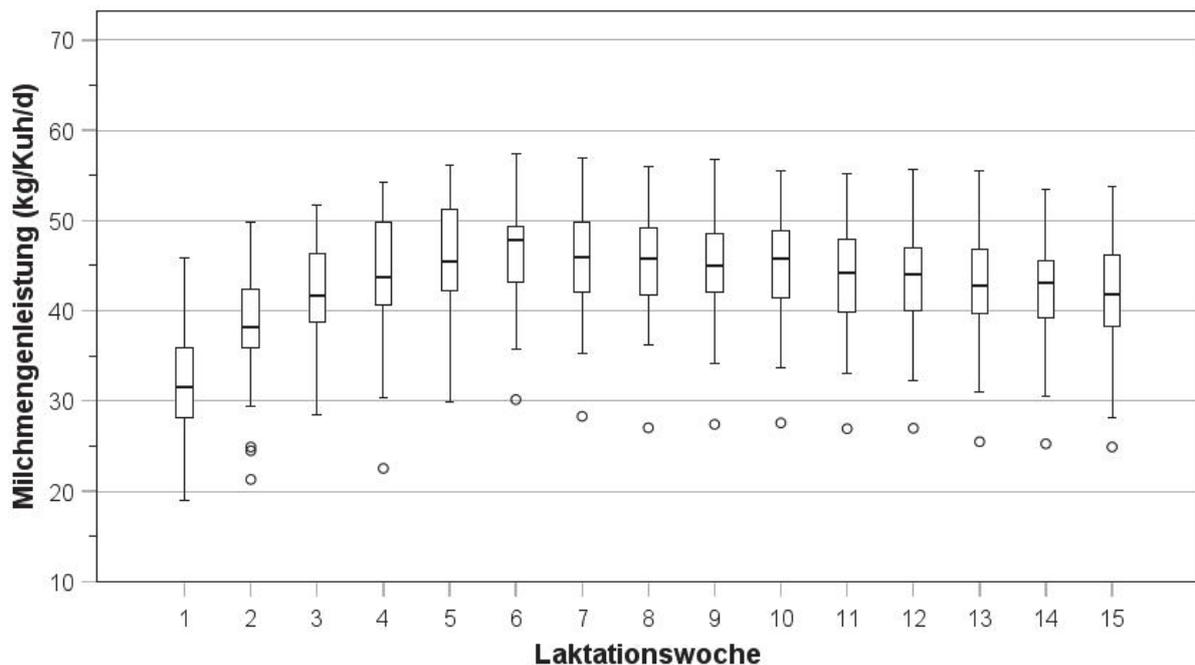


Abbildung 5: Verteilung der Milchmengenleistung (kg/Kuh/d) in der ASG während des Untersuchungszeitraums

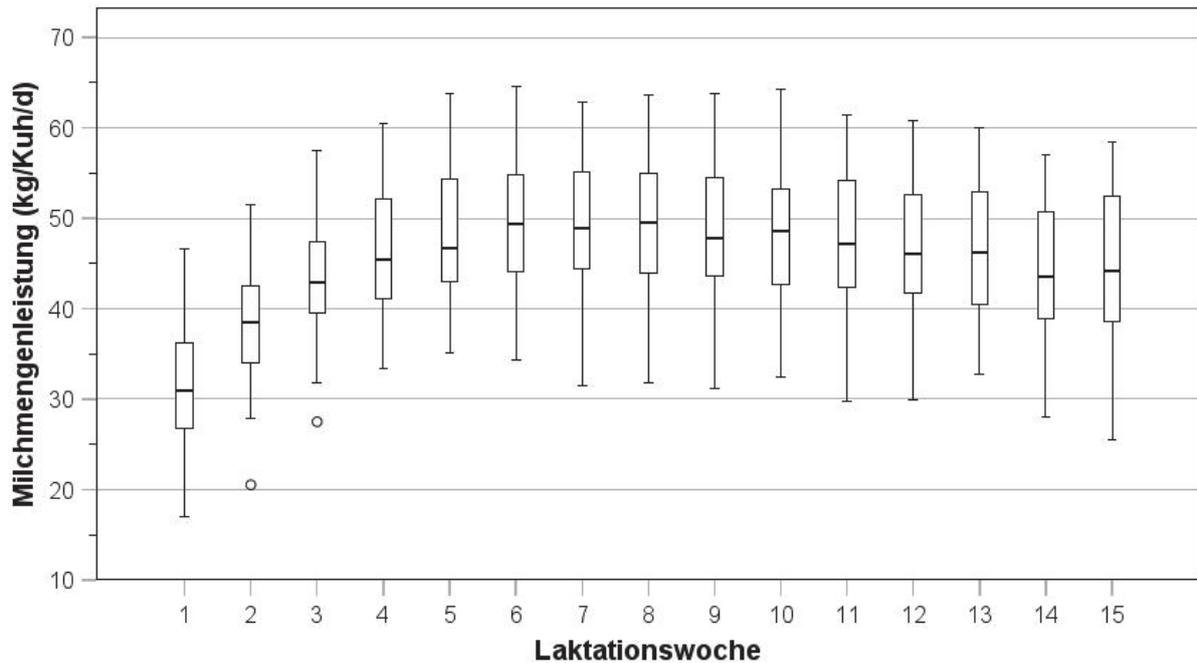


Abbildung 6: Verteilung der Milchmengenleistung (kg/Kuh/d) in der VG während des Untersuchungszeitraums

4.1.1.4 Milchinhaltsstoffe während des Untersuchungszeitraums

Die statistischen Kennzahlen sind in Tabelle 20 zusammengefasst. Der mittlere Milcheiweißgehalt lag sowohl in der ASG als auch in der VG bei 3,3 %. Die mittlere tägliche Milcheiweißmenge in der VG hingegen fiel mit 1528 g geringgradig höher als in der ASG (1444 g) aus. Während der Untersuchung konnten in der ASG höhere Milchfettgehalte als auch höhere tägliche Milchfettmengen festgestellt werden. In dieser Gruppe wurde ein Milchfettgehalt von durchschnittlich 3,8 % erreicht, wohingegen die VG ein Fettgehalt von 3,5 % beobachtet wurde. Ähnlich verhielt es sich mit den täglichen Fettmengen (ASG 1649 g/kg, VG 1589 g/kg). Die Bereiche der Perzentile bestätigten diesen Trend sowohl für die Fettmengen als auch für die Fettgehalte. Die Milchharnstoffkonzentration lag in der ASG im Mittel bei 13,8 mg/l, während in der Milch der VG im Schnitt 17,2 mg/l Harnstoff enthalten waren. Die geringste Harnstoffkonzentration wurde in der ASG gemessen (8,9 mg/l). Die mittlere Stickstoffausscheidung in der ASG lag bei 334,0 g/Kuh/d und bei 362,2 g/Kuh/d in der VG. Die Tiere der ASG zeigten insgesamt höhere Milchzellzahlergebnisse als die VG.

Tabelle 20: Durchschnittliche Milchinhaltsstoffe während des Untersuchungszeitraums

	n	Inhalt		\bar{x}	SD	Median	Min.	Max.	Perzentil	
									25	75
ASG	37	Eiweiß	%	3,3	0,2	3,3	3,0	3,9	3,2	3,4
			g/d	1444	145	1446	1074	1698	1346	1567
		Fett	%	3,8	0,5	3,8	2,7	4,8	3,5	4,1
			g/d	1649	232	1645	1216	2076	1457	1851
		Laktose	%	4,8	0,1	4,8	4,6	5,1	4,8	4,9
			g/d	2122	260	2135	1361	2601	1934	2302
		MUN	mg/l	13,8	2,3	13,6	8,9	20,4	12,1	15,2
		N	g/Kuh/d	334,0	21,3	335,0	275,2	392,5	322,4	349,1
Zellen	$\times 10^3/\text{ml}$	187	647	36	13	3939	26	85		
VG	35	Eiweiß	%	3,3	0,3	3,3	2,9	4,0	3,1	3,5
			g/d	1528	165	1518	1158	1823	1438	1636
		Fett	%	3,5	0,5	3,4	2,6	4,9	3,1	3,7
			g/d	1589	229	1593	972	1954	1470	1768
		Laktose	%	4,8	0,1	4,9	4,5	5,0	4,7	4,9
			g/d	2242	332	2196	1563	2890	2001	2523
		MUN	mg/l	17,2	2,2	16,5	12,0	21,4	15,7	18,7
		N	g/Kuh/d	362,2	32,3	368,1	294,2	419,8	343,8	389,2
Zellen	$\times 10^3/\text{ml}$	128	240	29	15	961	22	68		

n = Anzahl untersuchter Tiere, \bar{x} = arith. Mittel, SD = Standardabweichung, Min. = Minimalwert, Max. = Maximalwert, N = Milchstickstoffkonzentration

Der Verlauf des Milcheiweißgehaltes während des Untersuchungszeitraums zeigte in der ASG bis zur einschließlich 5. Laktationswoche ein Absinken der mittleren Gehalte (Abbildung 7). Von der 5. bis zur einschließlich 7. Laktationswoche veränderten sich die Mittelwerte kaum merklich. In der 6. und 7. Laktationswoche zeigte jeweils ein Tier höhere Milcheiweißgehalte als der Rest dieser Gruppe. Während der 8., 9. und 10. Laktationswoche stiegen die Mittelwerte leicht an. Zum Ende des Untersuchungszeitraumes blieben die mittleren Milcheiweißgehalte weitestgehend stabil. In der VG fielen die mittleren Milcheiweißgehalte ebenfalls mit Einsetzen der Laktation ab (Abbildung 8). Zwischen der 4. und 6. Laktationswoche kam es nicht zu einer Veränderung der Mittelwerte. Ab der 7. Laktationswoche zeigten sich eine Tendenz zu einer Mittelwerterhöhung der Eiweißgehalte in Richtung der 3,5%-Marke mit fortschreitender Laktation.

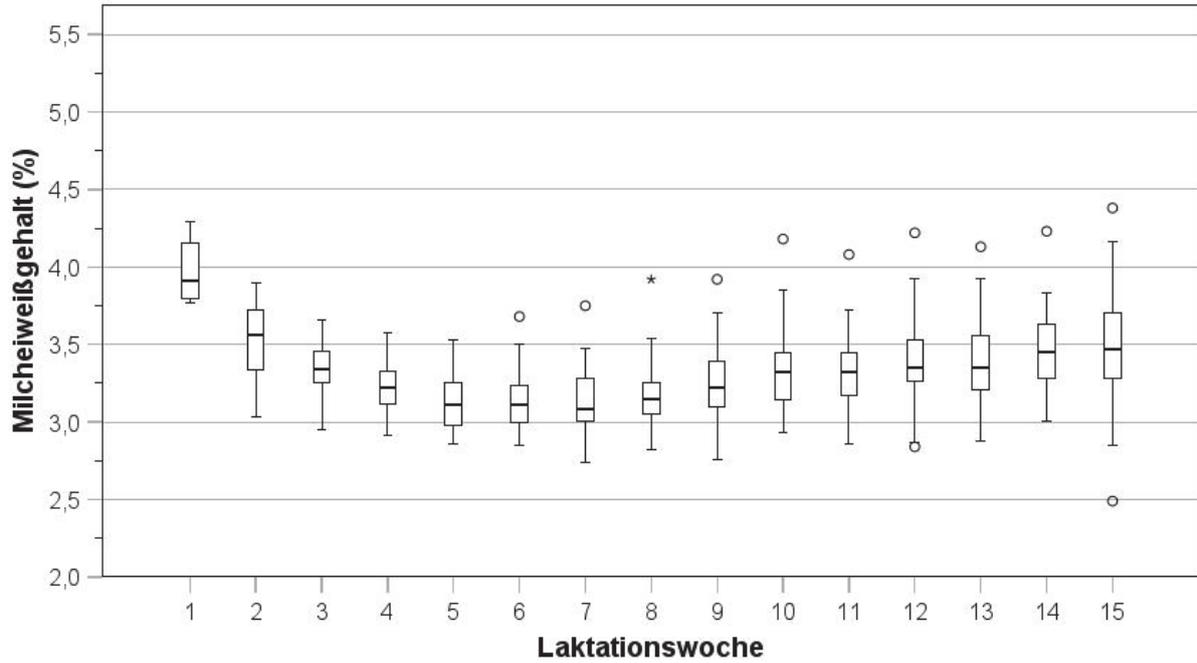


Abbildung 7: Verteilung des Milcheiweißgehalts (%) in der ASG während des Untersuchungszeitraums

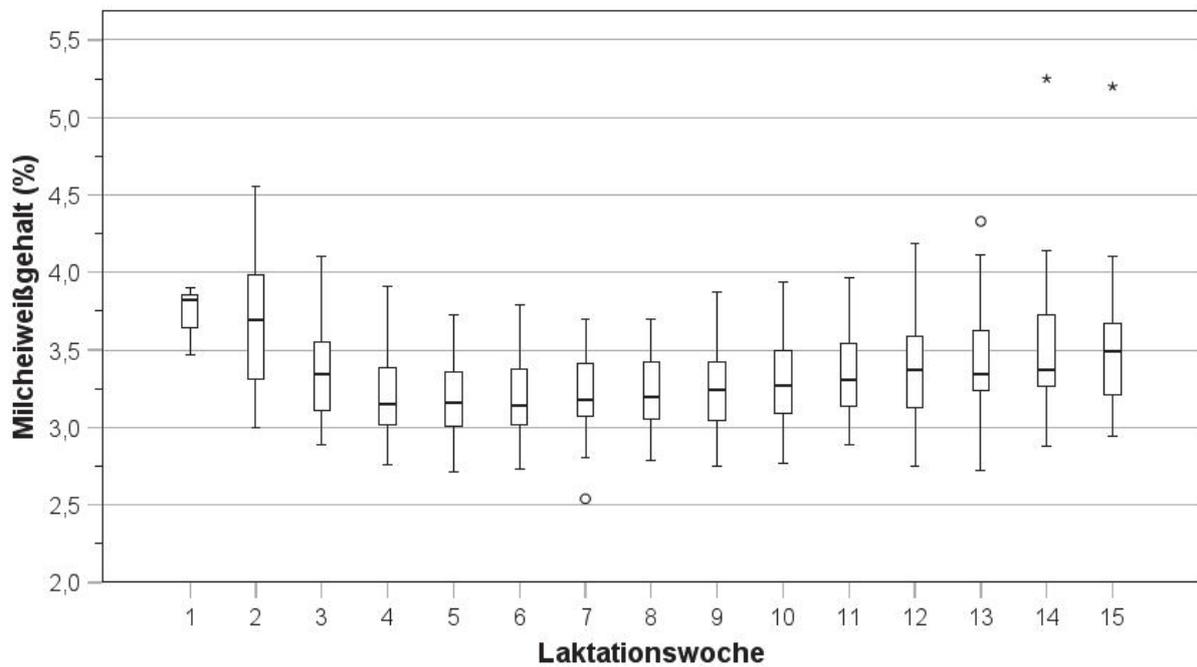


Abbildung 8: Verteilung des Milcheiweißgehalts (%) in der VG während des Untersuchungszeitraums

Der Verlauf der Milchfettgehalte während des Untersuchungszeitraums zeigte in der ASG ein Absinken mit beginnender Laktation bis zur 7. Laktationswoche (Abbildung 9). Fettgehalte von über 5 % und 6 %, aber auch unter 2,5 % waren in diesem Zeitraum zu verzeichnen. Ab der 8. Laktationswoche lagen die Mittelwerte weitestgehend stabil zwischen 3,5 und 4,0 %. Auch hier fanden sich Werte von über 5,0 % und unter 2,5 %. Der mittlere Milchfettgehalt in der VG fiel bis zur 9. Laktationswoche mit sowohl sehr geringen als auch verhältnismäßig hohen Fettgehalten einzelner Tiere in den Wochen 3, 5, 6 und 9 (Abbildung 10) auf. Ab der 10. Laktationswoche veränderten sich die mittleren Fettgehalte dieser Gruppe wenig. Die Mittelwerte schwankten zwischen 3,0 und 3,5 % mit vereinzelt Werten von über 4,0 %.

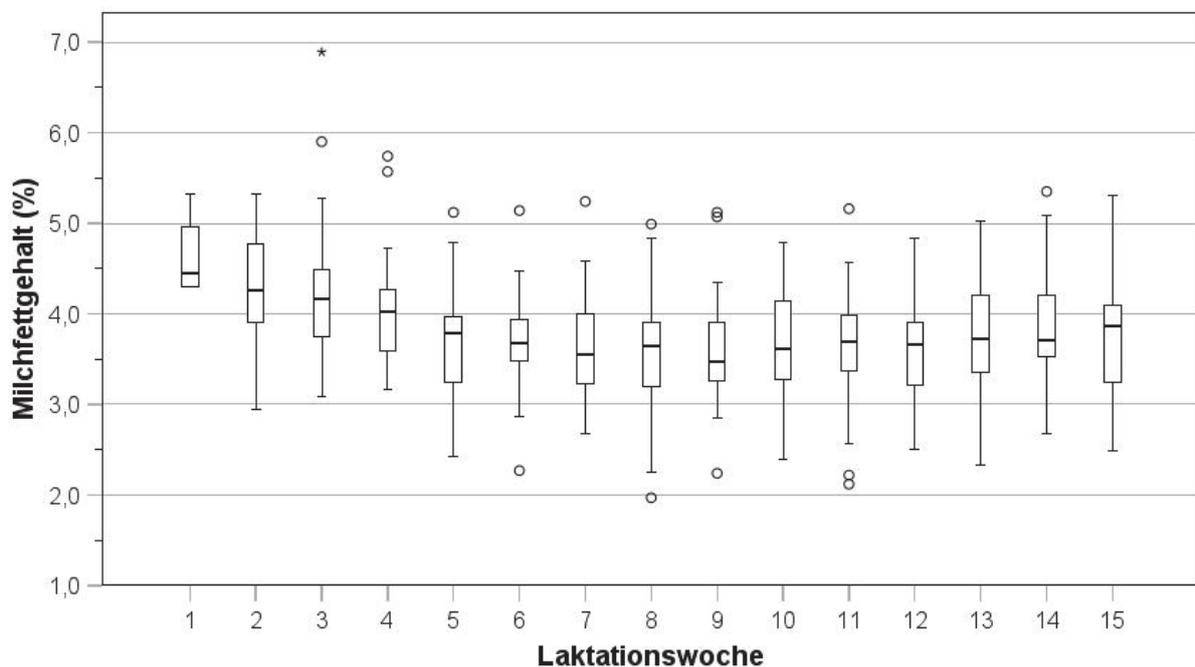


Abbildung 9: Verteilung des Milchfettgehalts (%) in der ASG während des Untersuchungszeitraums

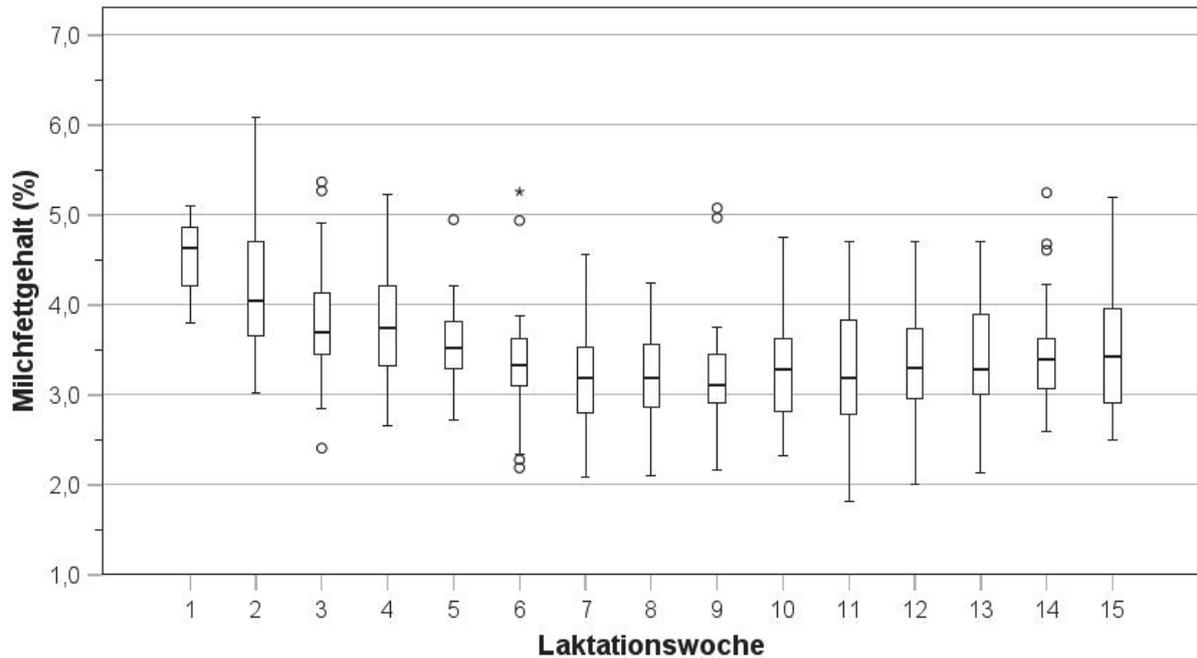


Abbildung 10: Verteilung des Milchfettgehalts (%) in der VG während des Untersuchungszeitraums

In der ASG schwankten die Mittelwerte der Harnstoffkonzentration während des Untersuchungszeitraums zwischen 10,0 mg/l und 15,0 mg/l (Abbildung 11). Zudem wurden mehrfach sowohl sehr geringe (3,9 mg/l) als auch sehr hohe Milchharnstoffkonzentrationen (28,3 mg/l) über den gesamten Untersuchungszeitraum verteilt gemessen. Die Milchharnstoffkonzentrationen in der VG zeigten über den Untersuchungszeitraum hinweg deutlichere Mittelwertschwankungen als die der ASG (Abbildung 12). Hier befanden sich die Milchharnstoffkonzentrationen während des Untersuchungszeitraums zwischen 15,0 mg/l und 20,0 mg/l, außer in der 1. Laktationswoche. In dieser Gruppe konnte bei nur einem Tier eine deutlich geringere Harnstoffkonzentration beobachtet werden (8. Laktationswoche).

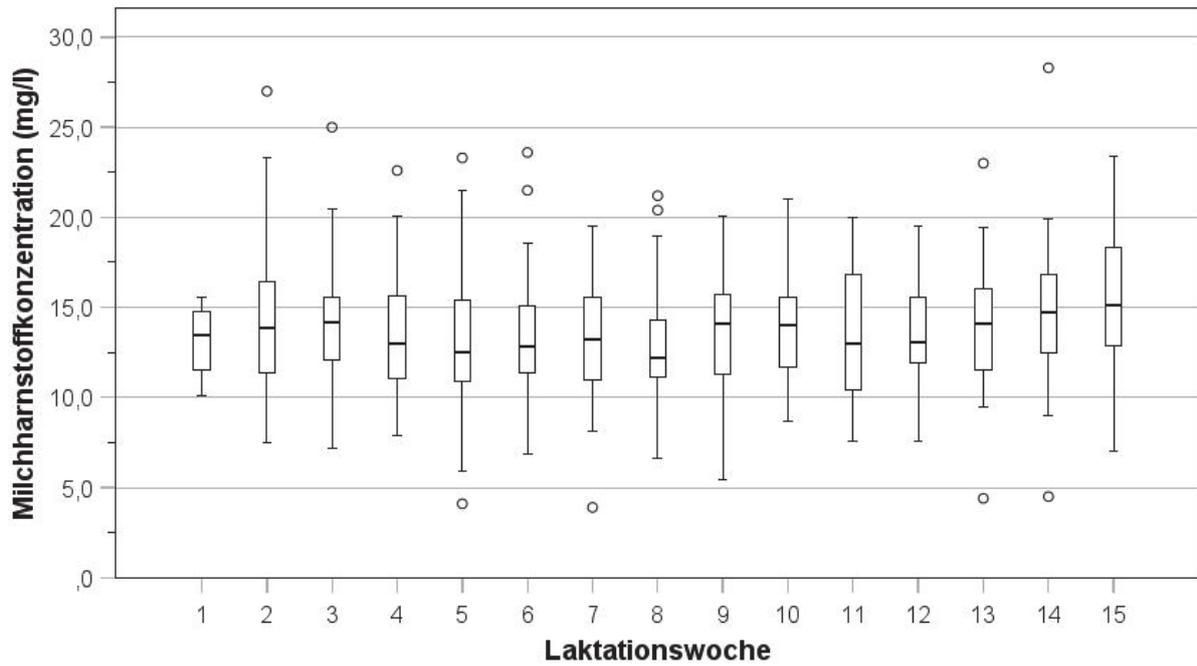


Abbildung 11: Verteilung der Milchharnstoffkonzentration (mg/l) in der ASG während des Untersuchungszeitraums

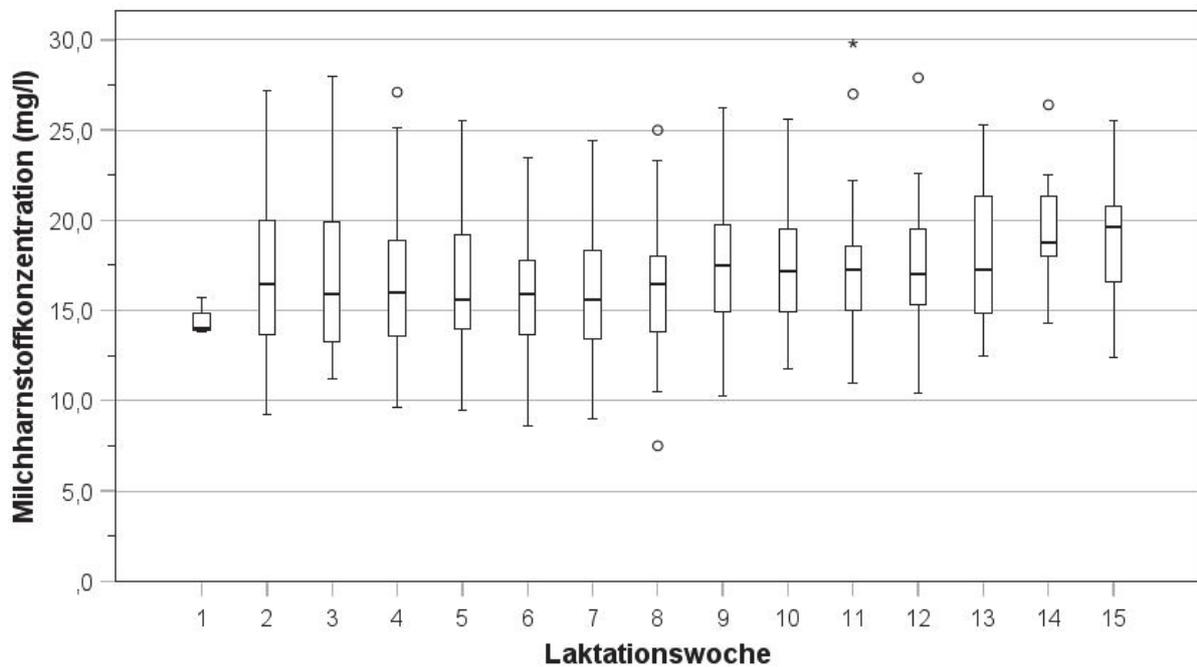


Abbildung 12: Verteilung der Milchharnstoffkonzentration (mg/l) in der VG während des Untersuchungszeitraums

Mit Einsetzen der Laktation bis zur einschließlich 7. Woche p.p. verringerte sich die mittlere Stickstoffausscheidung in der ASG (Abbildung 13). Danach kam es zu einem leichten Anstieg der Mittelwerte auf Werte zwischen 300 g/Kuh/d und 350 g/Kuh/d, allerdings mit einem insgesamt geringen Streuungsbereich. In der VG lag die durchschnittliche Stickstoffausscheidung während der 15-wöchigen Untersuchung bei 362,2 mg/l (Tabelle 20). Im Verlauf ließ sich zunächst ein leichter Anstieg der Stickstoffausscheidung von der 1. auf die 2. Laktationswoche feststellen, gefolgt von einem Rückgang der Stickstoffmenge bis zur 4. Laktationswoche (Abbildung 14). Danach zeigte sich ein Trend zu allmählich ansteigenden Mittelwerten und einem insgesamt größeren Datenstreuungsbereich als in der ASG.

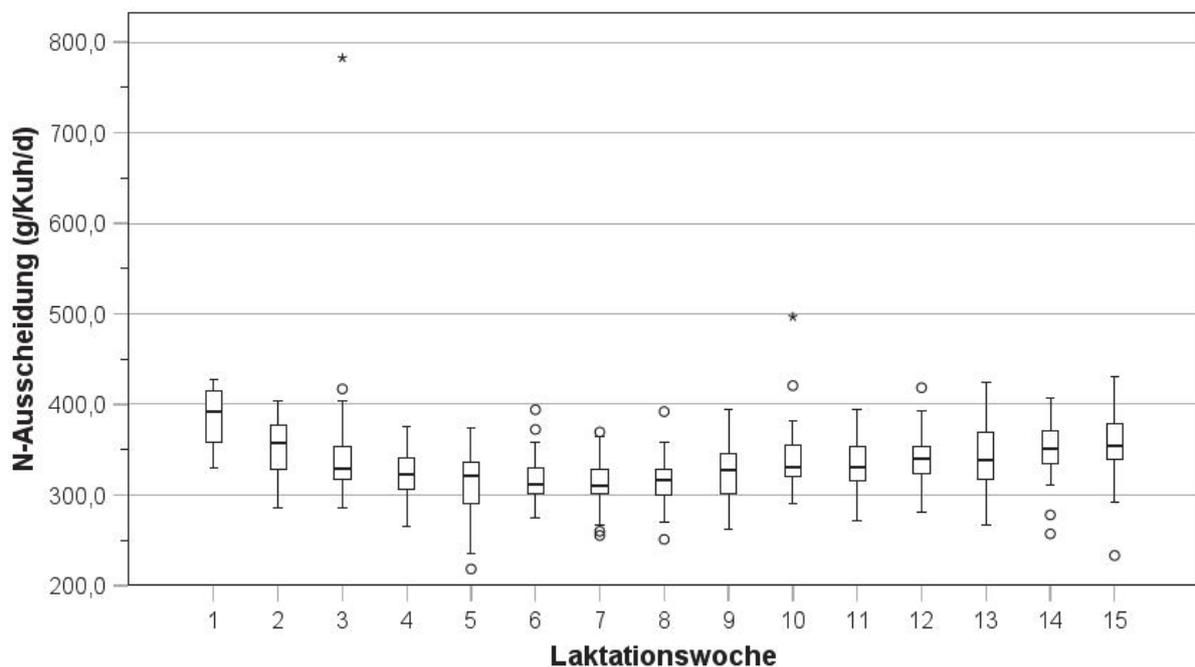


Abbildung 13: Verteilung der geschätzten N-Ausscheidung (g/Kuh/d) in der ASG während des Untersuchungszeitraums

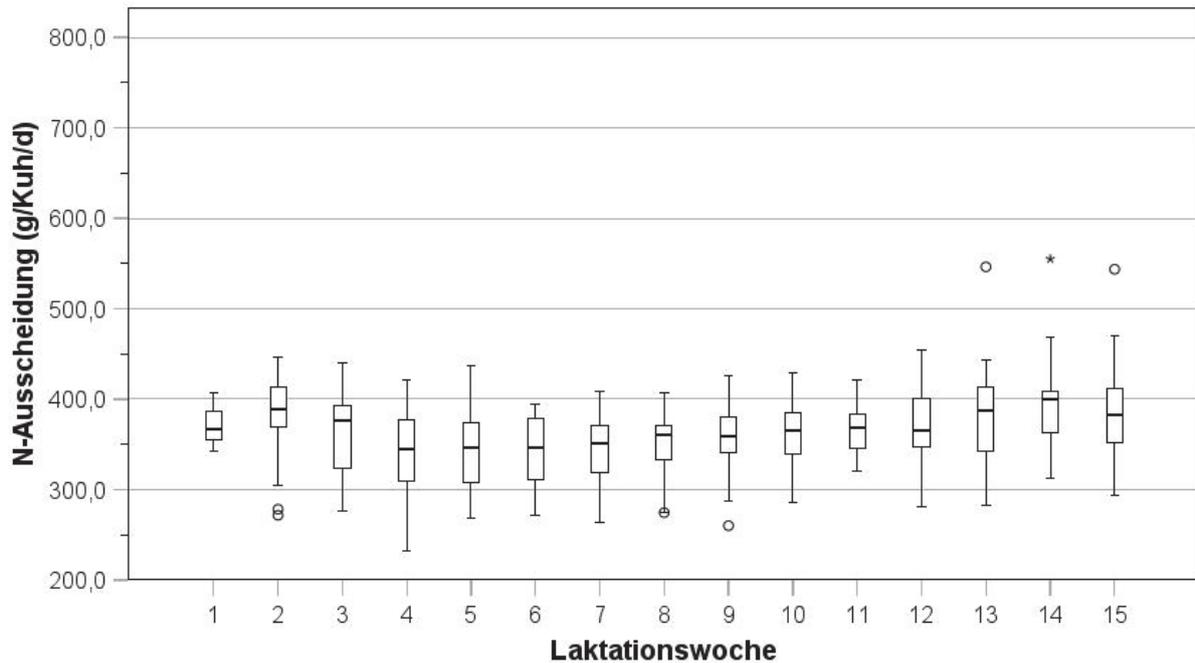


Abbildung 14: Verteilung der geschätzten N-Ausscheidung (g/Kuh/d) in der VG während des Untersuchungszeitraums

4.1.1.5 Kolostrumqualität

Bei der Bestimmung der Kolostrumqualität mithilfe eines optischen Refraktometers wird die spezifische Dichte des Kolostrums auf einer Brix-Skala angegeben. Das Ergebnis und die IgG-Konzentration im Kolostrum korrelieren (siehe 3.3.1, Tabelle 10). Brix-Werte über 22 % sprechen für eine hohe IgG-Konzentration (> 50 g/l), während Brix-Werte unter 19 % für eine geringe IgG-Konzentration sprechen (< 25 g/l).

In der ASG lag die mittlere Kolostrumqualität bei 25,9 % Brix, während in der VG im Mittel 25,3 % Brix gemessen wurden. In dieser Untersuchungsgruppe wurde auch die insgesamt geringste Kolostrumqualität gemessen (16,5 % Brix). Dieser Wert war deutlich geringer als der Rest der Daten in dieser Untersuchungsgruppe (Tabelle 21). In der ASG lag der geringste Messwert hingegen bei 18,4 % Brix. Der insgesamt höchste Brixwert (35,6 %) wurde in der ASG gemessen (Tabelle 21).

Tabelle 21: Deskriptive statistische Maßzahlen der Kolostrumqualität

	n	\bar{x}	SD	Median	Min.	Max.	Perzentil	
							25	75
ASG	27	25,9	4,0	25,1	18,4	35,6	22,4	28,3
VG	29	25,3	3,5	25,2	16,5	30,5	23,8	28,0

n = Anzahl untersuchter Tiere, \bar{x} = arith. Mittel, SD = Standardabweichung, Min. = Minimalwert, Max. = Maximalwert

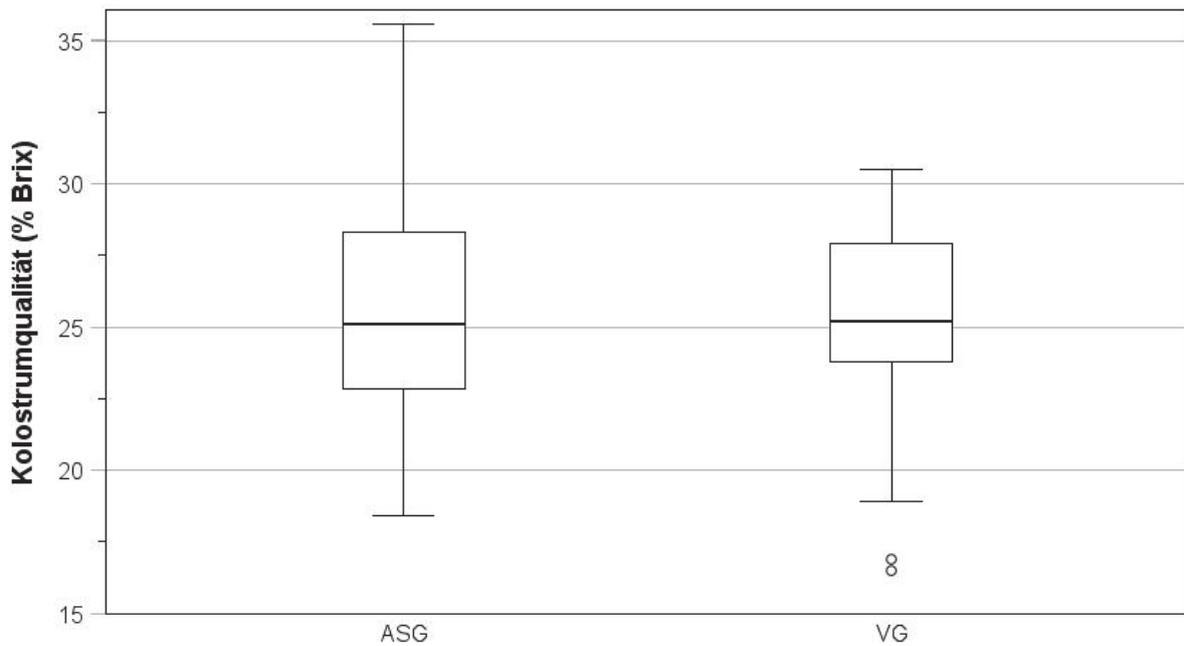


Abbildung 15: Verteilung der gemessenen Kolostrumqualität (% Brix) in der ASG und der VG

4.1.1.6 305-Tage-Gesamtleistung

Die 305-Tage-Milchleistung wurde von insgesamt 35 Tieren aus der ASG und von 31 Tieren aus der VG erfasst (Tabelle 22). Die durchschnittliche Milchmengenleistung in 305 Laktationstagen lag bei 12.160 kg in der ASG und bei 12.636 kg in der VG. Die höchste 305-Tage-Leistung wurde in der VG erreicht (15.604 kg). Die geringste Leistung wurde in der ASG gemessen (7398 kg), wobei es sich hier im Vergleich zu dem Rest dieser Gruppe um einen sehr niedrigen Wert handelte (Abbildung 16). Die mittlere 305-Tage-Eiweißmenge betrug in der ASG 429 kg, in der VG 436 kg. In der ASG sind insgesamt zwei Tiere und in der VG ein Tier mit sehr geringen Milcheiweißmengen beobachtet worden (Abbildung 17). Die mittlere 305-Tage-Fettmenge der ASG lag bei 464 kg und in der VG bei 443 kg. In der VG waren zwei Tiere mit sehr geringen Milchfettmengen zu finden (Abbildung 18). Sowohl die höchste Eiweiß- als auch Fettmenge wurde in der ASG gemessen.

Tabelle 22: Deskriptive statistische Maßzahlen: 305-Tage-Gesamtleistung (kg)

	n	Inhalt	\bar{x}	SD	Median	Min.	Max.	Perzentil	
								25	75
ASG	35	Milch	12.160	1551	12.153	7398	15.060	11.402	13.256
		Eiweiß	429	46	427	293	50	412	458
		Fett	464	68	461	315	571	414	515
VG	31	Milch	12.636	1986	12.573	7969	15.604	11.297	14.477
		Eiweiß	436	54	439	264	504	396	482
		Fett	443	67	449	233	539	420	481

n = Anzahl untersuchter Tiere, \bar{x} = arith. Mittel, SD = Standardabweichung, Min. = Minimalwert, Max. = Maximalwert

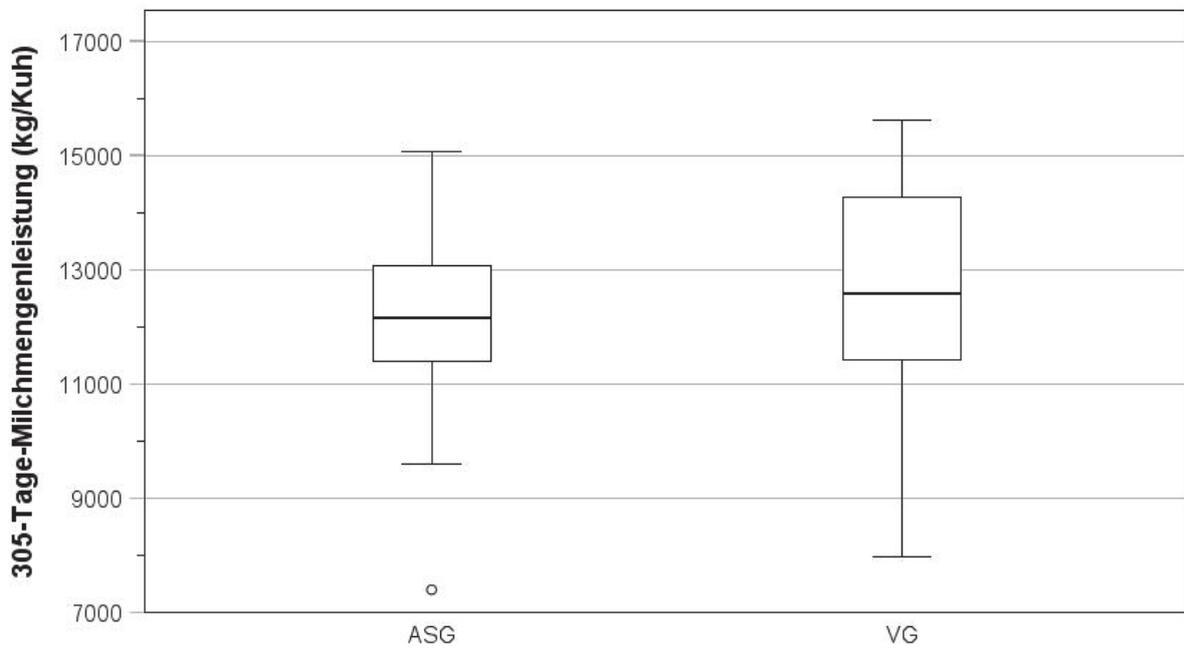


Abbildung 16: Verteilung der 305-Tage-Gesamtmilchmengenleistung (kg/Kuh) in der ASG und der VG

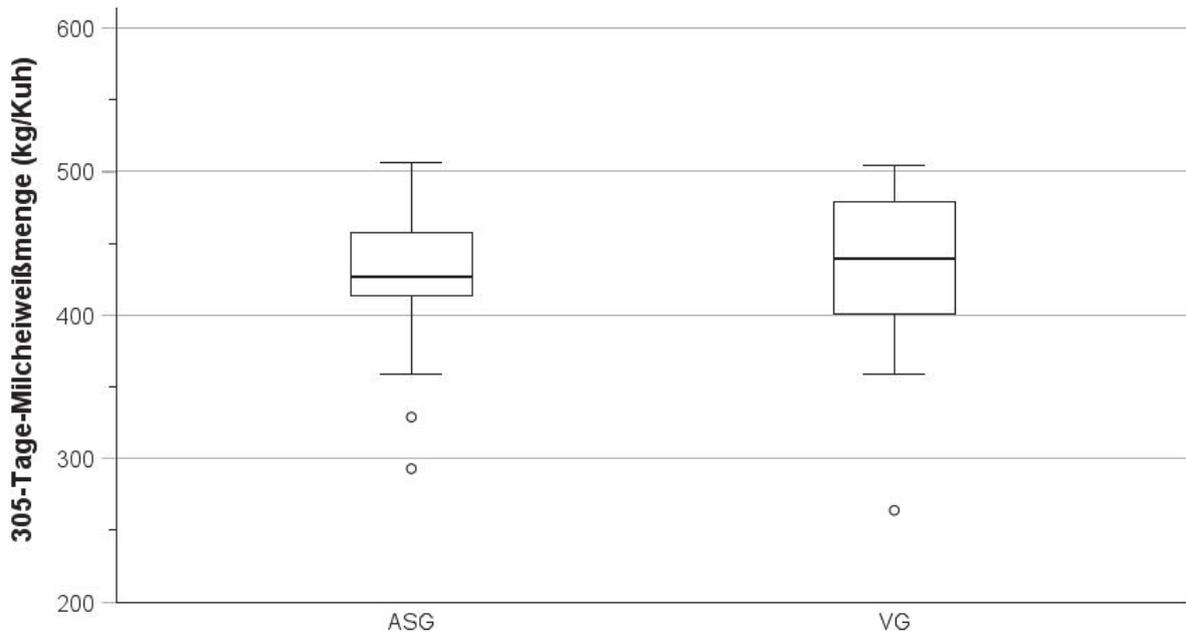


Abbildung 17: Verteilung der 305-Tage-Milcheiweißmenge (kg/Kuh) in der ASG und der VG

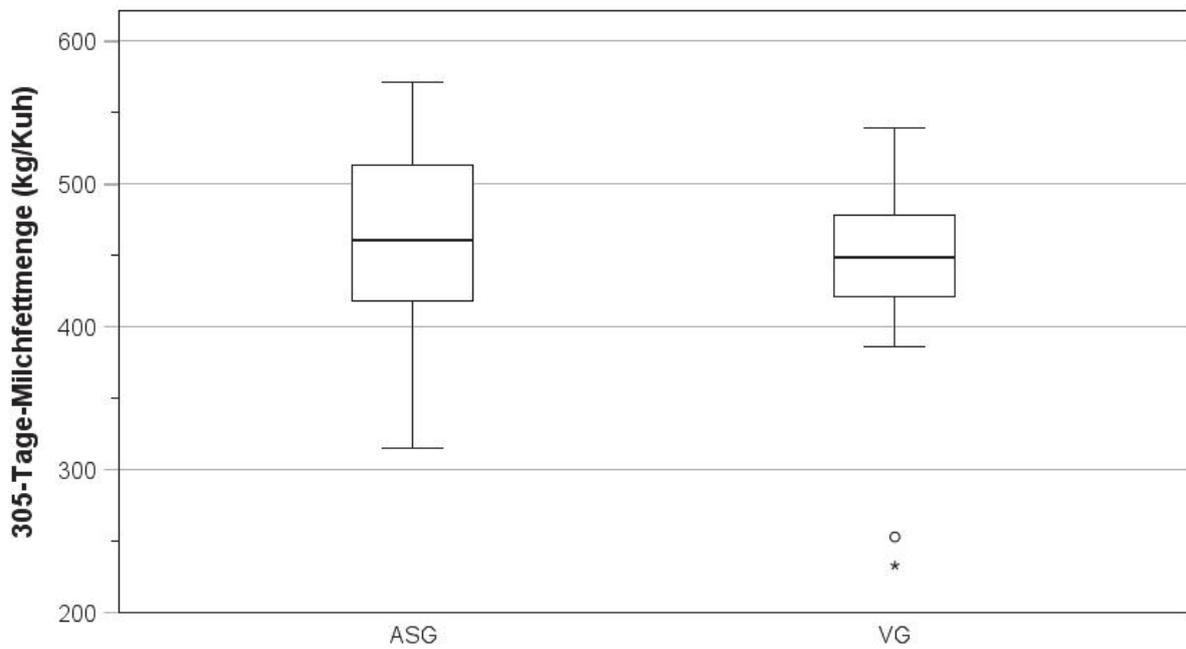


Abbildung 18: Verteilung der 305-Tage-Milchfettmenge (kg/Kuh) in der ASG und der VG

4.1.2 Fruchtbarkeit

4.1.2.1 Fruchtbarkeitskennzahlen

Bei den Tieren der ASG vergingen von der ersten bis zur erfolgreichen Besamung im Schnitt 20 Tage, in der VG waren es 23 Tage (Tabelle 23). 75 % der Tiere in der ASG benötigten maximal 24 Tage, um erneut tragend zu werden. In der VG wurden 75 % der Probanden erst nach 38 Tagen wieder trchtig. Die Rastzeit unterschied sich kaum zwischen den beiden Untersuchungsgruppen (ASG 98 Tage, VG 98 Tage). Die Zahl der zur Besamung verwendeten Samenportionen lag sowohl in der ASG als auch der VG bei 2. In der ASG wurden 20 Tiere bereits mit der ersten Besamung erneut trchtig, in der VG waren 18 Tiere nach der Erstbesamung tragend. In beiden Gruppen benötigten jeweils zwei Tiere mehr als drei Samenportionen für eine Trächtigkeit (Tabelle 24). Die Zwischentragezeit dauerte in der ASG im Schnitt 118 Tage, in der VG rund 121 Tage. Der Besamungsindex lag bei 1,77 in der ASG und bei 1,70 in der VG.

Tabelle 23: Deskriptive statistische Maßzahlen der Fruchtbarkeitskennzahlen

		n	\bar{x}	SD	Median	Min.	Max.	Perzentil	
								25	75
ASG	VZ	35	20	36,9	0	0	175	0	24
	RZ	35	98,1	18,3	94	60	142	86	102
	PA	35	2	1,4	1	1	7	1	2
	ZTZ	35	118,1	47,5	102	74	299	89	126
VG	VZ	31	23,4	40,1	0	0	178	0	38
	RZ	31	97,6	16,7	94	71	152	87	106
	PA	31	2	1,1	1	1	6	1	2
	ZTZ	31	121	43	108	71	272	90	148

n = Anzahl untersuchter Tiere, \bar{x} = arith. Mittel, SD = Standardabweichung, Min. = Minimalwert, Max. = Maximalwert, VZ = Verzögerungszeit, RZ = Rastzeit, PA = Portionsaufwand, ZTZ = Zwischentragezeit

Tabelle 24: Häufigkeitsverteilung des Portionsaufwands

Portions- aufwand	1		2		3		4		5		6		7	
	n	%	n	%	n	%	n	%	n	%	n	%	n	%
ASG	20	54,1	10	27,0	3	8,1	0	0	0	0	1	2,7	1	2,7
VG	18	51,4	8	22,9	3	8,6	1	2,9	0	0	1	2,9	0	0

n = Anzahl der betroffenen Tiere

4.1.2.2 Trächtigkeitsergebnis

Insgesamt wurden in der ASG 31 und in der VG 22 Blutproben auf die P4- und die PAG-Konzentration analysiert (Tabelle 25). Ab einem Progesteronwert von über 1,0 ng/ml kann von einer Konzeption ausgegangen werden. Eine Konzentration an trchtigkeitsassoziierten

Glykoproteinen von mehr als 0,3 ng/ml spricht für eine bestehende Trächtigkeit. In der ASG lag der Progesteronwert am 19. Tag nach der Erstbesamung bei 26 von 31 Tieren über 1,0 ng/ml (83,9 %). Am 31. Tag nach der Erstbesamung konnte hingegen nur noch bei 17 Kühen eine Trächtigkeit durch eine erhöhte PAG-Konzentration bestätigt werden (54,8 %). In der VG lag der Progesteronwert am 19. Tag nach Erstbesamung bei 19 von 22 Tieren über 1,0 ng/ml (86,4 %). Am 31. Tag konnte in dieser Gruppe bei 68,2 % der Tiere ein PAG-Wert von über 0,3 ng/ml beobachtet und damit eine Trächtigkeit bestätigt werden.

Tabelle 25: Häufigkeitsverteilung der Trächtigkeitsergebnisse per Blutprobenanalyse

	Grenzwert	Einheit	ASG		VG	
			n	%	n	%
P ₄	>1,0	ng/ml	26	83,9	19	86,4
	<1,0		5	16,1	3	13,6
PAG	>0,3		17	54,8	15	68,2
	<0,3		14	45,2	7	31,8

n = Anzahl untersuchter Tiere

4.1.2.3 Abkalbverhalten

Der Verlauf der Abkalbung wurde mithilfe eines betriebsinternen Bewertungsschlüssel beurteilt. In der ASG wurden 19 Geburten und in der VG 15 Geburten nicht beobachtet. Der überwiegende Teil der Kälber wurde ohne externe Hilfestellung geboren (ASG 45,9 %, VG 51,4 %). In der VG gab es insgesamt zwei Fälle, bei denen eine leichte bzw. starke Geburtshilfe notwendig war. In der ASG wurden bei einer Geburt leichte geburtshilfliche Maßnahmen ergriffen (Tabelle 26).

Tabelle 26: Häufigkeitsverteilung des Abkalbverhaltens

	ASG		VG	
	n	%	n	%
nicht beobachtet	19	51,4	15	42,9
leicht (ohne Hilfe)	17	45,9	18	51,4
mittel (leichte Hilfe)	1	2,7	1	2,9
schwer (starke Hilfe)	0		1	2,9

n = Anzahl der beobachteten Abkalbungen

4.1.2.4 Geburtsgewicht der Kälber

Das durchschnittliche Geburtsgewicht der Kälber von Kühen aus der ASG lag bei 43,1 kg, das der Kälber aus der VG bei 43,2 kg (Tabelle 27, Abbildung 19). Das schwerste Kalb wurde von einer Kuh aus der VG geboren (54,0 kg), das leichteste Kalb (32,0 kg) stammt von einer Mutterkuh aus der ASG (Tabelle 28). Insgesamt wurden in der VG sechs Kälber mit einem

Geburtsgewicht über 50 kg geboren. In der ASG hingegen war kein Kalb schwerer als 50 kg. In der ASG war fast die Hälfte aller Kälber zwischen 41,0 kg und 45,0 kg schwer, in der VG waren knapp zwei Drittel aller Kälber zwischen 36,0 kg und 45,0 kg schwer. Sowohl in der ASG als auch VG waren drei Kälber leichter als 35,0 kg bei der Geburt (Tabelle 28).

Tabelle 27: Deskriptive statistische Maßzahlen der Geburtsgewichte der Kälber

	n	\bar{x}	SD	Median	Min.	Max.	Perzentil	
							25	75
ASG	37	43,1	4,6	44	32	50	41	46
VG	35	43,2	5,9	42	33	54	39	46

n = Anzahl untersuchter Tiere, \bar{x} = arith. Mittel, SD = Standardabweichung, Min. = Minimalwert, Max. = Maximalwert

Tabelle 28: Häufigkeitsverteilung der Geburtsgewichte der Kälber

Gewicht Kalb (kg)	ASG		VG	
	n	%	n	%
30,0 ≤ 35,0	3	8,1	3	8,6
36,0 ≤ 40,0	4	10,8	10	28,6
41,0 ≤ 45,0	18	48,6	11	31,4
46,0 ≤ 50,0	12	32,4	5	14,4
> 50,0	0	0	6	17,2

n = Anzahl untersuchter Tiere

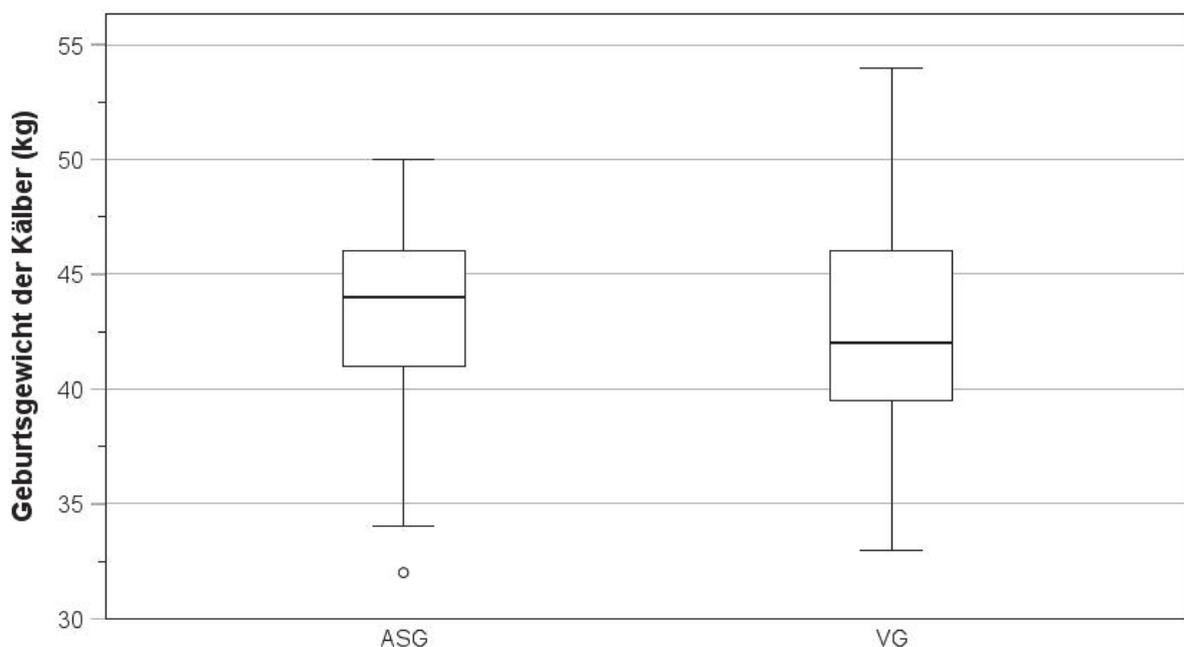


Abbildung 19: Verteilung der Geburtsgewichte der Kälber (kg) in der ASG und der VG

4.1.3 Tiergesundheit

4.1.3.1 Körperkondition

4.1.3.1.1 Rückenfettmuskeldicke

Sieben Tage a.p. betrug die mittlere RFMD in der ASG 51 mm, während bei den Kühen der VG eine mittlere RFMD von 49 mm festgestellt werden konnte (Tabelle 29). Zu diesem Zeitpunkt befand sich in beiden Untersuchungsgruppen jeweils ein Tier mit einer RFMD von 32 mm und von 74 mm. Ante partum wurde in der VG am häufigsten eine RFMD von 45 mm (5-mal) und in der ASG von 44 bzw. 62 mm (jeweils 4-mal) gemessen. Mit Einsetzen und Fortschreiten der Laktation hat die Kondition sowohl in der ASG als auch in der VG abgenommen (Abbildung 20 und Abbildung 21). Am letzten Untersuchungstag lag die mittlere RFMD der ASG und der VG nur noch bei 36 mm. Die geringste RFMD betrug in beiden Untersuchungsgruppen 25 mm, wohingegen die größte RFMD an diesem Tag bei 50 mm in der ASG und bei 51 mm in der VG lag. Insgesamt wurde zu diesem Zeitpunkt eine RFMD von 30 bzw. 33 mm in der ASG (jeweils 5-mal) sowie jeweils 3-mal eine RFMD von 30, 32, 37, 40 und 49 mm am häufigsten in der VG festgestellt.

Tabelle 29: Deskriptive statistische Maßzahlen der RFMD (mm)

	Tage p.p.	n	\bar{x}	SD	Median	Min.	Max.	Perzentil	
								25	75
ASG	-7	37	51	9	51	32	74	44	58
	1-3	37	49	9	48	33	70	43	54
	14	37	45	10	45	30	60	39	49
	21	37	43	7	42	30	60	39	49
	35	37	39	7	38	25	53	34	45
	63	37	36	6	34	25	50	31	41
VG	-7	35	49	10	46	32	74	43	56
	1-3	35	47	8	47	30	68	41	53
	14	35	45	9	44	25	62	38	50
	21	35	42	8	41	27	65	38	47
	35	35	37	11	40	0	55	33	42
	63	35	36	7	36	25	51	32	40

n = Anzahl untersuchter Tiere, \bar{x} = arith. Mittel, SD = Standardabweichung, Min. = Minimalwert, Max. = Maximalwert

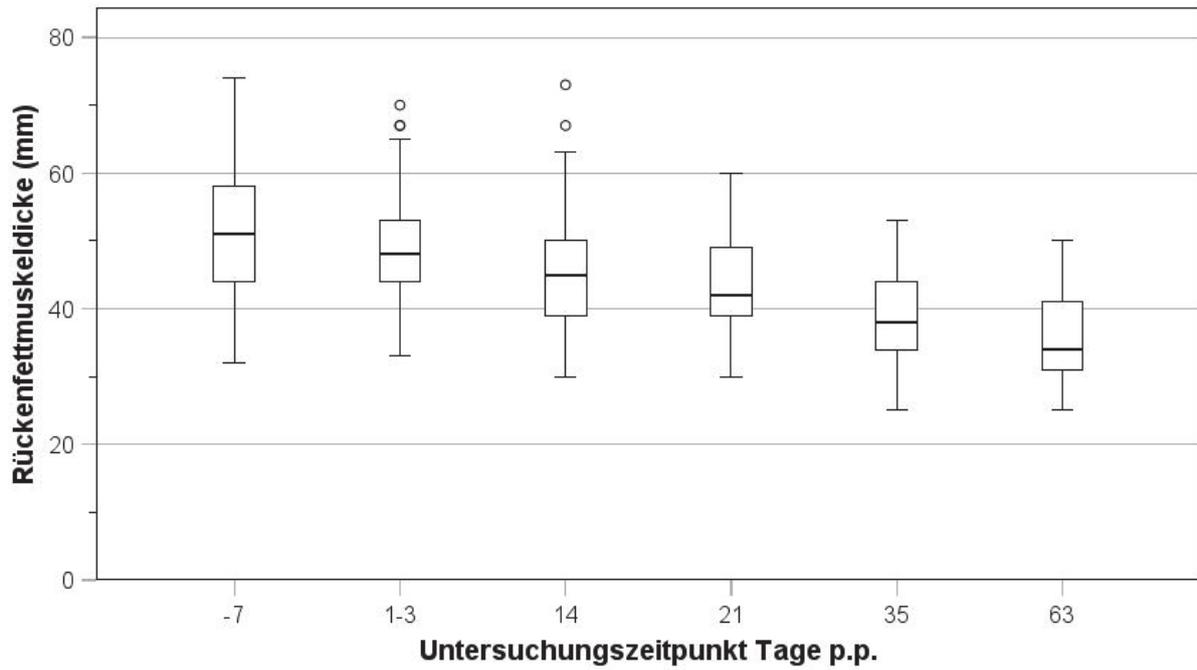


Abbildung 20: Verteilung der RFMD (mm) in der ASG während der sechs Untersuchungszeitpunkte

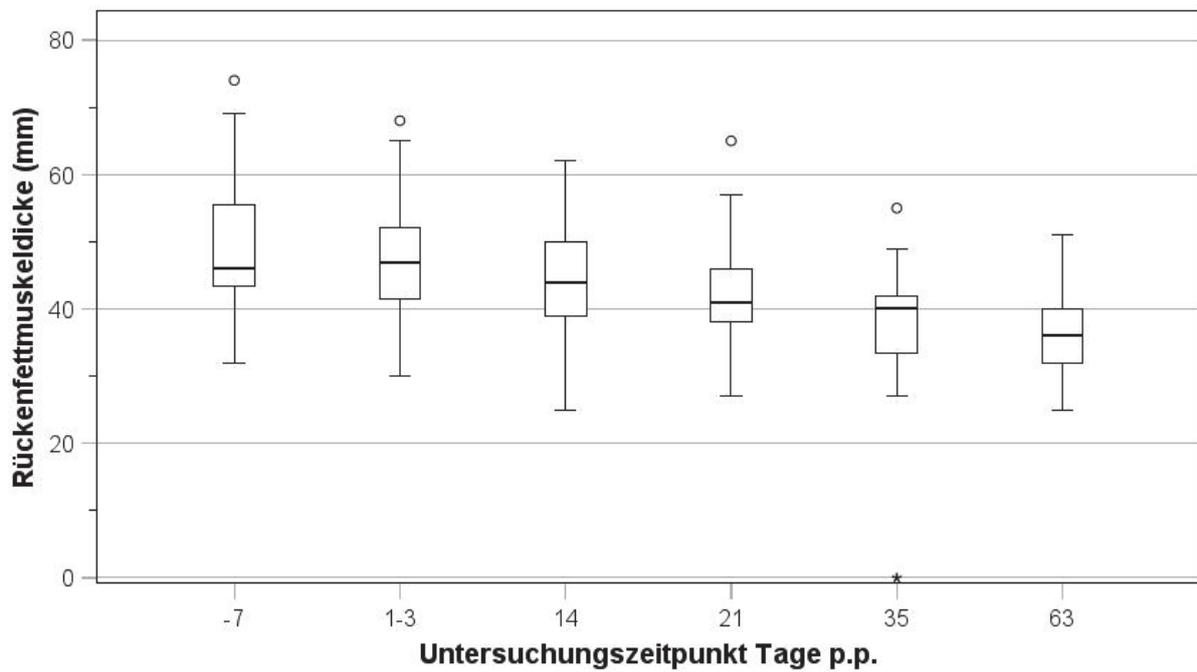


Abbildung 21: Verteilung der RFMD (mm) in der VG während der sechs Untersuchungszeitpunkte

4.1.3.1.2 *Fettdicke*

Die Fettdicke lag in beiden Untersuchungsgruppe a.p. bei durchschnittlich 13 mm. Die dicksten Tiere in beiden Gruppen wiesen eine Fettdicke von 24 mm auf. Die dünnsten Tiere in der ASG hatten eine Fettdicke von 5 mm, in der VG von 7 mm. Ante partum wurde in der VG eine Fettdicke von 10 mm am häufigsten (6-mal) und in der ASG wurden Fettdicken von 10 mm und 18 mm (6-mal und 5-mal) am häufigsten gemessen. Im Verlauf der Untersuchung nahm die Fettdicke in beiden Gruppen ab. Am 63. Untersuchungstag wurde in der ASG insgesamt 12-mal eine Fettdicke von 5 mm und 6-mal eine Fettdicke von 8 mm gemessen. Die durchschnittliche Fettdicke in dieser Gruppe lag zu dieser Untersuchung bei 8 mm. In der VG wurde insgesamt 8-mal eine Fettdicke von 5 mm gemessen, der durchschnittliche Wert betrug hier 9 mm am 63. Untersuchungstag (Tabelle 30, Abbildung 22 und Abbildung 23).

Tabelle 30: Deskriptive statistische Maßzahlen der Fettdicke (mm)

	Tage p.p.	n	\bar{x}	SD	Median	Min.	Max.	Perzentil	
								25	75
ASG	-7	37	13	4	13	5	24	10	17
	1-3	37	13	4	14	5	22	10	15
	14	37	12	5	11	5	28	8	14
	21	37	11	3	11	5	20	9	14
	35	37	10	3	10	5	16	8	12
	63	37	8	3	8	5	15	5	10
VG	-7	35	13	4	12	7	24	10	15
	1-3	35	12	4	12	6	23	10	15
	14	35	12	4	11	5	20	9	15
	21	35	11	3	11	5	20	9	12
	35	35	9	3	10	0	15	8	11
	63	35	9	3	9	5	15	7	10

n = Anzahl untersuchter Tiere, \bar{x} = arith. Mittel, SD = Standardabweichung, Min. = Minimalwert, Max. = Maximalwert

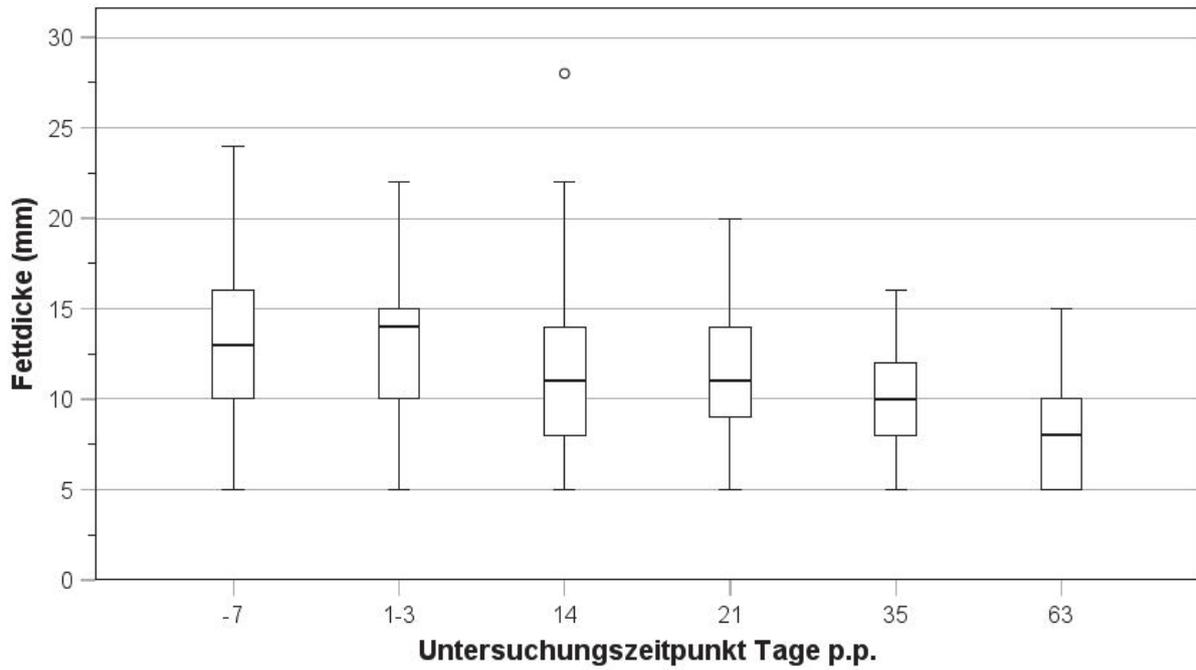


Abbildung 22: Verteilung der Fettdicke (mm) in der ASG während der sechs Untersuchungszeitpunkte

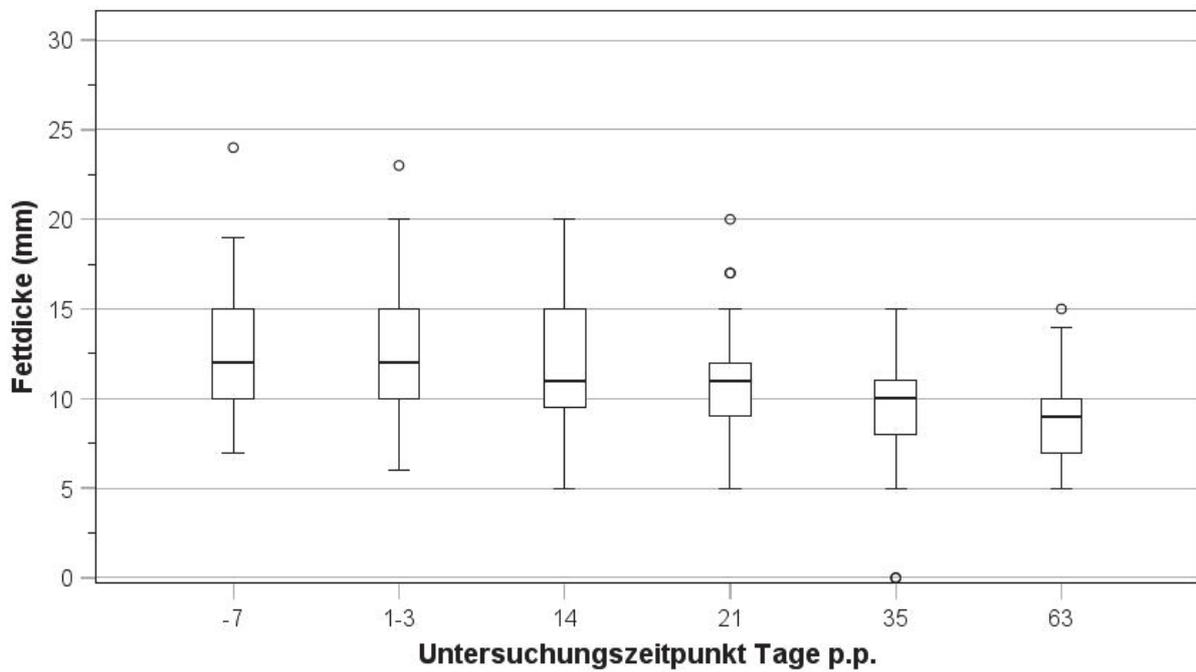


Abbildung 23: Verteilung der Fettdicke (mm) in der VG während der sechs Untersuchungszeitpunkte

4.1.3.1.3 Muskeldicke

Ante partum wurde in der ASG insgesamt 6-mal und in der VG insgesamt 7-mal eine Muskeldicke von 40 mm gemessen. Die durchschnittliche Muskeldicke zu diesem Zeitpunkt lag bei 38 mm in der ASG und 37 mm in der VG. Wie bereits die RFMD und die FD hat auch die Muskeldicke mit Fortschreiten der Untersuchung abgenommen (Abbildung 24 und Abbildung 25). Die Mittelwerte sanken von anfänglich 38 bzw. 37 mm auf 28 mm Muskeldicke in beiden Untersuchungsgruppen zum 63. Untersuchungstag ab. In der ASG wurde zu diesem Zeitpunkt insgesamt 9-mal eine Muskeldicke von 25 mm gemessen. In der VG wurde insgesamt 9-mal eine Muskeldicke von 25 mm und 8-mal eine Muskeldicke von 30 mm festgestellt. Die dünnsten Tiere wiesen in beiden Gruppen eine Muskeldicke von 20 mm zum Ende des Untersuchungszeitraums auf (Tabelle 31).

Tabelle 31: Deskriptive statistische Maßzahlen der Muskeldicke (mm)

	Tage p.p.	n	\bar{x}	SD	Median	Min.	Max.	Perzentil	
								25	75
ASG	-7	37	38	5	38	27	50	33	42
	1-3	37	36	5	35	28	50	34	39
	14	37	33	6	33	25	45	30	35
	21	37	32	4	33	24	40	39	35
	35	37	29	4	29	20	37	27	33
	63	37	28	4	27	20	35	25	31
VG	-7	35	37	6	35	25	50	33	40
	1-3	35	35	5	35	24	45	31	38
	14	35	33	5	34	20	43	30	36
	21	35	32	5	30	22	45	29	35
	35	35	28	8	30	0	40	25	32
	63	35	28	4	28	20	38	25	30

n = Anzahl untersuchter Tiere, \bar{x} = arith. Mittel, SD = Standardabweichung, Min. = Minimalwert, Max. = Maximalwert

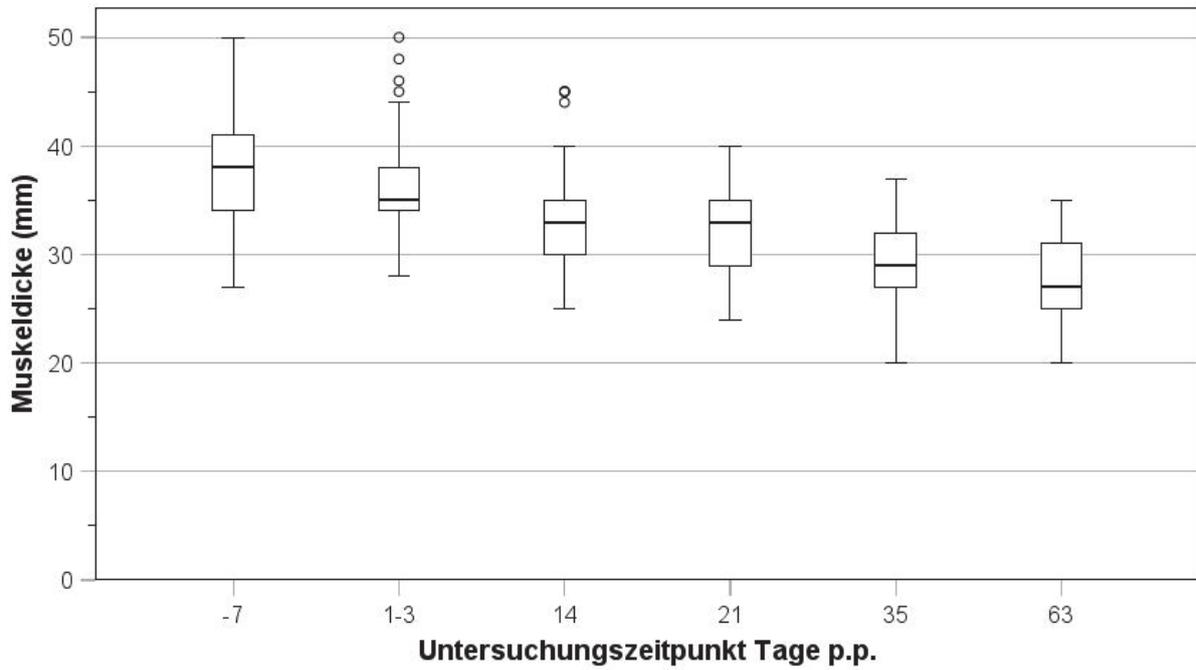


Abbildung 24: Verteilung der Muskeldicke (mm) in der ASG während der sechs Untersuchungszeitpunkte

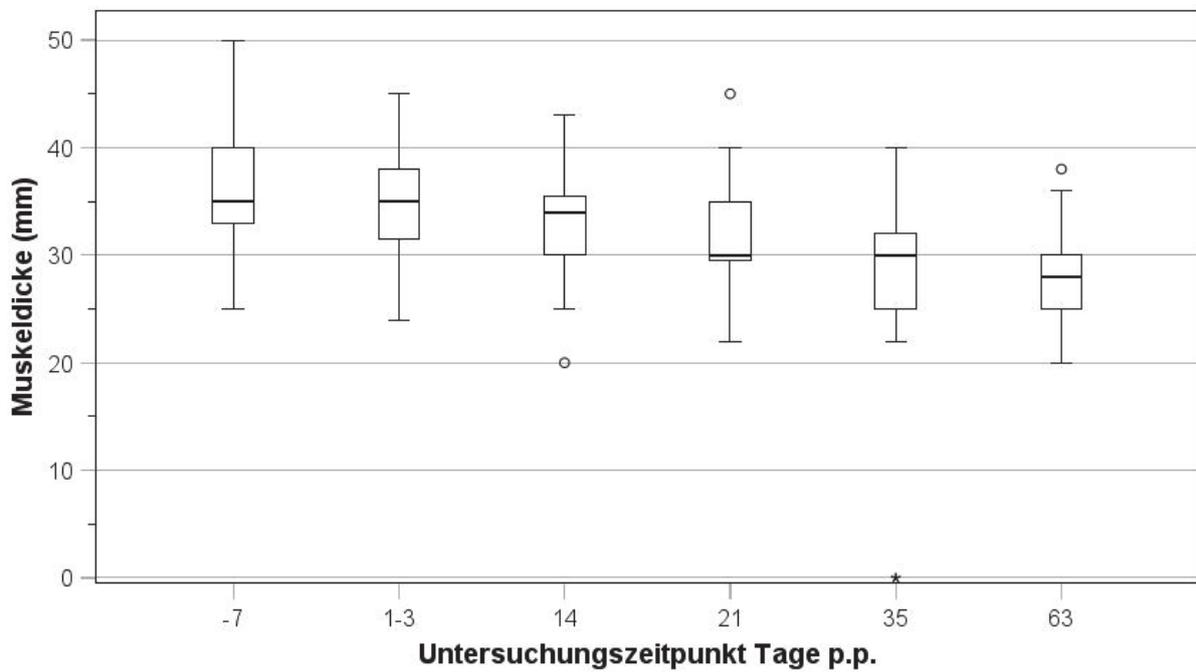


Abbildung 25: Verteilung der Muskeldicke (mm) in der VG während der sechs Untersuchungszeitpunkte

4.1.3.2 Trockenmasseaufnahme

4.1.3.2.1 Vorbereitungsphase

Die durchschnittliche Trockenmasseaufnahme in diesem Zeitraum lag bei 13,3 kg/Kuh/d in der ASG und bei 13,6 kg/Kuh/d in der VG. In der ASG haben 25 % der Kühe zwischen 15,2 kg und 18,3 kg TS pro Tag aufgenommen, in der VG lag diese Spannweite zwischen 15,6 kg und 17,0 kg täglich (Tabelle 32). Die mittlere TM-Aufnahme a.p. in der ASG schwankte zwischen 12,5 und 15,0 kg/Kuh/d (Abbildung 26). Die durchschnittliche TM-Aufnahme in der VG lag zwischen 12,5 und 15,0 kg/Kuh/d (Abbildung 27). In dieser Gruppe befanden sich ebenfalls Tiere mit sehr geringen TM-Aufnahmen sowie Einzeltiere mit TM-Aufnahmen über 20 kg/d.

Tabelle 32: Deskriptive statistische Maßzahlen der Trockenmasseaufnahme (kg/Kuh/d) während der Vorbereitungsphase

	n	\bar{x}	SD	Median	Min.	Max.	Perzentil	
							25	75
ASG	37	13,3	2,8	13,6	6,2	18,3	12,0	15,2
VG	35	13,6	2,3	13,7	8,3	17,0	12,2	15,6

n = Anzahl untersuchter Tiere, \bar{x} = arith. Mittel, SD = Standardabweichung, Min. = Minimalwert, Max. = Maximalwert

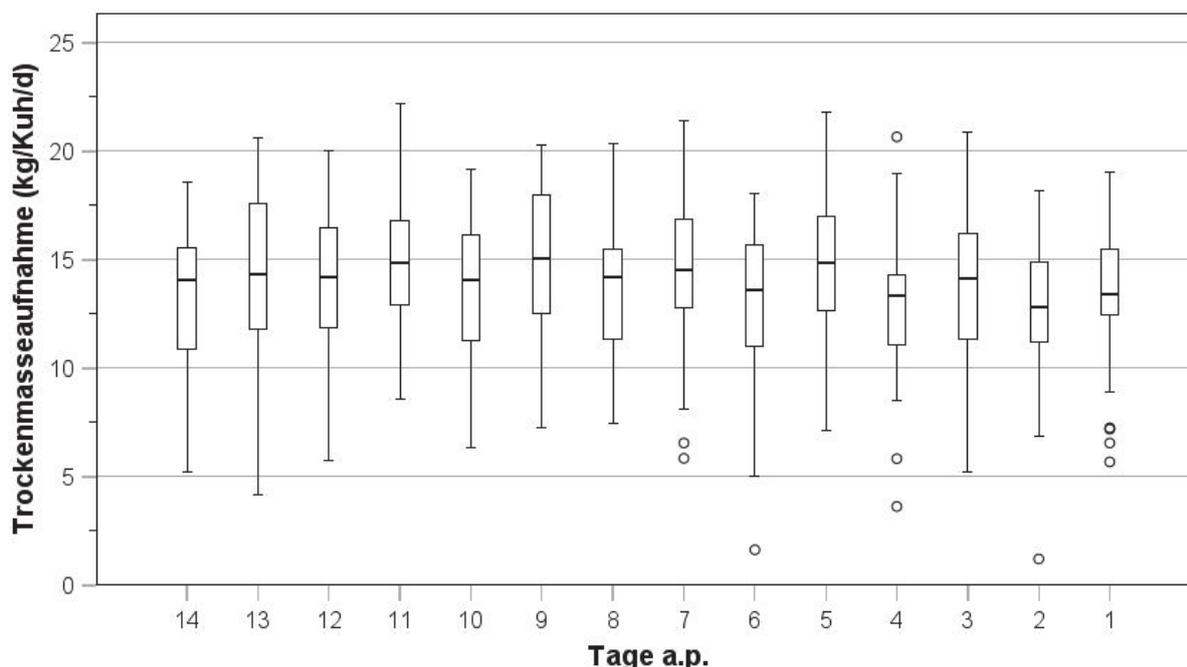


Abbildung 26: Verteilung der Trockenmasseaufnahme (kg/Kuh/d) in der ASG während der 14-tägigen Vorbereitungsphase

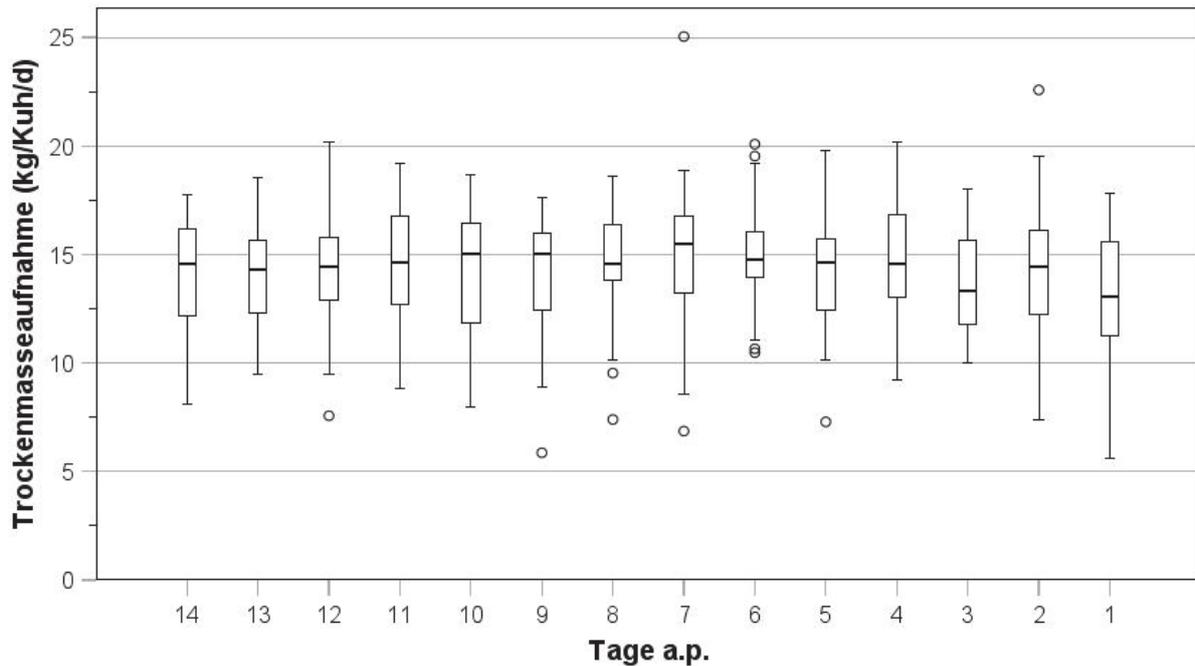


Abbildung 27: Verteilung der Trockenmasseaufnahme (kg/Kuh/d) in der VG während der 14-tägigen Vorbereitungsphase

4.1.3.2.2 Laktation

Während der Laktation hatten die Tiere in der ASG eine mittlere TM-Aufnahme von 24,4 kg/d und die Tiere der VG von durchschnittlich 24,9 kg/d. In beiden Gruppen lag die geringste TM-Aufnahme bei 20 kg/d. Die höchste Trockenmasseaufnahme von 29,7 kg/d wurde in der VG gemessen (Tabelle 33). Mit Einsetzen der Laktation stieg die durchschnittlichen TM-Aufnahmen in beiden Untersuchungsgruppen an. In der ASG nahm die TM-Aufnahme bis zur einschließlich 5. Laktationswoche zu. In der 2., 3. und 4. Laktationswoche fanden sich in dieser Gruppe Ausreißer mit deutlich geringeren TM-Aufnahmen als der Rest der Tiere dieser Gruppe. In der 6. und 7. Laktationswoche war kein weiterer Anstieg der TM-Aufnahme erkennbar. Im Anschluss daran kam es während der 8. Laktationswoche nochmals zu einem geringen Anstieg der durchschnittlichen TM-Aufnahme, gefolgt von weitestgehend konstanten mittleren TM-Aufnahmen ab der 9. Laktationswoche mit geringen Mittelwertschwankungen bis zum Untersuchungsende (Abbildung 28). Die Mittelwerte der TM-Aufnahme in der VG stiegen bis zur einschließlich 8. Laktationswoche kontinuierlich an. Während dieses Zeitraumes waren besonders in der 4. Laktationswoche sowohl sehr geringe (18,9 kg und 18,6 kg) als auch sehr hohe (28,1 kg und 30,2 kg) TM-Aufnahmen bei Einzeltieren zu verzeichnen. Ab der 9. Laktationswoche zeigten sich geringe Mittelwertschwankungen. Von der 9. bis zur einschließlich 12. Laktationswoche wurden in dieser Gruppe Tiere mit über 30 kg täglicher

Trockenmasseaufnahme ermittelt. Ebenfalls waren in der 10., 12., 14. und 15. Laktationswoche Tiere der VG mit deutlich geringen TM-Aufnahmen anzutreffen (Abbildung 29).

Tabelle 33: Deskriptive statistische Maßzahlen der Trockenmasseaufnahme (kg/Kuh/d) während der Laktation

	n	\bar{x}	SD	Median	Min.	Max.	Perzentil	
							25	75
ASG	37	24,4	2,2	24,7	20,0	28,4	22,8	26,1
VG	35	24,9	2,0	25,2	20,2	29,7	23,7	26,2

n = Anzahl untersuchter Tiere, \bar{x} = arith. Mittel, SD = Standardabweichung, Min. = Minimalwert, Max. = Maximalwert

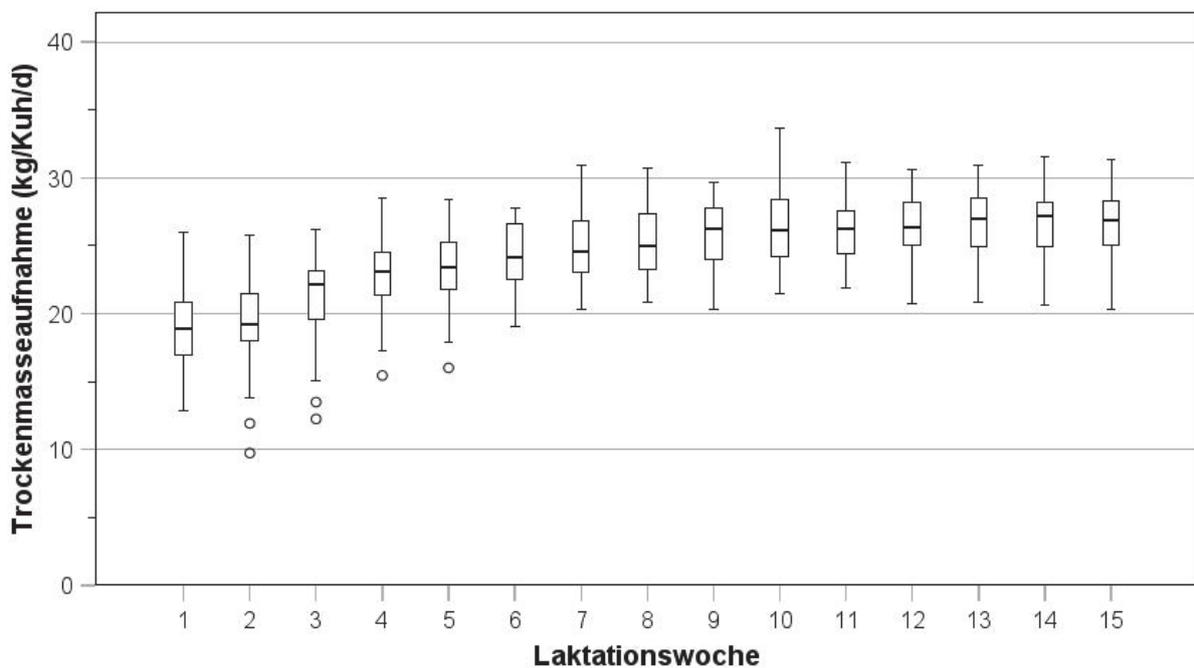


Abbildung 28: Verteilung der Trockenmasseaufnahme (kg/Kuh/d) in der ASG während des Untersuchungszeitraums

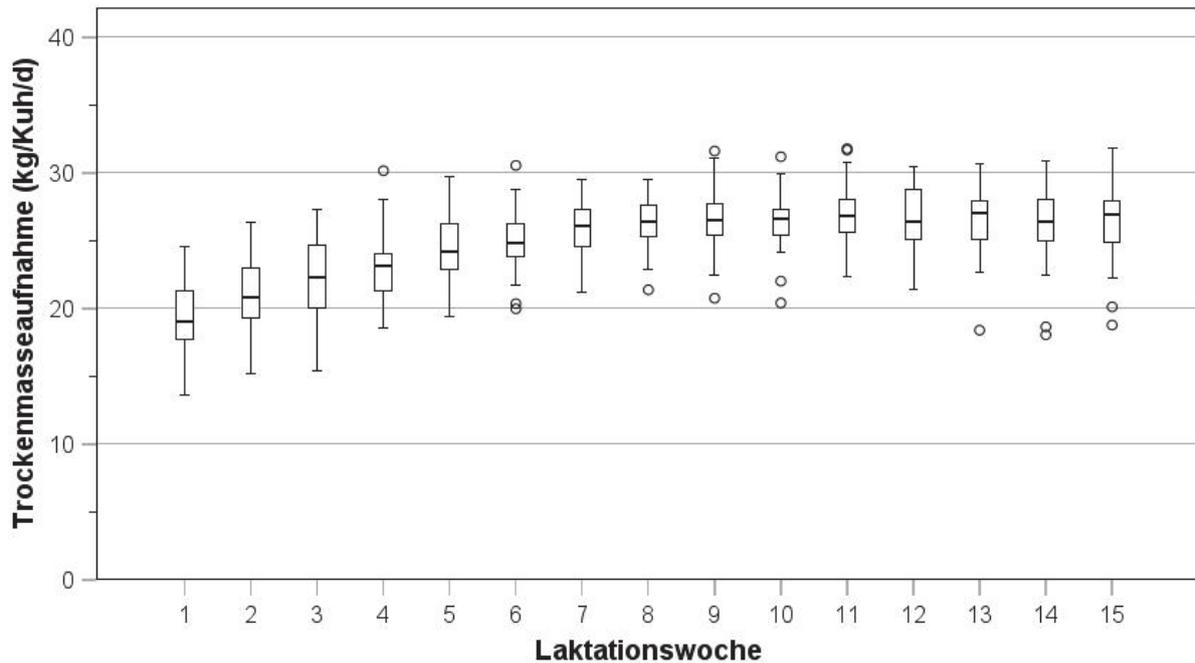


Abbildung 29: Verteilung der Trockenmasseaufnahme (kg/Kuh/d) in der VG während des Untersuchungszeitraums

4.1.3.3 Auftreten von Erkrankungen

Die innere Körpertemperatur wurde innerhalb der ersten 7 Tagen p.p. täglich rektal gemessen. In diesem Zeitraum konnte sowohl in der ASG als auch in der VG bei jeweils acht Tieren eine Körpertemperatur von über 39,5°C beobachtet werden. In beiden Untersuchungsgruppen wurde bei jeweils zwei Tieren Fieber an zwei bzw. drei Tagen gemessen. Bei den übrigen Tieren konnte Fieber nur an einem Tag festgestellt werden.

In der ASG erkrankten während des Untersuchungszeitraums insgesamt 12 von 37 Tieren (32,4 %). Von diesen 12 Tieren zeigten sechs eine Lahmheit (50,0 %), gefolgt von drei Tieren mit Mastitis (25,0 %). Bei zwei Tieren (16,7 %) wurde eine Stoffwechselstörung diagnostiziert. Bei einem Tier (8,3 %) kam es zu einer Verlagerung des Labmagens. In der VG erkrankten insgesamt 17 von 35 Kühen (48,6 %). Elf der 17 Tiere (64,7 %) zeigten klinische Symptome einer Mastitis. Bei drei Tieren (17,6 %) wurde eine Lahmheit diagnostiziert. An einer Stoffwechselstörung litten insgesamt zwei Tiere (11,8 %) und ein Tier hatte eine Labmagenverlagerung (5,9 %) (Abbildung 30).

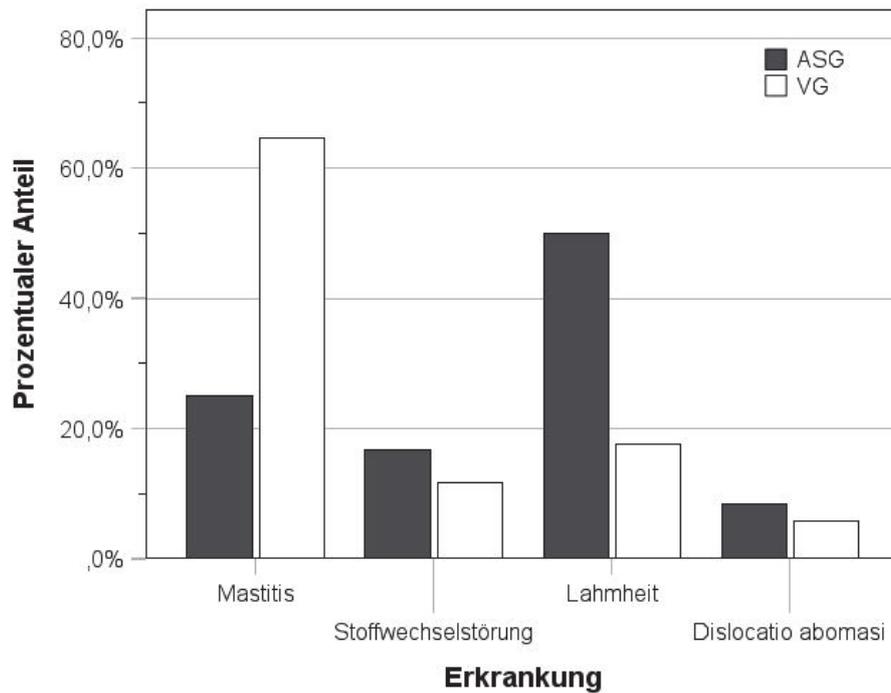


Abbildung 30: Relative Häufigkeit von Erkrankungen bezogen auf die Gesamtzahl der erkrankten Tiere in der jeweiligen Untersuchungsgruppe (ASG: n = 12, VG: n = 17)

4.1.3.4 Blutparameter

Die deskriptive Darstellung aller untersuchten Blutparameter ist in Tabelle 59 bis Tabelle 64 (Anhang) dargestellt. Aufgrund von verfrühten Abkalbungen liegen in der ASG a.p. 33 statt 37 Blutprobenergebnisse vor. Aus dem gleichen Grund fehlt in der VG von einem Tier die Blutprobe a.p. Sowohl in der ASG als auch in der VG zeigten die Mittelwerte der Enzyme ASAT, γ -GT und GLDH im Verlauf der Untersuchung geringgradige Überschreitungen des oberen Referenzbereiches. Gleiches gilt für die CK-Mittelwerte. Die Cholesterinmittelwerte lagen bei der Messung a.p. und direkt p.p. unterhalb des Referenzbereiches. Die durchschnittlichen Coeruloplasminwerte lagen im gesamten Untersuchungsverlauf ebenfalls unterhalb des Referenzbereiches. Die Mittelwerte aller übrigen Blutparameter befanden sich in den jeweiligen physiologischen Normbereichen.

4.1.3.5 Harnparameter

Die deskriptiven Kennzahlen der gemessenen Harnparameter sind Tabelle 34 und Tabelle 35 zu finden. Der pH-Mittelwert lag in beiden Untersuchungsgruppen innerhalb des Referenzbereiches. Die mittleren NSBA-Ergebnisse lagen sowohl in der ASG als auch in der VG deutlich unter 100 mmol/l und fiel in der VG geringer als in der ASG (ASG: 79 mmol/l, VG: 64 mmol/l) aus. Die NH_4^+ -Konzentration betrug in der ASG 5,3 mmol/l, in der VG hingegen 6,2 mmol/l. Die Kreatininmittelwerte in beiden Untersuchungsgruppen waren oberhalb des

Referenzbereiches anzutreffen. In der ASG lagen die Mittelwerte bei 9634 mmol/l und in der VG bei 9092 mmol/l. Die mittlere Kaliumkonzentration in der ASG lag bei 264 mmol/l, während sie in der VG 230 mmol/l betrug.

Tabelle 34: Deskriptive statistische Maßzahlen der Harnparameter der ASG

Parameter	n	\bar{x}	SD	Median	Min.	Max.	Perzentil		
							25	75	
pH	33	8,0	0,3	8,0	7,2	8,4	7,8	8,2	
NSBA	mmol/l	33	79	48	75	7	189	39	112
NH ₄ ⁺	mmol/l	33	5,3	3,3	5,0	0,7	16,1	2,8	7,2
BSQ		33	4,4	4,4	2,5	1,2	17,7	1,7	5,8
Crea	mmol/l	33	9634	3273	8950	3150	19.220	7710	11.080
K	mmol/l	33	264	60	267	123	375	225	299

n = Anzahl untersuchter Tiere, \bar{x} = arith. Mittel, SD = Standardabweichung, Min. = Minimalwert, Max. = Maximalwert

Tabelle 35: Deskriptive statistische Maßzahlen der Harnparameter der VG

Parameter	n	\bar{x}	SD	Median	Min.	Max.	Perzentil		
							25	75	
pH	34	7,8	0,4	7,9	6,7	8,5	7,6	8,1	
NSBA	mmol/l	34	64	45	69	-17	176	33	101
NH ₄ ⁺	mmol/l	34	6,2	4,0	5,8	1,0	14,6	2,3	8,6
BSQ		34	5,0	5,2	2,3	0,9	16,9	1,6	9,3
Crea	mmol/l	34	9092	3143	8945	3000	18.280	7260	10.890
K	mmol/l	34	230	73	233	89	399	190	269

n = Anzahl untersuchter Tiere, \bar{x} = arith. Mittel, SD = Standardabweichung, Min. = Minimalwert, Max. = Maximalwert

4.2 Analytische Statistik

4.2.1 Einfluss auf die Milchleistung

4.2.1.1 Milchmengenleistung in den ersten sieben Laktationstagen

Die Milchmengenleistung der ersten sieben Laktationstage unterschied sich nicht zwischen den beiden Untersuchungsgruppen ($p = 0,327$) (Tabelle 36). Auch zwischen den einzelnen Tagen gab es keinen signifikanten Unterschied in der Milchmengenleistung der beiden Gruppen ($p > 0,05$).

Tabelle 36: Vergleich der Milchmengenleistung (kg/Kuh/d) in den ersten sieben Laktationstagen

Parameter		\bar{x}		p*
		ASG	VG	
Milchmenge d0 - d7	kg/Kuh/d	27,7	28,4	0,327

* asymptotische Sig., zweiseitiger Test, \bar{x} = arith. Mittel, p = Signifikanz

4.2.1.2 100-Tage-Gesamtmilchmengenleistung

Die mittlere 100-Tage-Gesamtmilchmengenleistung unterschied sich signifikant zwischen der ASG und der VG (Tabelle 37). Die mittlere 100-Tage-Leistung der ASG betrug 4463 kg/Kuh, während die Leistung in der VG im Schnitt bei 4717 kg/Kuh lag.

Tabelle 37: Vergleich der mittleren 100-Tage-Milchmengenleistung (kg/Kuh)

Parameter		\bar{x}		p*
		ASG	VG	
100-Tage-Milchmenge	kg/Kuh	4463	4717	0,046

* asymptotische Sig., zweiseitiger Test, \bar{x} = arith. Mittel, p = Signifikanz

4.2.1.3 Mittlere tägliche Milchmengenleistung im Untersuchungszeitraum

Der in der ANOVA-Analyse ermittelte Regressionskoeffizient b beschreibt hier, und bei allen folgenden Parametern, die mit dieser Analyseverfahren ausgewertet wurden, den mittleren Betrag der ASG (hier im Mittel 45,6 kg Milch/Kuh/d in der 7. Laktationswoche, Tabelle 38). Der Regressionskoeffizient b_d bezieht sich auf den mittleren Betrag der VG, wurde aber zum besseren Verständnis als Differenzbetrag dargestellt. Das bedeutet in diesem Fall, dass die mittlere tägliche Milchmengenleistung in der VG während der 7. Laktationswoche + 3,32 kg größer ausgefallen ist als in der ASG.

Die mittlere tägliche Milchmengenleistung im Untersuchungszeitraum unterschied sich nicht signifikant zwischen den beiden Gruppen ($p = 0,178$). Nach einem anfänglichen Anstieg der Milchmengenleistung zu Laktationsbeginn blieb die Milchleistung in der ASG im weiteren

Verlauf der Untersuchung hinter der Milchleistung der VG zurück (Abbildung 31). Zwischen den einzelnen Untersuchungszeitpunkten gab es einen statistischen Trend für eine geringere Milchmengenleistung der ASG in den Wochen 7 bis 10 sowie in der 13. Laktationswoche (Tabelle 38). In der 11. Laktationswoche lag die Milchmengenleistung der ASG signifikant unter der Milchmengenleistung der VG ($p = 0,038$).

Tabelle 38: Vergleich der mittleren täglichen Milchmengenleistung (kg/Kuh/d) während des Untersuchungszeitraums

Zeitpunkt	ASG		VG		p
	b	SE	b _d	SE	
Woche 7	45,6	1,13	+ 3,32	1,69	0,055
Woche 8	45,8	1,14	+ 3,34	1,71	0,055
Woche 9	45,1	1,14	+ 3,41	1,70	0,050
Woche 10	45,2	1,14	+ 3,00	1,70	0,082
Woche 11	44,3	1,15	+ 3,64	1,71	0,038
Woche 13	42,9	1,18	+ 3,41	1,76	0,058

b bzw. b_d = Regressionskoeffizient, SE = Standardfehler, p = Signifikanz

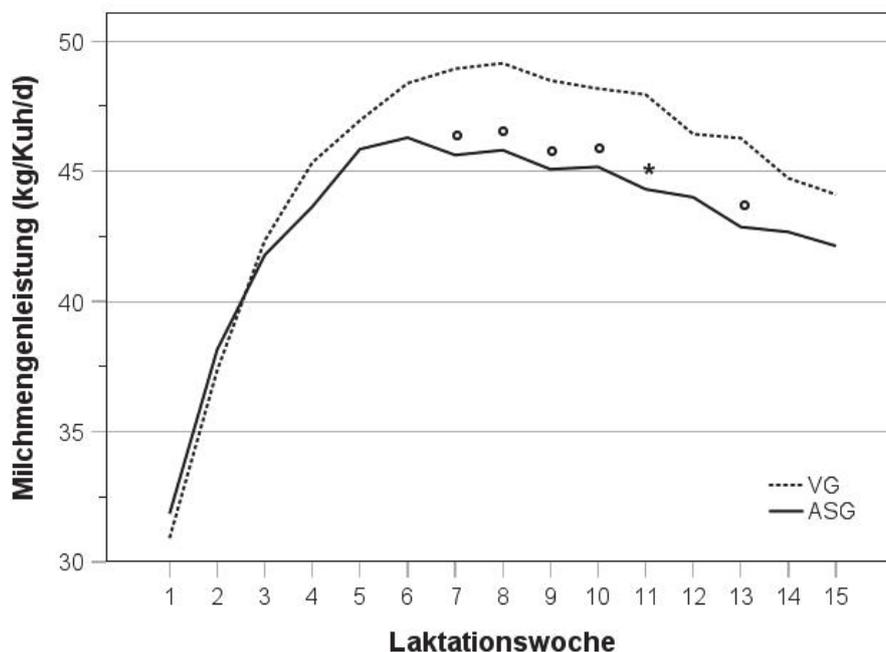


Abbildung 31: Verlauf der täglichen Milchmengenleistung (kg/Kuh/d) während des Untersuchungszeitraums ($p = 0,178$) mit ° = $p < 0,10$ und * = $p < 0,05$

4.2.1.4 305-Tage-Gesamtmilchmengenleistung

Die 305-Tage-Gesamtmilchmengenleistungen beider Untersuchungsgruppen unterschieden sich nicht (Tabelle 39). In der ASG lag die mittlere 305-Tage-Milchleistung bei 12.160 kg/Kuh, in der VG bei 12.636 kg/Kuh.

Tabelle 39: Vergleich der 305-Tage-Milchmengenleistung (kg/Kuh)

Parameter	\bar{x}		p*
	ASG	VG	
305-Tage-Milchmenge kg	12.160	12.636	0,245

* asymptotische Sig., zweiseitiger Test, \bar{x} = arith. Mittel, p = Signifikanz

4.2.1.5 Milchinhaltsstoffe während des Untersuchungszeitraums

4.2.1.5.1 Milcheiweißgehalt und Milcheiweißmenge

Der Milcheiweißgehalt unterschied sich während des Untersuchungszeitraums nicht zwischen den beiden Untersuchungsgruppen ($p = 0,456$). In beiden Untersuchungsgruppen fiel der Eiweißgehalt mit Einsetzen der Laktation ab und erreichte in der 6. bzw. 7. Woche den Tiefpunkt. Im weiteren Verlauf stiegen die Milcheiweißgehalte in beiden Gruppen bis zum Ende des Untersuchungszeitraums wieder an. Der Milcheiweißgehalt der ASG fiel während jeder Laktationswoche geringer aus als in der VG (Abbildung 32).

Mit $p = 0,061$ zeigte sich ein statistischer Trend zu höheren Tageseiweißmengen in der VG während des Untersuchungszeitraums (Abbildung 33). Von der 7. bis zur 9. sowie in der 11., 12. und 13. Laktationswoche lagen die Milcheiweißmengen in der VG signifikant über den Milcheiweißmengen der ASG (Tabelle 40). In der 10. und 12. Laktationswoche hingegen gab es einen Trend zu höheren Milcheiweißmengen in der VG ($p = 0,055$).

Tabelle 40: Vergleich der Milcheiweißmenge (g/d) im Untersuchungszeitraum

Zeitpunkt	ASG		VG		p
	b	SE	bd	SE	
Woche 7	1454,8	30,9	+ 104,5	45,1	0,025
Woche 8	1479,1	30,1	+ 109,1	43,9	0,017
Woche 9	1468,2	32,7	+ 103,8	47,6	0,034
Woche 10	1485,6	30,8	+ 87,7	44,9	0,056
Woche 11	1478,9	29,5	+ 118,5	43,0	0,008
Woche 12	1491,0	31,5	+ 90,3	45,8	0,055
Woche 13	1462,1	31,7	+ 124,5	45,2	0,010
Woche 15	1461,1	37,1	+ 111,2	54,1	0,045

b bzw. bd = Regressionskoeffizient, SE = Standardfehler, p = Signifikanz

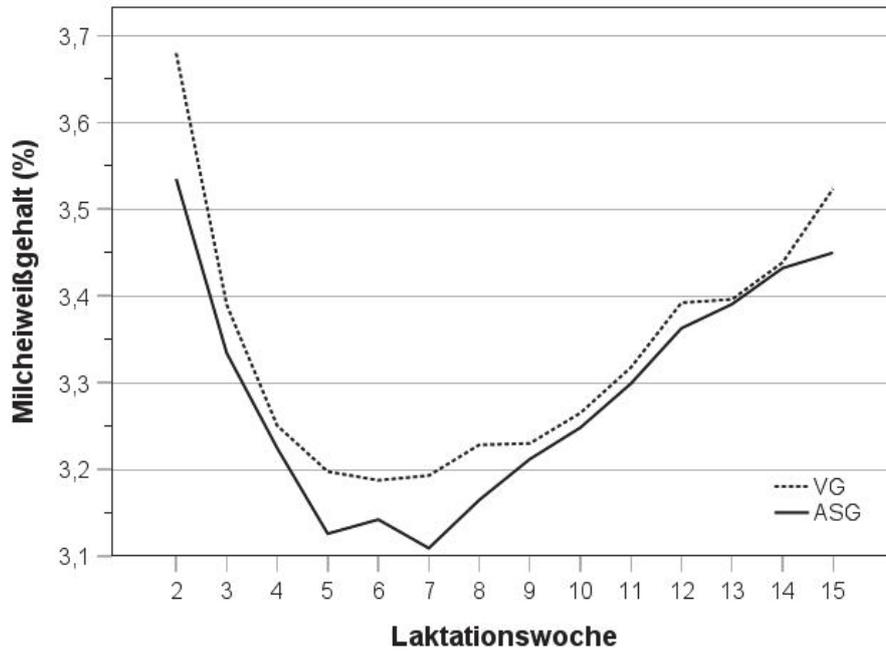


Abbildung 32: Verlauf der mittleren Milcheiweißgehalte (%) während des Untersuchungszeitraums ($p = 0,456$)

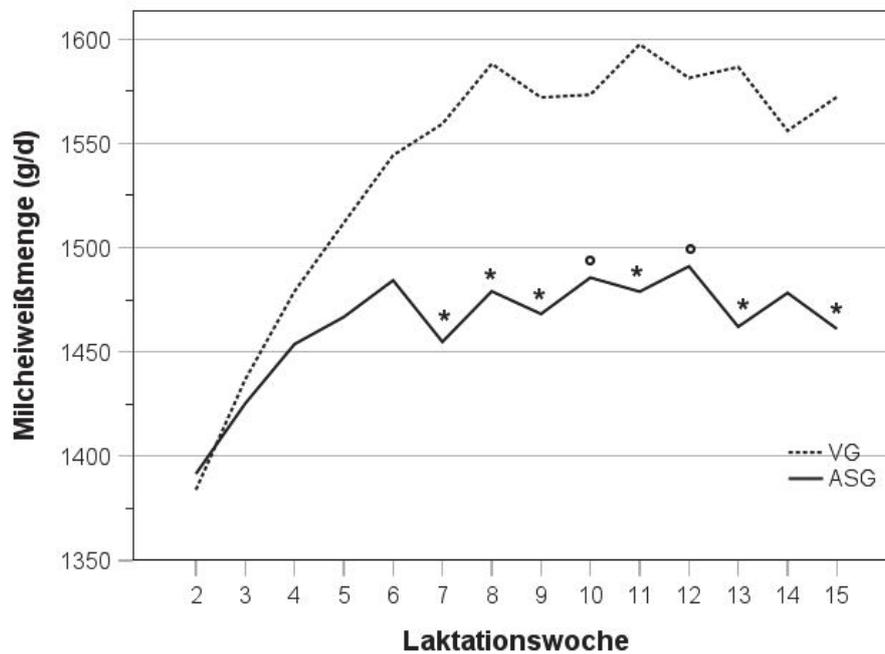


Abbildung 33: Verlauf der mittleren Tageseiweißmenge (g) während des Untersuchungszeitraums ($p = 0,061$) mit ° = $p < 0,10$ und * = $p < 0,05$

4.2.1.5.2 Milchfettgehalt und Milchfettmenge

Während des Untersuchungszeitraums zeigten sich in der ASG tendenziell höhere Milchfettgehalte als in der VG ($p = 0,069$) (Abbildung 34). Statistisch signifikante Unterschiede wurden in der 3., 10., 13. und 14. Laktationswoche festgestellt (Tabelle 41). Während der 7. und 8. Laktationswoche unterschied sich der Milchfettgehalt nur tendenziell zwischen der ASG und der VG. Die Milchfettmengen unterschieden sich nicht ($p = 0,285$, Tabelle 42 und Abbildung 35). In der 3. Laktationswoche lag die Milchfettmenge in der ASG signifikant über der VG ($p = 0,039$) (Tabelle 42).

Tabelle 41: Vergleich des Milchfettgehalts (%) im Untersuchungszeitraum

Zeitpunkt	ASG		VG		p
	b	SE	bd	SE	
Woche 3	4,1	0,13	- 0,4	0,19	0,036
Woche 7	3,5	0,11	- 0,3	0,16	0,061
Woche 8	3,5	0,12	- 0,3	0,17	0,084
Woche 10	3,6	0,11	- 0,3	0,17	0,042
Woche 13	3,7	0,12	- 0,4	0,18	0,015
Woche 14	3,7	0,11	- 0,3	0,16	0,035

b bzw. bd = Regressionskoeffizient, SE = Standardfehler, p = Signifikanz

Tabelle 42: Vergleich der Milchfettmenge (g/d) im Untersuchungszeitraum

Zeitpunkt	ASG		VG		p
	b	SE	bd	SE	
Woche 3	1747,2	55,9	- 172,8	81,5	0,039

b bzw. bd = Regressionskoeffizient, SE = Standardfehler, p = Signifikanz

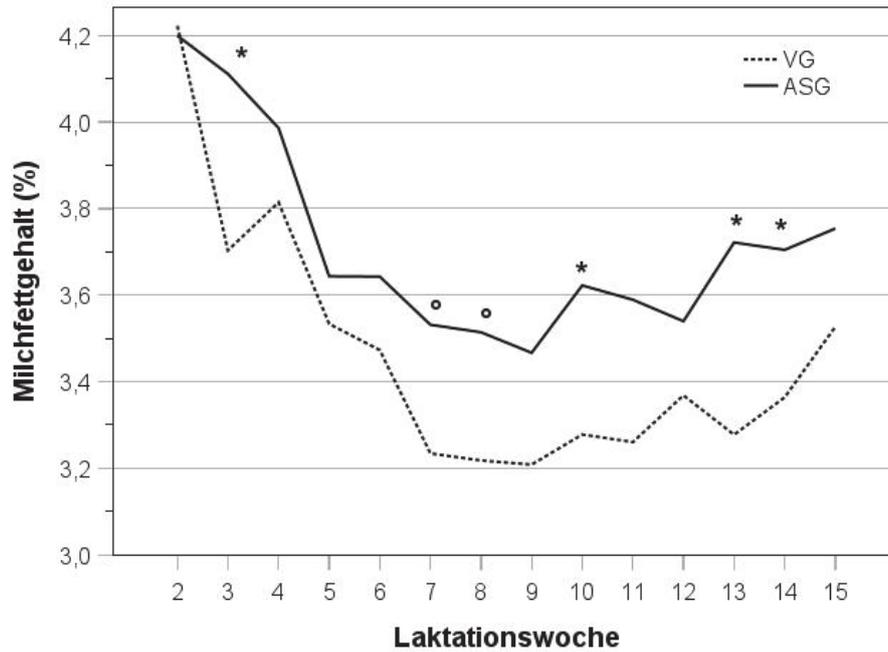


Abbildung 34: Verlauf der mittleren Milchfettgehalte (%) während des Untersuchungszeitraums ($p = 0,069$) mit $^{\circ} = p < 0,10$ und $* = p < 0,05$

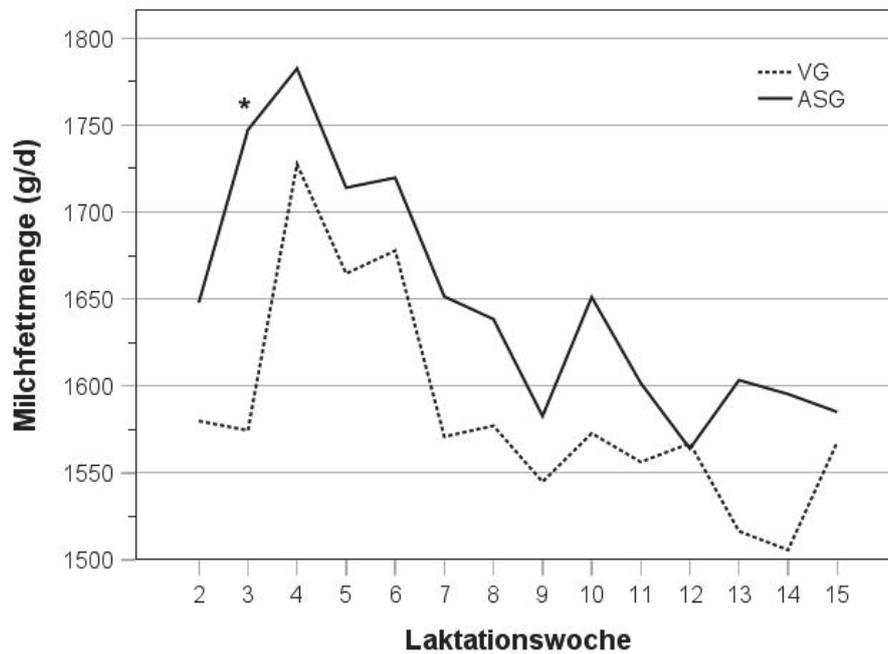


Abbildung 35: Verlauf der mittleren Milchfettmenge (g/d) während des Untersuchungszeitraums ($p = 0,285$) mit $* = p < 0,05$

4.2.1.5.3 Laktosegehalt und Laktosemenge

Der Laktosegehalt und die Laktosemenge unterschieden sich während des Untersuchungszeitraums nicht zwischen den beiden Haltunggruppen ($p = 0,833$ und $p = 0,246$). In der 9., 11. und 13. Laktationswoche lag die Milchlaktosemenge in der ASG tendenziell unter der Laktosemenge der VG (Tabelle 43, Abbildung 36).

Tabelle 43: Vergleich der Milchlaktosemenge (g/d) während des Untersuchungszeitraums

Zeitpunkt	ASG		VG		p
	b	SE	bd	SE	
Woche 9	2223,2	54,8	+ 158,0	79,9	0,054
Woche 11	2191,4	58,7	+ 167,1	85,6	0,057
Woche 13	2114,8	62,6	+ 173,3	91,2	0,063

b bzw. bd = Regressionskoeffizient, SE = Standardfehler, p = Signifikanz

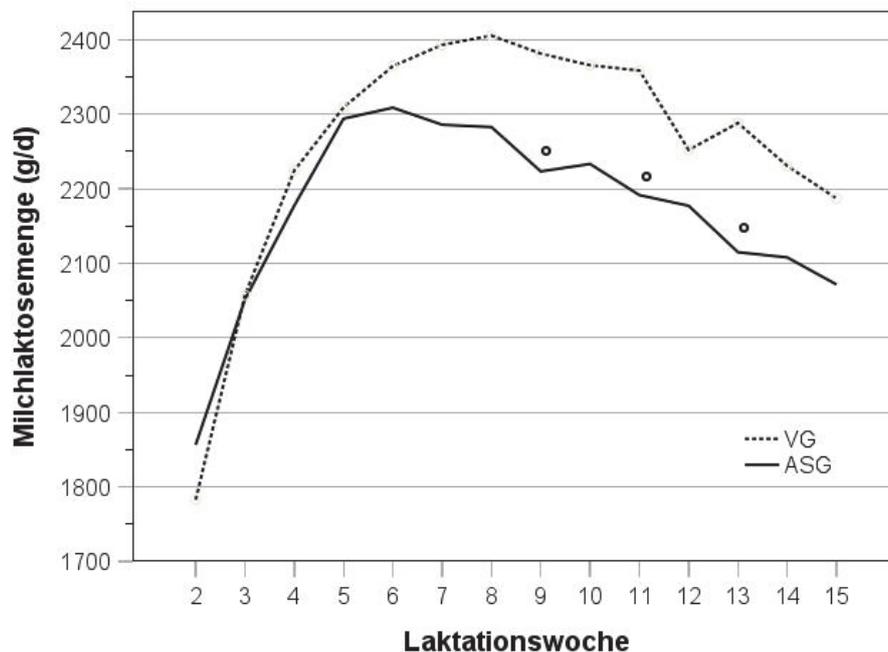


Abbildung 36: Verlauf der mittleren Tageslaktosemenge (g) während des Untersuchungszeitraums ($p = 0,833$) mit $^{\circ} = p < 0,10$

4.2.1.5.4 Milchwahstoffkonzentration

Die Milchwahstoffkonzentration unterschied sich in beiden Haltunggruppen signifikant während des gesamten Untersuchungszeitraums ($p < 0,001$) (Tabelle 44). Die mittlere Milchwahstoffkonzentration in der ASG betrug 13,8 mg/l. In der VG lag dieser Wert bei 17,2 mg/l. Insgesamt zeigten die mittleren Milchwahstoffkonzentrationen einen ähnlichen

Verlauf, allerdings lagen die Ergebnisse der VG im gesamten Untersuchungszeitraum über denen der ASG (Abbildung 37). Mit Einsetzen der Laktation stagnierte die Milchwahstoffkonzentration in der VG auf einem stabilen Niveau. In der ASG fiel sie bereits zu Beginn der Laktation ab. In beiden Haltunggruppen lag die geringste Milchwahstoffkonzentration in der 8. Laktationswoche. Im Anschluss daran kam es in beiden Haltunggruppen wieder zu einem Anstieg bis zu einem neuen Höchstwert zum Ende des Untersuchungszeitraums.

Tabelle 44: Vergleich der Milchwahstoffkonzentration (mg/l) während des Untersuchungszeitraums

Zeitpunkt	ASG		VG		p
	b	SE	b _d	SE	
Woche 2	14,4	0,86	+ 2,9	1,26	0,024
Woche 3	14,2	0,78	+ 2,8	1,14	0,019
Woche 4	13,7	0,78	+ 3,6	1,13	0,002
Woche 5	13,7	0,72	+ 3,3	1,04	0,003
Woche 6	13,5	0,64	+ 3,6	0,93	< 0,001
Woche 7	13,4	0,67	+ 3,0	0,97	0,004
Woche 8	12,8	0,65	+ 3,0	0,95	0,003
Woche 9	13,4	0,56	+ 3,4	0,82	< 0,001
Woche 10	13,8	0,53	+ 2,7	0,77	0,001
Woche 11	13,3	0,72	+ 3,5	1,05	0,002
Woche 12	13,3	0,63	+ 4,0	0,91	< 0,001
Woche 13	14,2	0,60	+ 3,6	0,88	< 0,001
Woche 14	14,8	0,61	+ 4,1	0,88	< 0,001
Woche 15	15,4	0,74	+ 3,4	1,08	0,003

b bzw. b_d = Regressionskoeffizient, SE = Standardfehler, p = Signifikanz

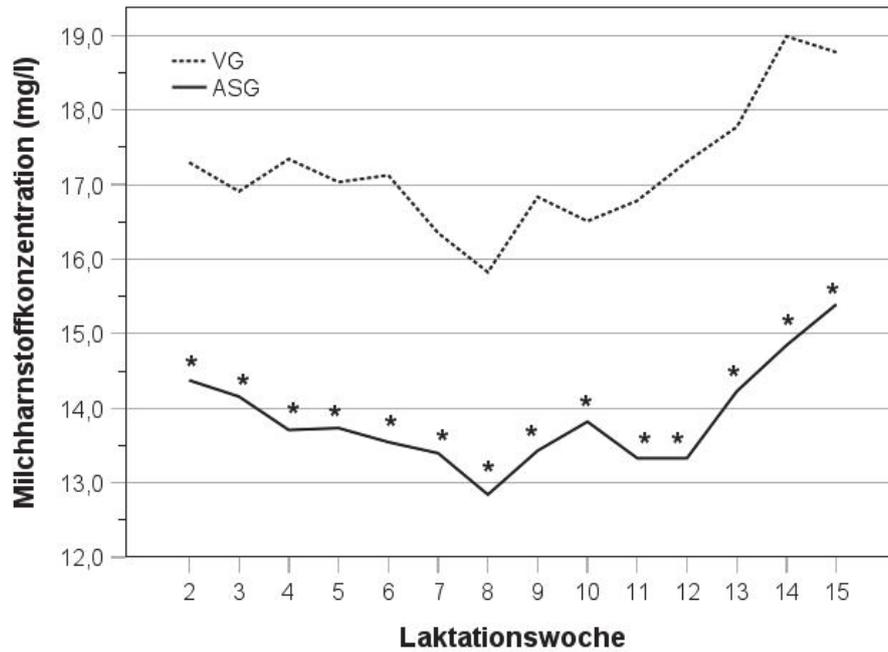


Abbildung 37: Verlauf der mittleren Milchharnstoffkonzentration (mg/l) während des Untersuchungszeitraums ($p < 0,001$) mit * = $p < 0,05$

4.2.1.5.5 Milchstickstoffausscheidung

Ebenso wie die Milchharnstoffkonzentration unterschied sich auch die mit der Milch ausgeschiedene Menge an Stickstoff signifikant zwischen der ASG und der VG im gesamten Untersuchungszeitraum ($p < 0,001$). Abgesehen von der 3. Laktationswoche ($p = 0,884$) war die ausgeschiedene Stickstoffmenge in der VG in jeder Woche signifikant höher als in der ASG (Tabelle 45). Mit Beginn der Laktation fiel die Stickstoffmenge sowohl in der ASG als auch in der VG und erreichte während der 7. Laktationswoche in beiden Gruppen den geringsten Wert. Im weiteren Verlauf der Untersuchung stieg die über die Milch ausgeschiedene Stickstoffmenge in beiden Haltungsguppen wieder an (Abbildung 38).

Tabelle 45: Vergleich der Milchstickstoffausscheidung (g/Kuh/d) während des Untersuchungszeitraums

Zeitpunkt	ASG		VG		p
	b	SE	bd	SE	
Woche 2	352,6	7,65	+ 26,0	11,15	0,024
Woche 4	327,5	7,15	+ 25,4	10,43	0,019
Woche 5	318,0	6,74	+ 30,7	9,82	0,003
Woche 6	319,9	5,77	+ 30,4	8,41	< 0,001
Woche 7	313,4	5,87	+ 33,9	8,56	< 0,001
Woche 8	317,6	5,33	+ 32,4	7,77	< 0,001
Woche 9	325,2	6,35	+ 29,8	9,25	0,002
Woche 10	332,0	5,85	+ 24,3	8,53	0,006
Woche 11	333,1	5,3	+ 32,2	8,35	< 0,001
Woche 12	340,0	6,49	+ 34,0	9,45	< 0,001
Woche 13	345,0	7,43	+ 32,6	10,83	0,004
Woche 14	354,2	6,40	+ 32,1	9,33	0,001
Woche 15	357,1	8,84	+ 35,7	12,88	0,008

b bzw. bd = Regressionskoeffizient, SE = Standardfehler, p = Signifikanz

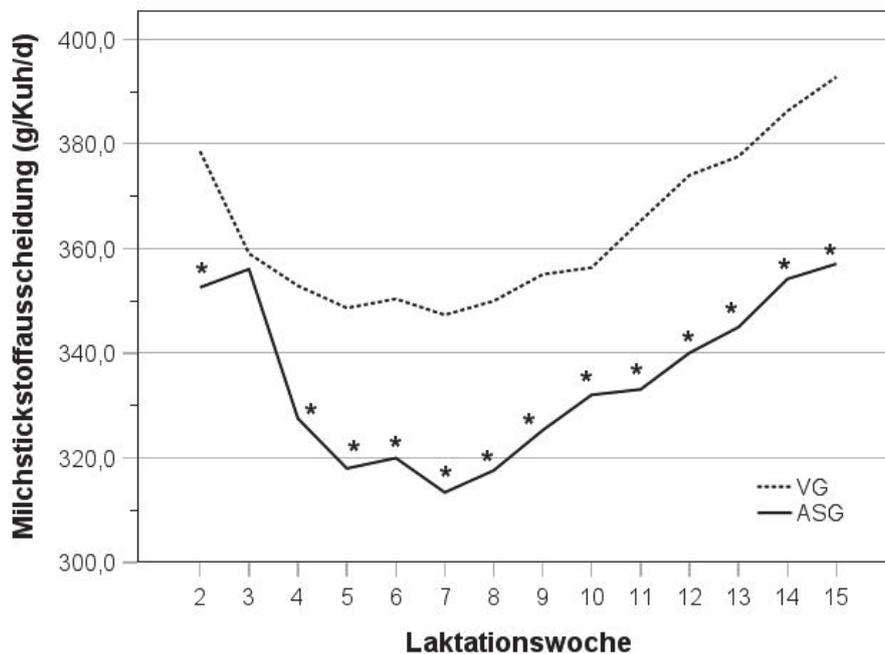


Abbildung 38: Verlauf der mittleren Milchstickstoffausscheidung (g/Kuh/d) während des Untersuchungszeitraums ($p < 0,001$) mit * = $p < 0,05$

4.2.1.5.6 Milchzellzahl

Der mittlere Milchzellzahlgehalt unterschied sich nicht zwischen der ASG und der VG ($p = 0,244$).

4.2.1.6 305-Tage-Gesamteiweiß- und Fettmengenleistung

Die 305-Tage-Gesamteiweiß- und Fettmengenleistung unterschied sich nicht zwischen der ASG und der VG ($p = 0,492$ und $p = 0,255$). Dennoch war die Eiweißmenge in der VG höher als in der ASG, während die Fettmengen in der ASG höher als in der VG ausfiel (Tabelle 46).

Tabelle 46: Vergleich der 305-Tage-Gesamteiweiß- und Fettmengenleistung (kg)

305-Tage-Leistung		\bar{x}		p*
		ASG	VG	
Eiweiß	kg	429	436	0,492
Fett		464	443	0,255

* asymptotische Sig., zweiseitiger Test, \bar{x} = arith. Mittel, p = Signifikanz

4.2.1.7 Kolostrumqualität

Die Qualität des Kolostrums unterschied sich nicht zwischen den beiden Untersuchungsgruppen (Tabelle 47).

Tabelle 47: Vergleich der Kolostrumqualität (% Brix)

Parameter		\bar{x}		p*
		ASG	VG	
Kolostrumqualität	% Brix	25,9	25,3	0,818

* asymptotische Sig., zweiseitiger Test, \bar{x} = arith. Mittel, p = Signifikanz

4.2.2 Einfluss auf die Fruchtbarkeit

4.2.2.1 Fruchtbarkeitskennzahlen und Portionsaufwand

Die Untersuchung der Fruchtbarkeitskennzahlen ergab keinen statistisch signifikanten Unterschied zwischen den Mittelwerten der ASG und der VG (Tabelle 48).

Tabelle 48: Vergleich der Fruchtbarkeitskennzahlen und des Portionsaufwandes

Parameter		\bar{x}		p*
		ASG	VG	
VZ	d	20	23	0,795
RZ	d	98	98	0,985
ZTZ	d	118	121	0,621
PA	n	2	2	0,983

* asymptotische Sig., zweiseitiger Test, \bar{x} = arith. Mittel, p = Signifikanz

4.2.2.2 Trächtigkeitsergebnis

Sowohl für die P₄- als auch für die PAG-Ergebnisse lag kein signifikanter Unterschied zwischen der ASG und der VG vor ($p = 0,803$ und $p = 0,330$).

4.2.2.3 Abkalbverhalten

Zur Überprüfung, ob es einen statistisch signifikanten Unterschied im Geburtsverlauf zwischen den beiden Untersuchungsgruppen gab, wurden die Daten, die die Abkalbung klassifizierten (siehe 4.1.2.3), vor der Analyse dichotomisiert (0 = ohne Hilfe, 1 = mit Hilfe).

Es konnte kein Zusammenhang zwischen dem Abkalbverhalten und der Untersuchungsgruppe festgestellt werden ($p = 0,617$) (Tabelle 49).

Tabelle 49: Zusammenhang zwischen der Untersuchungsgruppe und dem Abkalbverhalten

	ASG	SE	p	OR	R ²
b	- 0,636	1,27	0,617	0,53	
Konstante	- 2,20	0,75	0,003		0,016

b = Regressionskoeffizient, SE = Standardfehler, p = Signifikanz, OR = Odds Ratio, R² = Bestimmtheitsmaß nach Nagelkerke

4.2.2.4 Geburtsgewicht der Kälber

Die Kälber der ASG-Tiere und die der VG-Tiere hatten kein statistisch signifikant unterschiedliches Geburtsgewicht (Tabelle 50).

Tabelle 50: Vergleich des Geburtsgewichts der Kälber

Parameter	\bar{x}		p*
	ASG	VG	
Geburtsgewicht kg	43,1	43,2	0,722

* asymptotische Sig., zweiseitiger Test, \bar{x} = arith. Mittel, p = Signifikanz

4.2.3 Einfluss auf die Tiergesundheit

4.2.3.1 Körperkondition

4.2.3.1.1 Rückenfettmuskeldicke

Im Untersuchungsverlaufs konnte kein Unterschied in der RFMD zwischen den beiden Untersuchungsgruppen festgestellt werden ($p = 0,479$). Auch zwischen den einzelnen Untersuchungszeitpunkten kam es nicht zu signifikanten Veränderungen der RFMD zwischen der ASG und der VG (Abbildung 39).

Tabelle 51: Vergleich der RFMD (mm) zu den Untersuchungszeitpunkten

Zeitpunkt (d p.p.)	ASG		VG		p
	b	SE	bd	SE	
-7	50,8	1,56	- 1,55	2,24	0,490
1-3	49,4	1,46	- 2,44	2,10	0,249
14	45,2	1,52	- 0,67	2,19	0,759
21	43,1	1,26	- 0,74	1,80	0,684
35	39,2	1,49	- 2,16	2,14	0,317
63	35,8	1,08	+ 0,65	1,55	0,678

b bzw. bd = Regressionskoeffizient, SE = Standardfehler, p = Signifikanz

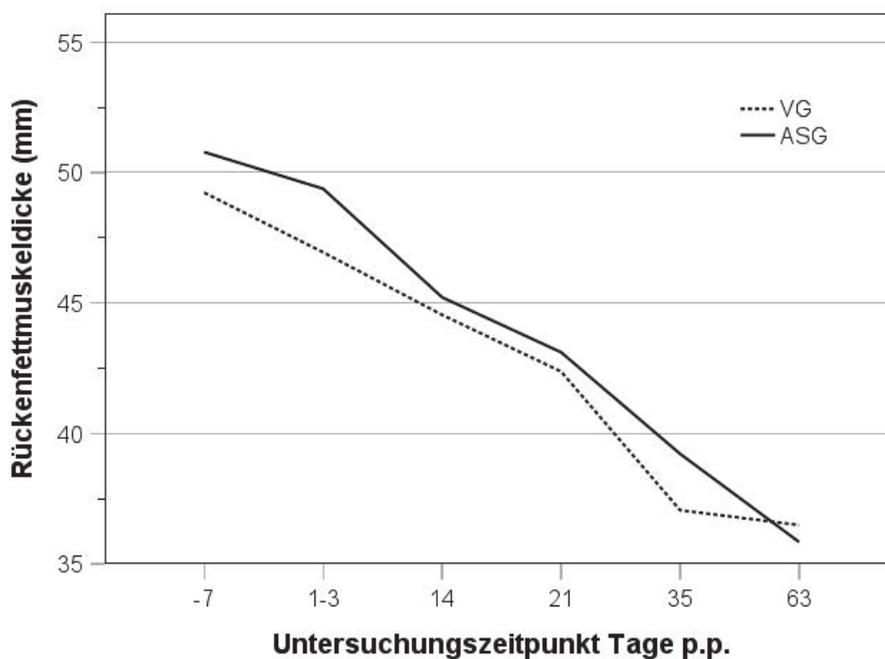


Abbildung 39: Verlauf der mittleren RFMD (mm) während der sechs Untersuchungszeitpunkte (p = 0,479)

4.2.3.1.2 Fettdicke

Es konnte kein statistisch signifikanter Unterschied zwischen der Fettdicke der ASG und der VG im Untersuchungsverlauf festgestellt werden (p = 0,612). Auch zu keinem der sechs Untersuchungszeitpunkte unterschied sich die Fettdicke der ASG von der Fettdicke der VG (Tabelle 52, Abbildung 40).

Tabelle 52: Vergleich der Fettdicke (mm) zu den Untersuchungszeitpunkten

Zeitpunkt (d p.p.)	ASG		VG		p
	b	SE	bd	SE	
-7	13,2	0,67	- 0,59	0,96	0,542
1-3	13,0	0,66	- 0,63	0,94	0,507
14	12,0	0,70	- 0,37	1,00	0,711
21	11,3	0,56	- 0,47	0,76	0,558
35	9,76	0,53	- 0,61	0,75	0,417
63	8,11	0,48	+ 0,41	0,68	0,553

b bzw. bd = Regressionskoeffizient, SE = Standardfehler, p = Signifikanz

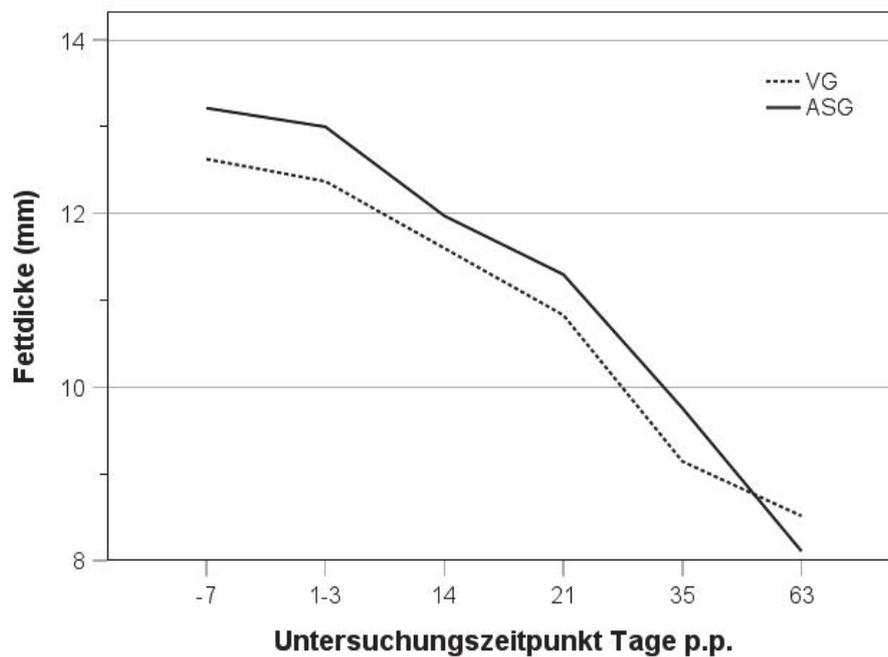


Abbildung 40: Verlauf der mittleren Fettdicke (mm) während der sechs Untersuchungszeitpunkte ($p = 0,612$)

4.2.3.1.3 Muskeldicke

Die Muskeldicke zeigte keinen statistisch signifikanten Unterschied zwischen der ASG und der VG ($p = 0,406$). Zu den einzelnen Untersuchungszeitpunkten ergab sich ebenfalls kein statistisch signifikanter Unterschied zwischen den beiden Haltungsgruppen (Tabelle 53, Abbildung 41).

Tabelle 53: Vergleich der Muskeldicke (mm) zu den Untersuchungszeitpunkten

Zeitpunkt (d p.p.)	ASG		VG		p
	b	SE	bd	SE	
-7	37,6	0,95	- 0,97	1,37	0,481
1-3	36,3	0,84	- 1,81	1,21	0,139
14	33,2	0,89	- 0,30	1,28	0,815
21	31,8	0,76	- 0,27	1,08	0,805
35	29,5	1,02	- 1,55	1,47	0,296
63	27,7	0,66	+ 0,24	0,95	0,800

b bzw. bd = Regressionskoeffizient, SE = Standardfehler, p = Signifikanz

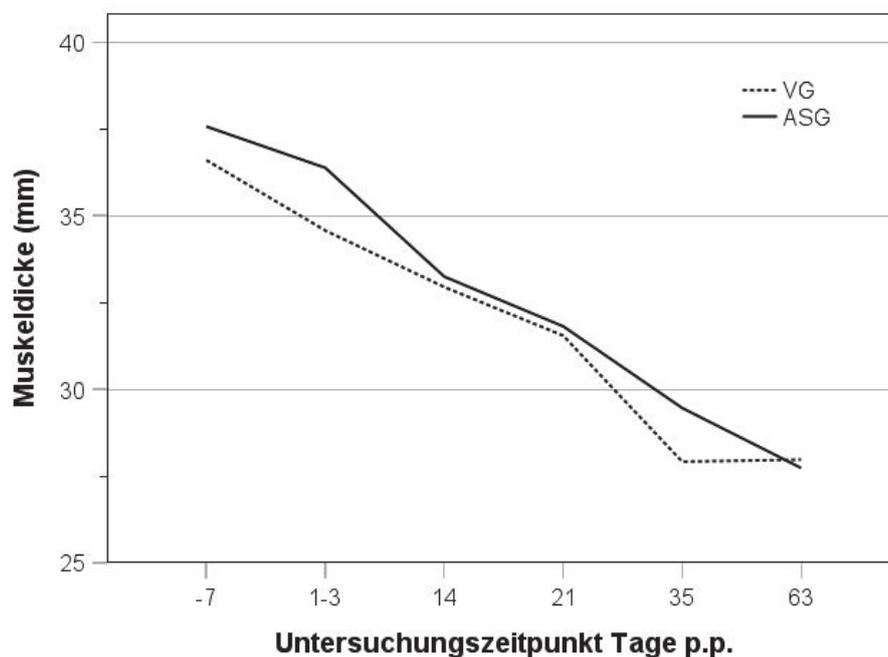


Abbildung 41: Verlauf der mittleren Muskeldicke (mm) während der sechs Untersuchungszeitpunkte ($p = 0,406$)

4.2.3.2 Trockenmasseaufnahme

4.2.3.2.1 Vorbereitungsphase

Die tägliche TM-Aufnahme während der 14-tägigen Vorbereitungsphase war zwischen den beiden Untersuchungsgruppen nicht signifikant unterschiedlich ($p = 0,627$). Am 6. Tag a.p. nahmen die Tiere der VG statistisch signifikant mehr Trockenmasse auf als die Tiere der ASG. An Tag 4 und 2 a.p. zeigten die Tiere in der VG einen statistischen Trend zu einer höheren TM-Aufnahme (Tabelle 54, Abbildung 42).

Tabelle 54: Vergleich der TM-Aufnahme (kg/Kuh/d) während der Vorbereitungsphase

Zeitpunkt (d a.p.)	ASG		VG		p
	b	SE	bd	SE	
6	13,2	0,52	+ 1,6	0,74	0,031
4	13,3	0,54	+ 1,4	0,77	0,073
2	12,8	0,57	+ 1,4	0,18	0,088

b bzw. bd = Regressionskoeffizient, SE = Standardfehler, p = Signifikanz

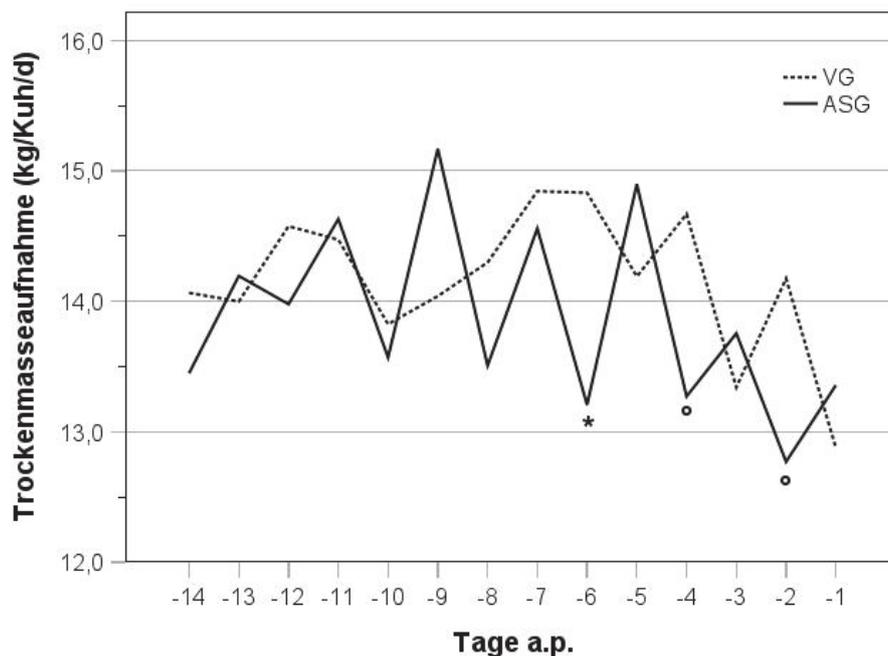


Abbildung 42: Verlauf der mittleren TM-Aufnahme (kg/Kuh/d) während der 14-tägigen Vorbereitungsphase ($p = 0,627$) mit $^{\circ} p < 0,10$ und $* = p < 0,05$

4.2.3.2.2 Laktation

Die mittlere TM-Aufnahme während des 15-wöchigen Untersuchungszeitraums unterschied sich nicht zwischen den beiden Haltungsguppen ($p = 0,427$). In der 3. Laktationswoche zeigte die VG einen statistischen Trend zu höheren TM-Aufnahmen ($p = 0,067$) (Tabelle 55, Abbildung 43).

Tabelle 55: Vergleich der TS-Aufnahme (kg/Kuh/d) während des Untersuchungszeitraums

Zeitpunkt	ASG		VG		p
	b	SE	bd	SE	
Woche 3	21,5	0,61	+ 1,64	0,87	0,067

b bzw. bd = Regressionskoeffizient, SE = Standardfehler, p = Signifikanz

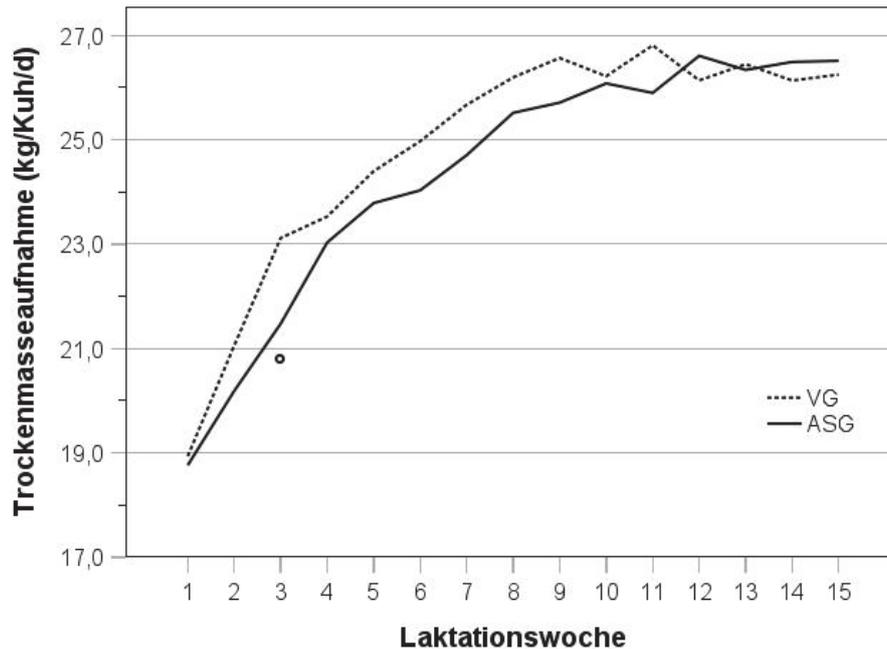


Abbildung 43: Verlauf der mittleren TM-Aufnahme (kg/Kuh/d) während des Untersuchungszeitraums ($p = 0,427$) mit $^{\circ} p < 0,10$

4.2.3.3 Erkrankungen

Das Auftreten von Mastitiden unterschied sich signifikant zwischen den beiden Haltungsguppen ($p = 0,019$). Die Wahrscheinlichkeit, dass eine Kuh der ASG an einer Mastitis erkrankte war 5-mal geringer als bei Tieren in der VG (Tabelle 56). Für alle übrigen Erkrankungen konnte kein signifikanter Unterschied zwischen der ASG und der VG festgestellt werden.

Tabelle 56: Zusammenhang zwischen der Untersuchungsgruppe und dem Auftreten einer Mastitiserkrankung

Mastitis	ASG	SE	p	OR	R ²
b	- 1,6	0,7	0,019	0,19	0,139
Konstante	- 0,8	0,4	0,032		

b = Regressionskoeffizient, SE = Standardfehler, p = Signifikanz, OR = Odds Ratio, R² = Bestimmtheitsmaß nach Nagelkerke

4.2.3.4 Blutparameter

Die statistisch signifikanten Unterschiede der Blutprobenuntersuchung sind in Tabelle 57 dargestellt. Für jeden stoffwechselrelevanten Parameter mit einem signifikanten Ergebnis wurden die Konzentrations- oder Aktivitätsverläufe während der sechs Untersuchungszeitpunkte zusätzlich grafisch dargestellt.

Tabelle 57: Vergleich der Blutparameter zu den Untersuchungszeitpunkten

Parameter	Tag p.p.	ASG		VG		p
		b	SE	bd	SE	
a.P.	-7	1,73	0,04	+ 0,11	0,05	0,044
K	1-3	4,58	0,06	- 0,17	0,08	0,042
GLDH	35	17,85	2,68	+ 7,23	3,77	0,060
	63	21,4	2,80	+ 13,75	3,93	< 0,001
AST	63	92,2	5,28	+ 23,2	7,40	0,003
CK	1-3	366,8	51,1	- 125,6	71,8	0,085
BHB	-7	0,53	0,02	- 0,07	0,03	0,051
	21	0,94	0,09	- 0,29	0,13	0,023
NEFA	14	0,77	0,71	- 0,32	0,10	0,002
Gluk	21	3,97	0,08	+ 0,28	0,12	0,019
BUN	21	2,62	0,15	+ 0,74	0,21	<0,001
	35	2,69	0,11	+ 0,69	0,16	<0,001
	63	2,70	0,12	+ 0,83	0,17	<0,001
Bili	14	5,99	0,59	- 1,42	0,83	0,092
TP	35	80,2	0,98	+ 2,37	1,37	0,089

b bzw. bd = Regressionskoeffizient, SE = Standardfehler, p = Signifikanz

Die Untersuchung der Mengenelemente zeigte eine signifikante Reduktion der Phosphatkonzentration a.p. ($p = 0,044$) sowie eine signifikante Erhöhung der Kaliumkonzentration direkt p.p. ($p = 0,042$) in der ASG.

Die Aktivität einiger Stoffwechsellenzyme war ebenfalls signifikant unterschiedlich zwischen der ASG und der VG. Die GLDH in der ASG zeigte eine tendenziell geringere Aktivität am 35. Untersuchungstag ($p = 0,060$) sowie eine signifikant geringere Aktivität am 63. Untersuchungstag ($p < 0,001$) im Vergleich zur VG. Im Verlauf der Untersuchung war bereits direkt p.p. eine unterschiedliche Enzymaktivitäten zwischen den beiden Untersuchungsgruppen erkennbar, welche sich mit fortschreitender Untersuchung verstärkte (Abbildung 44). Bis auf die erste Messung a.p. lagen die Enzymaktivitäten in der ASG während der sechs Untersuchungszeitpunkte unterhalb der Enzymaktivität der VG. Die AST-Aktivität in der ASG lag am 63. Untersuchungstag signifikant unterhalb der Messungen der VG ($p = 0,003$). Anders als bei der GLDH verlief die AST-Aktivität in der ASG direkt p.p. bis zum 35. Untersuchungstag höher als in der VG, obwohl kein statistisch signifikanter Unterschied bestätigt werden konnte. Die CK-Aktivität in der ASG fiel zwischen dem 1. und 3. Tag p.p. tendenziell höher aus als in der VG ($p = 0,085$).

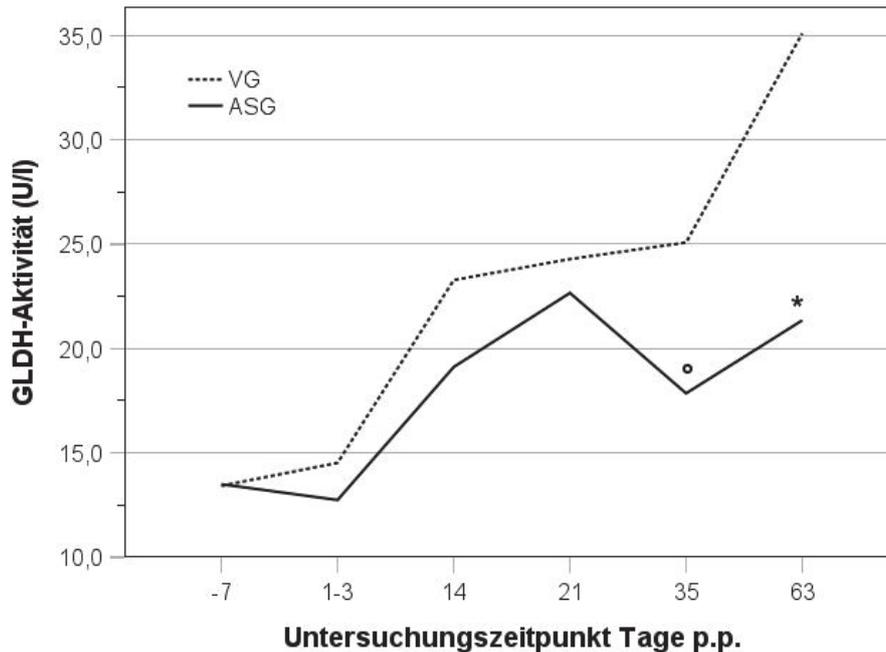


Abbildung 44: Verlauf der mittleren GLDH-Aktivität (U/l) während der sechs Untersuchungszeitpunkte ($p = 0,038$) mit $^{\circ} p < 0,10$ und $* = p < 0,05$

Die Messung der Stoffwechselfparameter zeigte ebenfalls signifikante Unterschiede zwischen der ASG und der VG. Die BHB-Konzentration in der ASG fiel direkt p.p. tendenziell ($p = 0,051$) und am 21. Untersuchungstag signifikant ($p = 0,023$) höher aus als in der VG. Erst während der letzten beiden Untersuchungszeitpunkte fiel die BHB-Konzentration in der ASG ab und erreichte das Niveau der VG-Ergebnisse (Abbildung 45). Auch die NEFA-Konzentration in der ASG lag am 21. Untersuchungstag signifikant über der Messung in der VG ($p = 0,002$). Allerdings wurde zu den anderen Untersuchungszeitpunkten kein signifikanter Unterschied zwischen der ASG und der VG festgestellt (Abbildung 46). Ein Abfall der Glukosekonzentration mit Beginn der Laktation war in beiden Untersuchungsgruppen zu beobachten. Parallel zu der NEFA-Messung lag auch die Glukosekonzentration in der ASG am 21. Untersuchungstag signifikant unter den Ergebnissen der VG ($p = 0,019$).

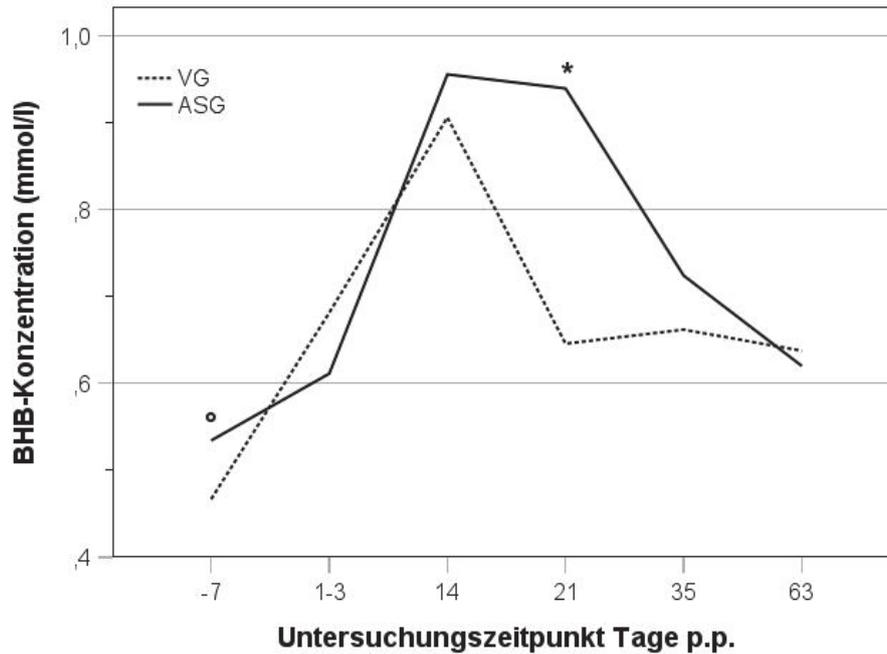


Abbildung 45: Verlauf der mittleren BHB-Konzentration (mmol/l) während der sechs Untersuchungszeitpunkte ($p = 0,278$) mit ° $p < 0,10$ und * $p < 0,05$

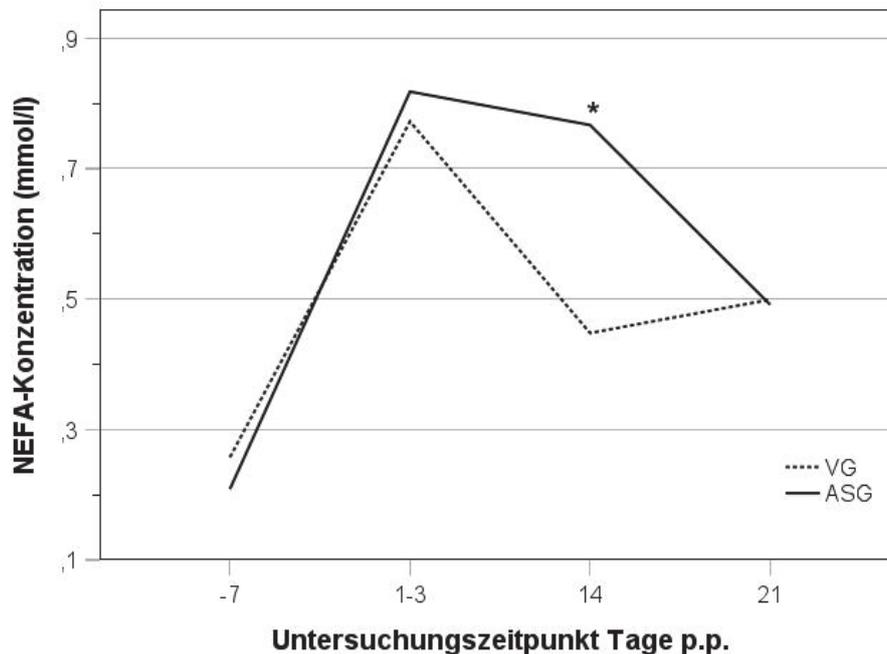


Abbildung 46: Verlauf der mittleren NEFA-Konzentration (mmol/l) während der sechs Untersuchungszeitpunkte ($p = 0,255$) mit * $p < 0,05$

Die Harnstickstoffkonzentration im Blut war am 21., 35. und 63. Untersuchungstag signifikant geringer in der ASG als in der VG ($p < 0,001$). Die Verläufe der BUN divergierten bereits zu Beginn der Laktation (Abbildung 47), jedoch ließ sich dies zu diesem Zeitpunkt noch nicht

statistisch bestätigen. Weiterhin konnten in der ASG tendenziell höhere Bilirubinkonzentration am 14. ($p = 0,092$) sowie tendenziell geringe TP-Konzentration am 35. Untersuchungstag ($p = 0,089$) beobachtet werden.

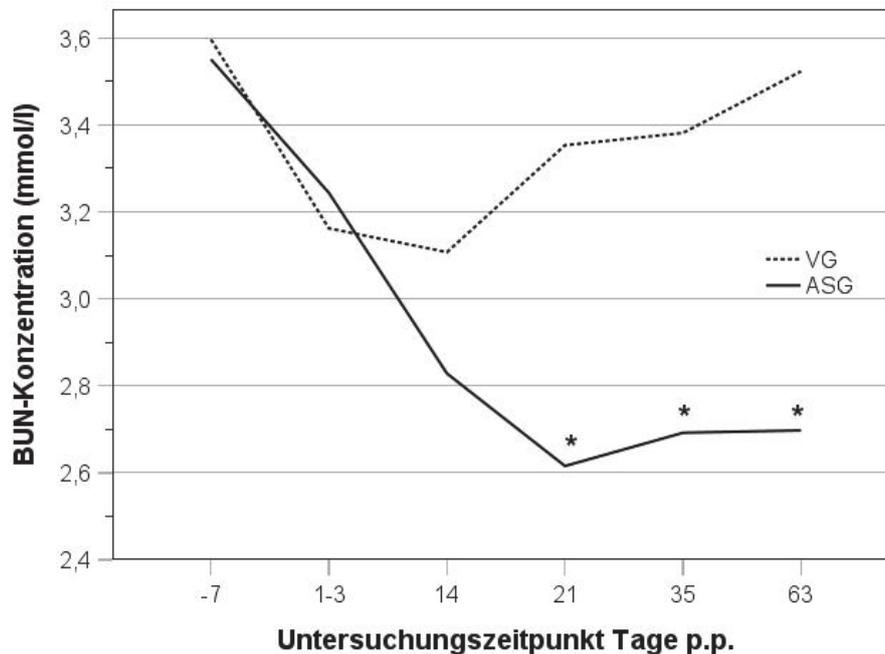


Abbildung 47: Verlauf der mittleren BUN-Konzentration (mmol/l) während der sechs Untersuchungszeitpunkte ($p = 0,001$) mit * $p < 0,05$

Bei den übrigen Blutparametern zeigte sich weder bei Betrachtung der Gesamtuntersuchung noch zu den einzelnen Untersuchungszeitpunkten ein signifikanter Unterschied zwischen den Ergebnissen der ASG und der VG.

4.2.3.5 Harnparameter

Die Untersuchung der Harnprobe ergab einen tendenziell höheren Harn-pH-Wert ($p = 0,067$) sowie eine signifikant höhere Kaliumkonzentration in der ASG ($p = 0,037$) (Tabelle 58).

Tabelle 58: Vergleich der Harnparameter a.p.

Parameter	\bar{x}		p^*
	ASG	VG	
pH	8,0	7,8	0,067
K mmol/l	263,6	229,9	0,037

* asymptotische Sig., zweiseitiger Test, \bar{x} = arith. Mittel, p = Signifikanz

5 Diskussion

Die Reduktion des Rohroteingehaltes in Futtrationen für Milchkühe ist seit Langem von großem Interesse für landwirtschaftliche Betriebe. Die Senkung von Futtermittelkosten und eine verringerte Ausscheidung von stickstoffhaltigen Stoffwechselprodukten bieten neben der Entlastung des Stoffwechsels eine Möglichkeit, die wirtschaftliche Effizienz zu verbessern sowie rechtlichen Bestimmungen gerecht zu werden. Eine alleinige Reduzierung des Rohproteingehaltes in der Ration ohne Mehrzulage an RUP geht allerdings oftmals mit einem Rückgang der Milchleistung einher und kann sogar eine Mehrbelastung mit Stickstoff bedeuten. Um eine langfristige Rentabilität durch rohproteinverringerte Rationen zu erreichen, müssen daher sowohl die Auswahl der Rationskomponenten als auch die Berechnung der Rationsinhaltsstoffe mit größter Sorgfalt durchgeführt werden.

Der peripartale Zeitraum ist ein sensibler Abschnitt, in dem der Grundstein für eine erfolgreiche Folgelaktation mit hoher Milchleistung und guter Tiergesundheit gelegt wird. Nutritive Veränderungen können das Abkalbverhalten und die Tiergesundheit und damit auch den Start in die Laktation maßgeblich beeinflussen. Aus diesem Grund wurde in dieser Studie untersucht, ob die Kombination einer peripartalen Fütterung der pansengeschützten AS Methionin und Lysin mit einer postpartalen Reduktion des Rohproteinangebots positive Effekte auf die Tiergesundheit, die Milchleistung und die Fruchtbarkeit in der sich anschließenden Laktation hat.

5.1 Methodenkritik

Die Studienergebnisse und die daraus abgeleiteten Rückschlüsse sind mit Bedacht zu interpretieren. Grund dafür sind Defizite in der Studienstruktur und die daraus folgenden eingeschränkten Vergleichsmöglichkeiten der ausgewählten Einflussfaktoren. Es wurden zwei Variablen in der Futtration variiert, das Rohproteinangebot und der Gehalt an pansengeschützten AS. Für die differenzierte Interpretation der Faktorenwirkung wären vier Untersuchungsgruppen optimal gewesen (*Standard-XP-Gehalt*, *Standard-XP-Gehalt plus AS-Zulage*, *reduzierter XP-Gehalt*, *reduzierter XP-Gehalt plus AS-Zulage*). In der Studie wurden allerdings nur zwei Untersuchungsgruppen gebildet (*Standard-XP-Gehalt* und *reduzierter XP-Gehalt plus AS-Zulage*). Hauptursache für die Bildung von nur zwei Gruppen war die Sicherung einer Mindesttierzahl pro Gruppe aufgrund der begrenzten Anzahl an Fressplätzen zur Messung der Einzeltierfuturaufnahmen. Die gewählte Gruppenbildung lässt keine differenzierte Bewertung zu, weshalb auch keine Aussage dazu gemacht werden kann, welche Effekte in der ASG auf die Proteinreduktion oder auf die AS-Ergänzung im Vergleich zur VG

zurückzuführen sind. So kann nicht bewertet werden, ob die signifikant geringere Milchmengenleistung in der ASG ohne AS-Ergänzung noch stärker ausgefallen wäre. Ungeklärt bleibt deshalb auch, wie groß der Milchleistungsrückgang durch eine Rohproteinreduzierung ohne AS-Zulage gewesen wäre bzw. in welchem Ausmaß eine AS-Zulage den Einbruch der Milchleistung abmildern konnte. Ebenso kann nicht schlüssig beurteilt werden, ob die positiven Effekte auf die Tiergesundheit (Mastitisinzidenz, reduzierte GLDH- und AST-Aktivität) in der ASG auf der Reduktion von XP und/oder auf der AS-Supplementierung beruhen oder eine Folge der geringeren Milchmengenleistung sind. Als Folge der fehlenden Untersuchungsgruppe *Standard-XP plus AS-Zulage* sind zur Wirkung einer AS-Ergänzung bei bedarfsgerechter Proteinversorgung keine Aussagen möglich. Das ist aber akzeptabel, da diese Fragestellung kein formuliertes Untersuchungsziel war. Darüber hinaus wurde in dieser Studie nur die Wirkung der beiden Aminosäuren Methionin und Lysin untersucht. Andere bedeutsame Aminosäuren wie zum Beispiel Cholin, Histidin und Arginin wurden bewusst nicht zugefüttert, obwohl hinreichend Literatur über die genannten Aminosäuren verfügbar ist, in denen durchaus positive Effekte auf Milchkühe festgestellt werden können. Auch wurde auf eine komplexe Analyse der Aminosäuregehalte in den einzelnen Rationskomponenten sowie in der Gesamtration und im Blutserum verzichtet. Diese Punkte limitieren zwar die Studie, hätten gleichzeitig aber zu einer enormen Komplexität geführt. Daher kann nicht geklärt werden, ob und in welchem Ausmaß die supplementierten Aminosäuren tatsächlich für den Stoffwechsel zur Verfügung standen und ob es innerhalb dieses System zu Wechselwirkungen kam. Auch in der Literatur gibt es Studien mit ähnlichem Aufbau, aber auch Studien mit komplexer angelegten Untersuchungsstrukturen. Der Vergleich solcher Studien sollte daher immer den Versuchsaufbau und die sich daraus ergebende Auswertung berücksichtigen.

5.2 Milchleistung

5.2.1 Milchmengenleistung

Beide Untersuchungsgruppen starteten mit einer ähnlichen Einsatzleistung in die Laktation. Bereits ab der 3. Laktationswoche konnte die ASG nicht die gleiche Milchmengenleistung wie die VG erreichen. Zusätzlich zeigte sich in der VG ein höherer und längerer Laktationshöhepunkt als in der ASG. Die 100-Tage-Gesamtmilchmengenleistung der ASG lag zudem statistisch signifikant unter der Leistung der VG (ASG: 4463 kg/Kuh und VG: 4717 kg/Kuh und $p = 0,046$).

Auch Lee et al. (2019) bestätigen keine Effekte auf die Milchleistung bei Erst- und Mehrkalbstieren durch peripartale Ergänzung von Methionin und Lysin in Rationen auf Maissilagegrundlage und einem Rohproteingehalt von 16%. Ähnliche Ergebnisse wurden auch bei der Untersuchung von Socha et al. (2005) gefunden, der den Einfluss beider

Aminosäuren in einer Ration mit 16,0 % Rohproteingehalt untersuchte. Hier kam es im Vergleich zu einer Ration mit 18,5 % Rohprotein weder zu einer Steigerung noch zu einem Rückgang der Milchleistung. In dieser Untersuchung kam allerdings in beiden Rationen das in Deutschland verbotene Blutmehl als Proteinträger zum Einsatz. Eine Vergleichbarkeit dieser Ergebnisse mit den Ergebnissen der vorliegenden Arbeit ist daher mit Bedacht vorzunehmen. Untersuchungen haben gezeigt, dass eine gleichzeitige Reduktion des Rohproteingehaltes und der RUP-Fraktion ohne eine LeistungseinbuÙe möglich ist, wenn der Bedarf an Methionin und Lysin gedeckt ist (Bahrami-Yekdangi et al. 2014).

Die Ergebnisse der oben genannten Studien stehen im Kontrast zu den Ergebnissen zweier Untersuchungen von Elsaadawy et al. aus dem Jahr 2022. Hier konnte eine signifikante Steigerung der Milchleistung im Allgemeinen sowie ein schnelleres Erreichen der Laktationsspitze mit höheren Milchmengen nach peripartaler Methionin- und Lysinergänzung festgestellt werden. Die Rationen, basierend auf Maissilage und Luzerneheu, wurden mit pansenstabilem Methionin und Lysin in einem 2,5:1 bis 3:1-Verhältnis ergänzt, bei einem Rohproteingehalt von 16,4 % ante partum und 16,7 % post partum und einer NEL von ante partum von 1,53 und post partum von 1,70 Mcal/kg TM. Auf eine Rohproteinreduzierung wurde allerdings in beiden Untersuchungen verzichtet. Anzumerken ist, dass ein positiver Effekt auf die Milchleistung besonders in solchen Studien festzustellen ist, in denen auch die Trockenmasseaufnahme während der Untersuchung angestiegen ist (Elsaadawy et al. 2022a, Elsaadawy et al. 2022b). Ist dies nicht der Fall, bleibt häufig auch die Milchmengenleistung unverändert (Socha et al. 2005, Lee et al. 2019). Auch das Methionin-Lysin-Verhältnis scheint nicht die Ursache für die unterschiedlichen Ergebnisse der Milchleistungen zu sein, da dieses sowohl in den beiden Studien von Elsaadawy et al. (2022) als auch in der Studie von Lee et al. (2019) bei 3:1 lag. Die Anwendung des pansenstabilen Produktes in Form von Aufstreuen und anschließendem Einmischen in die TMR hat ebenfalls sowohl in Studien mit positiven als auch negativen Ergebnissen stattgefunden (Socha et al. 2005, Elsaadawy et al. 2022a, Elsaadawy et al. 2022b). Eine Maissilage als Hauptbestandteil der Ration hat in allen oben genannten Studien Verwendung gefunden.

5.2.2 Milchinhaltsstoffe

Der Milcheiweißgehalt unterschied sich während des Untersuchungszeitraumes nicht zwischen den beiden Untersuchungsgruppen ($p = 0,456$). Die Milcheiweißmengen der ASG lagen tendenziell unter denen der VG ($p = 0,061$). Diese Ergebnisse decken sich nur zum Teil mit den Ergebnissen in der Literatur. Socha et al. (2005) stellten nach einer peripartalen Aminosäurezulage in rohproteinreduzierten Rationen eine Steigerung des Milchproteingehalts um 0,13 %-Punkte, aber kaum Veränderung der täglichen Milcheiweißmenge fest. Zu ähnliche

Ergebnisse kamen auch Lee et al. (2019), obwohl hier auf eine Rohproteinreduzierung verzichtet wurde. Im Gegensatz zu den Ergebnissen der vorliegenden Studie stehen die Resultate von Elsaadawy et al. (2022b), die sowohl eine Steigerung des Milcheiweißgehalts als auch der Milcheiweißmenge feststellen konnten. Diese positiven Effekte sind laut dem Autor vor allem dann möglich, wenn ausreichend mikrobielles Protein und ausreichend RUP in den Dünndarm gelangt. Auch ein Anstieg der Milchproteinmengen und Proteingehalte wird nach alleiniger peripartaler Methioninfütterung beschrieben (Kudrna et al. 2009, Ordway et al. 2009, Osorio et al. 2013, Batistel et al. 2017b). Diese Ergebnisse decken sich ebenfalls nicht mit den Ergebnissen dieser Studie.

Während bei den täglichen Milchfettmengen keine Veränderung festgestellt werden konnte ($p = 0,285$), lagen die Milchfettgehalte der ASG tendenziell über den Milchfettgehalten der VG ($p = 0,069$). In der Literatur sind Anstiege der Milchfettgehalte nach peripartaler Supplementierung mit Methionin und Lysin mit unterschiedlichem Ausmaß beschrieben (Socha et al. 2005, Lee et al. 2019, Elsaadawy et al. 2022b). Der Laktosegehalt sowie die Laktosemenge unterschieden sich hingegen nicht zwischen der ASG und der VG ($p = 0,833$ und $p = 0,246$). Die grafische Darstellung des Laktoseverlaufs lässt eine geringere Laktosemenge in der ASG vermuten, obwohl die statistische Analyse keine signifikanten Ergebnisse lieferte. Dieses Resultat deckt sich mit dem Ergebnis der Untersuchung von Lee et al. (2019), die weder eine Veränderung der Laktosemengen noch eine Veränderung der Laktosegehalte nach peripartaler Aminosäuresupplementierung feststellen konnten. Diese Ergebnisse stehen im Kontrast zu denen von Elsaadawy et al. (2022b), die einen signifikanten Anstieg der Laktosegehalte und Laktosemengen nach peripartaler Ergänzung durch eine kombinierte Supplementierung mit Methionin und Lysin beobachteten. Eine weitere Studie desselben Autors bestätigte weiterhin die Wirkung auf die täglichen Laktosemengen (Elsaadawy et al. 2022a). Obwohl in dieser Arbeit durch die Kombination beider Aminosäuren keine Veränderung der Laktose bewirkt wurde, zeigt der Einsatz der einzelnen Aminosäuren durchaus positive Effekte. In der Literatur wird ein Anstieg der Laktosemenge, aber nicht der Laktosegehalte sowohl nach peripartaler Methioninsupplementierung (Piepenbrink et al. 2004, Batistel et al. 2017b) als auch nach peripartaler Lysinsupplementierung beschrieben (Fehlberg et al. 2020). Ungeachtet dessen scheinen diese Ergebnisse allerdings nicht grundsätzlich reproduzierbar zu sein (Kudrna et al. 2009, Ordway et al. 2009, Zhou et al. 2016b, Clements et al. 2017, Girma et al. 2019, Silva et al. 2021, Toledo et al. 2021).

Die Milchwahnharnstoffkonzentration und die Stickstoffausscheidung fielen in der ASG signifikant geringer als in der VG aus ($p < 0,001$). Eine Reduktion stickstoffhaltiger Stoffwechselverbindungen wird in der Literatur vielfach in Versuchen mit reduzierten Proteingehalten und einer Aminosäuresupplementierung beschrieben und deckt sich mit den Ergebnissen dieser Studie (Leonardi et al. 2003, Chen et al. 2011, Lee et al. 2012a, Arriola Apelo et al. 2014, Lee

et al. 2015). Diese positiven Ergebnisse sind größtenteils auf die Rohproteinreduktion und weniger auf die Ergänzung der Aminosäuren zurückzuführen. Diese Annahme kann im Wesentlichen dadurch bestätigt werden, dass eine Supplementierung mit Methionin oder Lysin keine Veränderung der MUN-Konzentration bewirkt hat (Ordway et al. 2009, Batistel et al. 2017b, Girma et al. 2019, Fehlberg et al. 2020, Toledo et al. 2021). Zusätzlich zeigen Studien, dass eine Reduktion der Milchstickstoffkonzentration auch ausbleiben kann, wenn der Gehalt an RUP und metabolisierbarem Protein in der Ration ausreichend hoch ist (Broderick et al. 2009, Tamura et al. 2018).

Ähnlich wie in dieser Studie wurde auch bei zwei Untersuchungen von Elsaadawy et al. im Jahr 2022 ein signifikanter Rückgang der Milchstickstoffkonzentration verzeichnet. Im Gegensatz zu dieser Studie wurde allerdings keine Rohproteinreduzierung in der Ration vorgenommen. Daher ist davon auszugehen, dass die verwendeten Rationen ein ausgeglichenes Verhältnis an RUP und metabolisierbarem Protein aufwiesen, wodurch eine Rohproteinreduzierung nicht weiter notwendig war. Im Gegensatz dazu wurden bei der Untersuchung von Lee et al. (2019) keine Veränderung der Milchstickstoffmengen nach Supplementierung mit Methionin und Lysin festgestellt.

Im Allgemeinen lässt sich bestätigen, dass sowohl durch Methionin- als auch durch eine Lysinsupplementierung im peripartalen Zeitraum keine Veränderung der Milchzellzahl bewirkt werden kann (Zhou et al. 2016b, Toledo et al. 2017, Batistel et al. 2017b, Girma et al. 2019, Fehlberg et al. 2020, Toledo et al. 2021). Im Gegensatz dazu stehen die Ergebnisse von Elsaadawy et al. (2022b), die einen signifikanten Rückgang der Zellzahl nach peripartaler Supplementierung mit Methionin und Lysin beobachtet haben. Ähnlich Ergebnisse lieferten auch Lee et al. (2015), die diesen positiven Effekt allerdings nur durch eine antepartale statt durch eine peripartale Supplementierung bestätigen können. Obwohl in dieser Studie keine Veränderung der Milchzellzahl festgestellt wurde, kann ein Rückgang der Zellzahl auf eine bessere Eutergesundheit hindeuten, die durch eine geringere Inzidenz von Mastitis nach peripartaler Methioninsupplementierung bestätigt werden kann (Ardalan et al. 2010).

Die Proteinreduzierung sowie die Ergänzung von Methionin und Lysin haben keine Veränderung der Kolostrumqualität bewirkt ($p = 0,818$). In der Literatur existiert nach aktuellem Kenntnisstand keine Studie, die den Einfluss einer Rohproteinreduzierung in Kombination mit der Supplementierung von Methionin und Lysin untersucht hat. Untersuchungen ohne Rohproteinreduzierung zeigen allerdings eine signifikante Erhöhung der Kolostrumqualität nach peripartaler Zufütterung von Methionin und Lysin (Wang et al. 2021). Die Ergebnisse dieser Studie ähneln eher denen von Alharthi et al. (2018), der nach einer dreiwöchigen Methioninzugabe am Ende der Trächtigkeit keine Veränderung in der Kolostrumqualität feststellen konnte. Untersuchungen bestätigen zudem, dass der Rohproteingehalt im Futter keinen Einfluss auf die Kolostrumqualität hat (Santos et al. 2001).

5.3 Fruchtbarkeit

In der vorliegenden Studie kam es durch die Aminosäurezulage bei gleichzeitiger Rohproteinreduktion zu keiner Veränderung der fruchtbarkeitsrelevanten Parameter oder Verbesserung der Trächtigkeitsergebnisse.

Diese Ergebnisse widersprechen denen von Elsaadawy et al. (2022a), die neben einer signifikanten Verkürzung der Tage bis zur ersten Besamung auch eine signifikante Verbesserung der Brunsterkennung sowie eine Verbesserung der Konzeptions- und Trächtigkeitsrate nach kontinuierlicher Aminosäuresupplementierung mit Methionin und Lysin im peripartalen Zeitraum feststellten. Positive Effekte durch peripartale Methioninsupplementierung auf das Überleben des Embryos (Acosta et al. 2016, Toledo et al. 2017) sowie eine signifikante Reduzierung einzelner Fruchtbarkeitskennzahlen (Ardalan et al. 2010) lassen sich feststellen, sind allerdings nicht konstant reproduzierbar (Acosta et al. 2017) und decken sich nicht mit den Ergebnissen der vorliegenden Studie.

Die Geburtsgewichte der Kälber waren nicht unterschiedlich ($p = 0,722$). Diese Ergebnisse decken sich mit denen von Wang et al. (2021). Allerdings zeigt diese Studie auch, dass positive Effekte einer maternalen Supplementierung mit Methionin und Lysin erst im weiteren Verlauf des Lebens einsetzen. Auch die Fütterung von Methionin zeigt keinen Anstieg der Geburtsgewichte (Jacometo et al. 2016, Clements et al. 2017). Gleiches wird für die maternale Supplementierung mit Lysin beschrieben (Thomas et al. 2022). Im Gegensatz dazu zeigen einige Studien ein höheres Geburtsgewicht der Kälber nach maternaler Methioninsupplementierung besonders dann, wenn auch die Mutterkühe a.p. mehr Trockenmasse aufnahmen (Batistel et al. 2017a, Alharthi et al. 2018). Grund hierfür könnte eine Verbesserung der Transportmechanismen von uteroplacentären Nährstoffen sein, die sowohl nach Methionin- (Batistel et al. 2017a) als auch Lysinsupplementierung (Guadagnin et al. 2023) beschrieben werden.

5.4 Tiergesundheit

5.4.1 Körperkondition

Im Rahmen dieser Arbeit wurde die Konditionsbeurteilung durch die Messung der Rückenfettmuskeldicke beurteilt. Dabei wurde festgestellt, dass es keinen Unterschied in der Veränderung der Rückenfettmuskeldicke zwischen den beiden Untersuchungsgruppen gab ($p = 0,479$). Aktuell liegen in der Literatur keine vergleichbaren Untersuchungen der RFMD mit Aminosäuresupplementierung und Rohproteinreduzierung vor. In vielen Untersuchungen wird die Kondition üblicherweise anhand des BCS beurteilt. Studien mit peripartaler Methionin- und Lysinsupplementierung zeigen signifikant höhere BCS-Bonitierungen und geringere BCS-

Schwankungen im Verlaufe der Laktation (Elsaadawy et al. 2022a, Elsaadawy et al. 2022b). Auch bei gleichzeitiger Rohproteinreduzierung kann eine Zulage dieser Aminosäuren einen Abfall der BCS-Note reduzieren (Socha et al. 2005). Mehrheitlich lässt sich allerdings kein Einfluss durch Methionin, Lysin oder deren Kombination auf den BCS feststellen (Osorio et al. 2013, Zhou et al. 2016b, Clements et al. 2017, Batistel et al. 2017b, Girma et al. 2019, Lee et al. 2019, Fehlberg et al. 2020, Silva et al. 2021, Toledo et al. 2021). Die Ergebnisse dieser Untersuchung decken sich mit den Resultaten der genannten Studien. Auch das Körpergewicht zeigt sich nach peripartaler Supplementierung mit Methionin oder Lysin oder deren Kombination in diversen Studien unverändert (Socha et al. 2005, Ordway et al. 2009, Osorio et al. 2013, Zhou et al. 2016b, Clements et al. 2017, Batistel et al. 2017b, Lee et al. 2019, Fehlberg et al. 2020, Toledo et al. 2021).

5.4.2 Trockenmasseaufnahme

Als Trockenmasse bezeichnet man die Restmasse einer Substanz nach Abzug der enthaltenen Feuchtigkeit. Sie wird in Kilogramm ausgewiesen und ist eine wichtige Kenngröße in der Futtermittelanalytik, da sie angibt wie viel Futtermasse von der Kuh tatsächlich gefressen wird. Außerdem dient sie als Bezugsgröße für Rationsparameter. Die Trockenmasseaufnahme wird sowohl durch intrinsische Faktoren (Rasse, Lebendmasse, Laktationszahl, Laktationsstadium) als auch durch extrinsische Faktoren (Grobfutterqualität, Krafftutterniveau) und der daraus resultierenden Milchleistung beeinflusst, die je nach Energiebilanz unterschiedliche Gewichtungen erhalten (Gruber 2004). Auch hohe Rohproteinmengen in der Ration führen oftmals zu hohen TM-Aufnahmen (Broderick und Muck 2009, Law et al. 2009, Cabrita et al. 2011). In der Vorbereitungsphase gilt eine Trockenmasseaufnahme von 12 - 15 kg/d bei einer ausgewachsenen Milchkuh als Richtwert (Meetschen 2019), während sie in der Laktation je nach Leistungsniveau zwischen 23 - 27 kg/d liegen sollte (Gruber 2004). Mit durchschnittlich 13,3 kg/d in der ASG und 13,6 kg/d in der VG lag die TM-Aufnahme a.p. in dem gewünschten Bereich. Signifikante Unterschiede wurden nicht festgestellt ($p = 0,627$). Post partum betrug die mittlere TM-Aufnahme in der ASG 24,4 kg/d und 24,9 kg/d in der VG. Statistisch signifikante Unterschiede wurden auch hier nicht festgestellt ($p = 0,427$). Zu dem gleichen Ergebnis kamen auch Socha et al. (2005) im Rahmen der Untersuchung einer Supplementierung mit Methionin und Lysin in rohproteinreduzierten Rationen sowie auch Lee et al. (2019), obwohl in dieser Studie keine Rohproteinreduzierung vorgenommen wurde. Im Gegensatz dazu beschreiben Elsaadawy et al. (2022a) einen signifikanten Anstieg der TM-Aufnahme durch eine Aminosäuresupplementierung an Transitzühe im Allgemeinen, besonders aber durch die Fütterung von Methionin a.p. und die kombinierte Supplementierung mit Lysin p.p. (Elsaadawy et al. 2022b). Die Untersuchungsergebnisse zur Wirkung von

Methionin sind dennoch uneinheitlich. Es zeigen sich sowohl Zunahmen der TM-Aufnahme entweder im gesamten peripartalen Zeitraum (Zhou et al. 2016b, Batistel et al. 2017b), nur postpartal (Ordway et al. 2009, Osorio et al. 2013) oder überhaupt nicht (Toledo et al. 2021). Untersuchungen zur Lysinwirkung belegen, dass die Supplementierung a.p. zu höheren TM-Aufnahmen p.p. führt (Girma et al. 2019, Fehlberg et al. 2020, Guadagnin et al. 2022).

5.4.3 Postpartale Tiergesundheit

Der peripartale Zeitraum ist eine sensible Zeitspanne, in der eine Reihe physiologischer Adaptionsprozesse stattfinden, für dessen erfolgreicher Ablauf eine gute Tiergesundheit grundlegend ist. Zu den typischen puerperalen Erkrankungen gehören neben Gebärmuttererkrankungen wie Metritis und Endometritis auch Störungen des Kalzium- und Phosphat-haushalts, Leber- und Fettstoffwechselstörungen und Labmagenverlagerung. Untersuchungen zeigen, dass die Inzidenz dieser typischen postpartalen Erkrankungen wie Nachgeburtsverhalten, Gebärmuttererkrankungen, Ketosen, Labmagenverlagerungen und Mastitiden durch eine peripartale Methioninsupplementierung reduziert werden kann (Ardalan et al. 2010, Osorio et al. 2013). Keine Veränderung wurde in der Häufigkeit von Lahmheiten beobachtet. Bis auf das Auftreten von Lahmheiten widersprechen diese positiven Ergebnisse von Ardalan et al. (2010) den in dieser Studie erlangten Erkenntnissen. Während für Stoffwechselstörungen, Labmagenverlagerungen und Lahmheiten kein Unterschied zwischen den beiden Gruppen beobachtet werden konnte, war die Wahrscheinlichkeit für das Auftreten von Mastitiden in der ASG signifikant geringer als in der VG ($p = 0,019$). Ähnlich sind die Ergebnisse allerdings mit denen von Tamura et al. (2018). In dieser Untersuchung wurde nach der Gabe von pansenstabilem Methionin ab der Kalbung ebenfalls keine Veränderung im Auftreten postpartaler Erkrankungen festgestellt. Dies gilt auch für die Inzidenz von Mastitiden. Trotz der Ergebnisse dieser Studie bestätigen einige Autoren eine positive Wirkung durch die Ergänzung mit Methionin und Lysin. So kommt es nach peripartaler Supplementierung von Methionin zu einer Verbesserung der uterinen Immunität, die durch eine erhöhte endometriale Infiltration mit Neutrophilen verursacht wird (Stella et al. 2018). Neben der Bereitstellung von Methylspendern, der Aktivierung der PPAR-Signalkaskade und der Synthese von Antioxidantien in der Leber kann eine peripartale Methioninfütterung in vielen Studien auch das Immunsystem und den Fettstoffwechsel positiv beeinflusst (Osorio et al. 2013, Osorio et al. 2014a, Osorio et al. 2014b, Osorio et al. 2016, Zhou et al. 2016a). Positive Effekte auf das Immunsystem und die Leberaktivität (Fehlberg et al. 2023) und eine Verbesserung der Gebärmutterimmunität (Guadagnin et al. 2022) zeigen sich auch nach peripartaler Lysinsupplementierung.

Die BHB- und NEFA-Konzentration in der ASG lag an mehreren Untersuchungstagen signifikant über den Ergebnissen der VG (Tabelle 57). Zudem lag die Blutglukosekonzentration in der ASG an Tag 21 p.p. signifikant unter der Konzentration der VG. Die in der Literatur angegebenen Auswirkungen einer peripartalen Aminosäuresupplementierung auf diese Stoffwechselfparameter sind teils kontrovers und können diese Ergebnisse nicht grundsätzlich bestätigen oder widerlegen. Eine Vergleichsuntersuchung von Socha et al. (2005) mit rohproteinreduzierten, supplementierten Rationen und nicht rohproteinreduzierten, un-supplementierten Rationen zeigt keine Veränderung der BHB-, NEFA- und Glukosekonzentration. Einige Studien ohne Rohproteinreduzierung hingegen bestätigen geringere BHB-Konzentrationen nach peripartaler Ergänzung beider Aminosäuren (Lee et al. 2019, Elsaadawy et al. 2022a, Elsaadawy et al. 2022b), allerdings keine Veränderungen der NEFA-Konzentration (Lee et al. 2019). Weiterhin bestätigen Studien gesunkene BHB-Konzentration auch nach der peripartalen Supplementierung von Methionin (Sun et al. 2016) und der antepartalen Lysinsupplementierung (Fehlberg et al. 2020). Allerdings gibt es auch hier Studien, in denen durch die alleinige Ergänzung von Methionin im peripartalen Zeitraum keine Veränderung der BHB-Konzentration beobachtet werden konnte (Osorio et al. 2013, Zhou et al. 2016b, Batistel et al. 2017b). Im Gegensatz zu dem Ergebnisse der NEFA-Untersuchung von Lee et al. (2019) zeigen zwei andere Studien, dass eine Reduktion der NEFA-Konzentration sowohl nach peripartaler Methionin- (Batistel et al. 2017b) als auch nach peripartaler Lysinsupplementierung (Girma et al. 2019) möglich ist. Abgesehen von den kontroversen Ergebnissen der Supplementierung der einzelnen Aminosäuren und deren Kombination, gibt es weder im peripartalen Zeitraum noch während der Laktation eine vergleichbare Untersuchung, die eine Erhöhung der BHB- oder NEFA-Konzentration durch die Aminosäureergänzung festgestellt hat.

Die Untersuchung der GLDH- und AST-Aktivität ergab außerdem eine signifikant geringe Enzymaktivität in der ASG. Auch wenn in der Literatur aktuell keine Untersuchung dieser Parameter vorliegt, so wurde vielfach anhand anderer Parameter der positive Effekt auf die Leber durch eine peripartale Supplementierung von Methionin (Osorio et al. 2014b, Zhou et al. 2016a, Batistel et al. 2017b) als auch Lysin (Fehlberg et al. 2023) bestätigt.

Die Harnstoffkonzentration im Blut und im Urin ist ein guter Parameter, um die Ausscheidung von Stickstoff über die Milch und damit die Belastung des Organismus zu bestimmen (Broderick und Clayton 1997, Nousiainen et al. 2004). In dieser Untersuchung lag die BUN-Konzentration in der ASG signifikant unter der BUN-Konzentration der VG. Untersuchungen bestätigen geringere MUN-Konzentrationen besonders nach der Fütterung proteinreduzierter Rationen (Broderick et al. 2008, Arriola Apelo et al. 2014).

5.5 Zusammenfassende Diskussion

Wie bereits in der Methodenkritik beschrieben, sollten die Resultate dieser Studie mit Bedacht interpretiert werden. Dennoch können die Eckpunkte der gemessenen Effekte mit den Ergebnissen in der Literatur in Kontext gebracht werden. Unabhängig von den durch die Gruppenbildung verursachten Limitierungen bewirkt die geringe Rohproteinreduzierung in der Futtermittelration einen Rückgang der Milchmengen- und Milchproteinleistung. Eine Zulage von AS konnte diesen Effekt nicht ausgleichen. Dies zeigt, dass die geforderten und allgemein gültigen Normwerte zum Rohproteinbedarf von Milchkühen ihre Berechtigung haben und unter anderem für den Erhalt des wirtschaftlichen Erfolgs notwendig sind. Steht allerdings der Aspekt des Klimaschutzes im Vordergrund, so kann die Rohproteinreduzierung einen wesentlichen Beitrag zur Senkung klimaschädlicher N-Verbindungen in tierischen Ausscheidungen leisten. Dies zeigt sich durch die signifikante Reduktion der Harnstoffwerte im Blut und in der Milch sowie den N-Ausscheidung über die Milch trotz nur geringer Reduktion des XP-Angebots.

Die Wirkung der AS-Zulage hingegen kann nicht eindeutig bewertet werden. Die in der Literatur beschriebenen positiven Effekte einer AS-Supplementierung, mit und ohne Veränderung des Rohproteinangebotes, konnten im Rahmen dieser Arbeit nicht kongruent nachvollzogen werden. Gleichzeitig bestätigen die Untersuchungsergebnisse auf der anderen Seite die Befunde aus der Literatur. Die publizierten Ergebnisse zeigen, bezogen auf die unterschiedlichen Untersuchungsziele, eine charakteristisch breite Streuung der nachgewiesenen Effekte. Hier reicht das Spektrum von Wirksamkeit bis hin zu Unwirksamkeit. Am Ende bleibt der Pansen eine nicht kalkulierbare „blackbox“ im Protein- und Aminosäurestoffwechsel. Es ist davon auszugehen, dass bei einer bedarfsgerechten Versorgung der Pansenmikroben mit Energie und Substrat der Bedarf der Kuh an Methionin und Lysin durch die mikrobielle Proteinsynthese gedeckt und folglich ein optimales Met:Lys-Verhältnis generiert wird. Zusätzlich werden auch andere essenzielle und nicht-essenzielle Aminosäuren gebildet, die über eine biologische Wertigkeit verfügen. Eine wertvolle Entscheidungshilfe für die Notwendigkeit einer Rationsergänzung mit den essenziellen Aminosäuren Methionin und Lysin wäre ein einfacher, aussagekräftiger und routinemäßig anwendbarer Laborparameter zur Beurteilung der aktuellen Versorgungslage. Solange diese Möglichkeit jedoch nicht zur Verfügung steht, kann in großen Tierbeständen der Effekt einer AS-Ergänzung nur durch eine sogenannte Challenge-Testfütterung beurteilt werden, ein zielführendes Verfahren, was allerdings selten genutzt wird.

6 Schlussfolgerungen

- Die ASG hat im ersten Laktationsdrittel eine geringere Gesamtmilchmengenleistung als die VG erreicht ($p = 0,046$). Außerdem wurden in der ASG tendenziell geringere Milcheiweißmengen ($p = 0,061$) und tendenziell höhere MilCHFettgehalte ($p = 0,069$) beobachtet. Darüber hinaus ließ sich eine signifikante Verringerung der MilChharnstoffkonzentration ($p < 0,001$) und der ausgeschiedenen Stickstoffmenge ($p < 0,001$) feststellen. Die übrigen Milchleistungsparameter unterschieden sich nicht zwischen den beiden Gruppen. Ursächlich für die geringere Milchmengenleistung ist die Reduktion des Rohproteingehalts. Die Reduzierung trägt zu einer Verringerung der Stickstoffausscheidung bei, hat aber gleichzeitig einen Substratmangel bei den Pansenmikroben zur Folge, der nicht durch die AS-Supplementierung ausgeglichen werden konnte.
- In der ASG konnte weder eine Verbesserung der Zyklusaktivität p.p. ($p > 0,10$) noch eine Verbesserung der Konzeptions- und der Trächtigkeitsrate ($p = 0,803$ und $p = 0,330$) beobachtet werden. Der Abkalbeverlauf ($p = 0,617$) und das Geburtsgewicht der Kälber ($p = 0,722$) zeigten keine Veränderung durch den abweichenden Rohproteingehalt und die AS-Versorgung.
- In beiden Untersuchungsgruppen wurde ein laktationstagabhängiger Verlust der Körperkondition festgestellt. Dieser Verlust unterschied sich jedoch nicht zwischen der ASG und der VG ($p > 0,10$).
- Trotz geringerer Rohproteingehalte in der Futtermischung war die TM-Aufnahme in der ASG sowohl a.p. ($p = 0,627$) als auch p.p. ($p = 0,427$) vergleichbar mit den TMAufnahmen in der VG. Hier könnte die AS-Zugabe für eine Stimulation der Futteraufnahme gesorgt haben.
- Die Rohproteinreduzierung und gleichzeitige AS-Supplementierung führte in der ASG zu einer signifikant geringeren Wahrscheinlichkeit für eine Mastitiserkrankung ($p = 0,019$) und zu einer signifikant geringeren Belastung der Leber und des Stoffwechsels durch stickstoffhaltige Verbindungen (BUN: $p = 0,001$ und GLDH: $p = 0,038$). Andere postpartale Erkrankungen sowie die Stoffwechselfparameter im Serum waren von der differenzierten Fütterung unbeeinflusst.

7 Zusammenfassung

Untersuchung der Effekte einer peripartalen Rationsergänzung mit pansengeschütztem Methionin und Lysin in Kombination mit einer Ration mit leicht abgesenktem Rohproteingehalt auf die Milchleistung, Fruchtbarkeit und Tiergesundheit in der Folgelaktation bei Holstein-Friesian Kühen

Eine Anpassung der Rohproteinmenge im Zuge der bedarfsdeckenden Rationsgestaltung ist für den Landwirt ein probates Mittel zur Einhaltung emissionsregulierender Verordnungen und kann gleichzeitig zur Verbesserung der Tiergesundheit, zu Einsparungen von Futtermittelkosten und zur Verbesserung der Betriebswirtschaftlichkeit beitragen. Die gleichzeitige Zulage von essenziellen pansengeschützten Aminosäuren soll das entstandene Nährstoffdefizit ausgleichen. Erfolgt diese nutritive Anpassung bereits im peripartalen Zeitraum kann dies weitgreifende Auswirkungen auf die Gesundheit und das Leistungspotenzial der Folgelaktation haben.

Das Ziel dieser Studie war es, die Auswirkungen einer postpartalen Rohproteinreduzierung bei gleichzeitiger peripartaler Ergänzung der pansengeschützten Aminosäuren Methionin und Lysin auf die Milchleistung, die Fruchtbarkeit und die Tiergesundheit während des ersten Laktationsdrittels der Folgelaktation zu untersuchen. Dazu wurden von Juni 2018 bis Januar 2019 insgesamt 72 pluripare Holstein-Friesian Kühe eines konventionellen Milchviehbetriebes im Nordosten Deutschlands für eine vergleichende Fütterungsstudie ausgewählt. Der Untersuchungszeitraum erstreckte sich vom 24. Tag a.p. bis zum 105. Tag p.p. Die Probanden wurden während dieses Zeitraums in zwei Gruppen (Aminosäure-Gruppe ASG, Vergleichsgruppe VG) unterteilt. Ante partum erhielten beide Untersuchungsgruppen eine Vorbereiteration mit gängigen Rohproteingehalten. Zusätzlich wurde ein Mikromineralfutter gefüttert, welches ausschließlich in der ASG mit den pansengeschützten AS Methionin und Lysin supplementiert wurde (22,5 g *MetaSmart*/Kuh/d und 20 g *LysiGEM*/Kuh/d). Post partum wurde das Rohproteinangebot in der ASG leicht reduziert (150 g statt 161 g XP/kg TM bzw. 153 g statt 157 g nXP/kg TM). Gleichzeitig wurde die Menge an pansengeschützten AS im Mikromineralfutter verdoppelt (45 g *MetaSmart*/Kuh/d und 40 g *LysiGEM*/Kuh/d). Um diese differenzierte Fütterung zu ermöglichen, wurden transpondergestützte Fress-Wiegetröge verwendet, die einen tierindividuellen Zugang zu dem gruppenspezifischen Futter ermöglichten. Während des Untersuchungszeitraums wurde die Milchmengenleistung täglich aufgezeichnet. Die Analyse der Milchhaltsstoffe (Fett, Eiweiß, Laktose, Zellzahl, Harnstoffkonzentration, Stickstoffmenge) erfolgte wöchentlich. Zur Beurteilung der Fruchtbarkeit sind die Fruchtbarkeitskennzahlen und die Anzahl der für eine Trächtigkeit notwendigen

Samenportionen ausgewertet worden. Die Feststellung der Trächtigkeit erfolgte über Blutanalysen (P₄ am 19. Tag und PAG zwischen dem 31. und 33. Tag nach Erstbesamung). Die Abkalbung, das Geburtsgewicht der Kälber und die Qualität des Kolostrums wurden ebenfalls dokumentiert. Die Untersuchung der postpartalen Tiergesundheit umfasste die Dokumentation an typischen Erkrankungen (Mastitis, Stoffwechselstörungen, Lahmheiten, Labmagenverlagerungen). Zu sechs Zeitpunkten (7 Tage a.p., 1-3, 14, 21, 35 und 63 Tage p.p.) wurde eine Blutprobenuntersuchung relevanter Parameter und die ultrasonographische Konditionsbeurteilungen durchgeführt. Ante partum wurde zusätzlich eine Harnprobe gewonnen. Die tierindividuellen täglichen Trockenmasseaufnahmen wurden für den gesamten Untersuchungszeitraum erfasst.

Die ASG zeigte im Vergleich zur VG eine signifikant geringe Milchmengenleistung während des Untersuchungszeitraums ($p = 0,046$). Außerdem konnten tendenziell geringere Milcheiweißmengen ($p = 0,061$) und tendenziell höhere Milchfettgehalte ($p = 0,069$) beobachtet werden. Die Milchwurststoffkonzentrationen und die Milchstickstoffausscheidungen waren in der ASG hingegen signifikant geringer als in der VG ($p < 0,001$). Zusätzlich war die Wahrscheinlichkeit einer Mastitis in der ASG 5-mal geringer ($p = 0,019$). Die Ergebnisse der Blutanalyse zeigten eine signifikante Verringerung der GLDH- und AST-Aktivität in der ASG ($p < 0,001$ und $p = 0,003$) und damit eine Entlastung des Leberstoffwechsels. Zudem war die BUN-Konzentration in dieser Gruppe signifikant geringer als in der VG ($p = 0,001$). Die anderen untersuchten Parameter wiesen keine statistisch signifikanten Unterschiede zwischen den beiden Untersuchungsgruppen auf.

Abschließend lässt sich festhalten, dass die differenzierte Fütterung im Rahmen dieser Studie einen negativen Effekt auf die Milchleistung hatte. Die Fruchtbarkeit zeigte sich durch die Fütterung nicht beeinflusst, während einige Aspekte der Tiergesundheit sich zum Positiven verändert haben.

8 Summary

Investigation of the effects of peripartum supplementation of rumen-protected methionine and lysine in a ration with a slightly reduced crude protein content on milk yield, fertility and animal health during subsequent lactation among Holstein-Friesian cows

Adjusting the amount of crude protein in feed rations to cover requirements is an effective way for farmers to comply with emission control regulations and can also help to improve animal health, reduce feed costs and improve the economic efficiency. The simultaneous addition of essential rumen-protected amino acids is intended to compensate for the resulting nutrient deficit. If this nutritional adjustment is made in the peripartum period, it can have extensive effects on the health and performance in the subsequent lactation.

The aim of this study was to investigate the effects of a slightly postpartum crude protein reduction with simultaneous peripartum supplementation of the rumen-protected amino acids methionine and lysine on milk yield, fertility and animal health during the first trimester of lactation. From June 2018 to January 2019 a total of 72 multiparous Holstein-Friesian cows from a conventional dairy farm in north-eastern Germany were selected for a comparative feeding study. The study period lasted from 24 days a.p. to 105 DIM. During this period the cows were divided into two groups (amino acid group AAG, comparison group CG). Ante partum both groups received a ration with common crude protein contents. In addition, a micromineral feed was fed, which was supplemented exclusively in the AAG with rumen-protected methionine and lysine (22,5 g *MetaSmart* and 20 g *LysiGEM* per cow per day). Post partum, the crude protein supply in the AAG was slightly reduced (150 g instead of 161 g XP/kg DM and 153 g instead of 157 g nXP/kg DM). At the same time, the amount of rumen-protected AA in the micromineral feed was doubled (45 g *MetaSmart* and 40 g *LysiGEM* per cow per day). To enable this differentiated feeding, transponder-supported feeding weighing troughs were used, which enabled individualised access to the group-specific feed. The milk yield was recorded daily during the study period. Milk ingredients (fat, protein, lactose, somatic cell count, urea concentration, nitrogen excretion) were analyzed weekly. To assess fertility, the fertility indicators and the number of semen portions required for pregnancy were evaluated. Pregnancy was determined using blood analyses (P₄ on day 19 and PAG between day 31 and 33 after first insemination). Calving, birth weight of the calves and quality of the colostrum were also documented. The examination of postpartum animal health included the documentation of typical diseases (mastitis, metabolic disorders, lameness, abomasal displacement). At six points in time (7 days a.p., 1-3, 14, 21, 35 and 63 days p.p.) blood samples were analysed for relevant parameters and ultrasonographic assessments of condition were carried out. A urine

sample was also taken ante partum. The animal-specific daily dry matter intake was recorded for the entire study period.

Compared to the CG the AAG showed a significantly lower milk yield during the study period ($p = 0,046$). In addition, lower daily milk protein levels ($p = 0,061$) and higher milk fat content ($p = 0,069$) tended to be observed. In contrast, milk urea concentrations and milk nitrogen excretion were significantly lower in the AAG than in the CG ($p < 0,001$). Furthermore, the probability of mastitis was 5 times lower in the AAG ($p = 0,019$). The results of blood analysis showed a significant reduction in GLDH and AST activity in the AAG ($p < 0,001$ and $p = 0,003$) and thus a reduction in liver metabolism. In addition, the BUN concentration in this group was significantly lower than in the CG ($p = 0,001$). The other parameters analysed showed no statistically significant differences between the two groups.

In conclusion, it can be stated that the differentiated feeding in this study had a negative effect on milk yield. The fertility was not affected by feeding, while some aspects of animal health changed for the better.

9 Literaturverzeichnis

- 1 Abdelmegeid, M. K., Elolimy, A. A., Zhou, Z., Lopreiato, V., McCann, J. C. und Loor, J. J. (2018):
Rumen-protected methionine during the peripartal period in dairy cows and its effects on abundance of major species of ruminal bacteria.
J Anim Sci Biotechnol. 9: 17
doi: 10.1186/s40104-018-0230-8
- 2 Abreu, M. B., Valdecabres, A., Marcondes, M. I., Correa, A., Lobos, N. E., Peterson, C. B., Atwell, D. und Silva-Del-Rio, N. (2023):
Implications of supplementing mid-lactation multiparous holstein cows fed high by-product low-forage diets with rumen-protected methionine and lysine in a commercial dairy.
Animal. 17 (4): 100749
doi: 10.1016/j.animal.2023.100749
- 3 Acosta, D. A. V., Denicol, A. C., Tribulo, P., Rivelli, M. I., Skenandore, C., Zhou, Z., Luchini, D., Correa, M. N., Hansen, P. J. und Cardoso, F. C. (2016):
Effects of rumen-protected methionine and choline supplementation on the preimplantation embryo in holstein cows.
Theriogenology. 85 (9): 1669-1679
doi: 10.1016/j.theriogenology.2016.01.024
- 4 Acosta, D. A. V., Rivelli, M. I., Skenandore, C., Zhou, Z., Keisler, D. H., Luchini, D., Correa, M. N. und Cardoso, F. C. (2017):
Effects of rumen-protected methionine and choline supplementation on steroidogenic potential of the first postpartum dominant follicle and expression of immune mediators in holstein cows.
Theriogenology. 96: 1-9
doi: 10.1016/j.theriogenology.2017.03.022
- 5 Agle, M., Hristov, A. N., Zaman, S., Schneider, C., Ndegwa, P. und Vaddella, V. K. (2010):
The effects of ruminally degraded protein on rumen fermentation and ammonia losses from manure in dairy cows.
J Dairy Sci. 93 (4): 1625-1637
doi: 10.3168/jds.2009-2579
- 6 Alharthi, A. S., Batistel, F., Abdelmegeid, M. K., Lascano, G., Parys, C., Helmbrecht, A., Trevisi, E. und Loor, J. J. (2018):
Maternal supply of methionine during late-pregnancy enhances rate of holstein calf development in utero and postnatal growth to a greater extent than colostrum source.
J Anim Sci Biotechnol. 9: 83
doi: 10.1186/s40104-018-0298-1
- 7 Allison, M. J. (1969):
Biosynthesis of amino acids by ruminal microorganisms.
J Anim Sci. 29 (5): 797-807

-
- 8 Ambrosi, P., Rolland, P. H., Bodard, H., Barlatier, A., Charpiot, P., Guisgand, G., Friggi, A., Ghiringhelli, O., Habib, G., Bouvenot, G., Garcon, D. und Luccioni, R. (1999): Effects of folate supplementation in hyperhomocysteinemic pigs. *J Am Coll Cardiol.* 34 (1): 274-279
doi: 10.1016/s0735-1097(99)00144-8
- 9 Appuhamy, J. A., Bell, A. L., Nayananjalie, W. A., Escobar, J. und Hanigan, M. D. (2011): Essential amino acids regulate both initiation and elongation of mrna translation independent of insulin in mac-t cells and bovine mammary tissue slices. *J Nutr.* 141 (6): 1209-1215
doi: 10.3945/jn.110.136143
- 10 Ardalan, M., Rezayazdi, K. und Dehghan-Banadaky, M. (2010): Effect of rumen-protected choline and methionine on physiological and metabolic disorders and reproductive indices of dairy cows. *J Anim Physiol Anim Nutr (Berl).* 94 (6): e259-265
doi: 10.1111/j.1439-0396.2009.00966.x
- 11 Ardalan, M., Vargas-Rodriguez, C. F., Zanton, G. I., Vazquez-Anon, M., Bradford, B. J. und Titgemeyer, E. C. (2021): Relative availability of metabolizable methionine from 2 ruminally protected sources of methionine fed to lactating dairy cattle. *J Dairy Sci.* 104 (2): 1811-1822
doi: 10.3168/jds.2020-19042
- 12 Armentano, L. E., Bertics, S. J. und Ducharme, G. A. (1997): Response of lactating cows to methionine or methionine plus lysine added to high protein diets based on alfalfa and heated soybeans. *J Dairy Sci.* 80 (6): 1194-1199
doi: 10.3168/jds.S0022-0302(97)76047-8
- 13 Arriola Apelo, S. I., Bell, A. L., Estes, K., Ropelewski, J., de Veth, M. J. und Hanigan, M. D. (2014): Effects of reduced dietary protein and supplemental rumen-protected essential amino acids on the nitrogen efficiency of dairy cows. *J Dairy Sci.* 97 (9): 5688-5699
doi: 10.3168/jds.2013-7833
- 14 Auboiron, S., Durand, D., Robert, J. C., Chapman, M. J. und Bauchart, D. (1995): Effects of dietary fat and l-methionine on the hepatic metabolism of very low density lipoproteins in the preruminant calf, bos spp. *Reprod Nutr Dev.* 35 (2): 167-178
- 15 Awawdeh, M. S. (2016): Rumen-protected methionine and lysine: Effects on milk production and plasma amino acids of dairy cows with reference to metabolizable protein status. *J Dairy Res.* 83 (2): 151-155
doi: 10.1017/S0022029916000108
- 16 Bach, A., Huntington, G. B., Calsamiglia, S. und Stern, M. D. (2000a): Nitrogen metabolism of early lactation cows fed diets with two different levels of protein and different amino acid profiles. *J Dairy Sci.* 83 (11): 2585-2595
doi: 10.3168/jds.S0022-0302(00)75152-6

- 17 Bahrami-Yekdangi, H., Khorvash, M., Ghorbani, G. R., Alikhani, M., Jahanian, R. und Kamalian, E. (2014):
Effects of decreasing metabolizable protein and rumen-undegradable protein on milk production and composition and blood metabolites of holstein dairy cows in early lactation.
J Dairy Sci. 97 (6): 3707-3714
doi: 10.3168/jds.2013-6725
- 18 Baker, L. D., Ferguson, J. D. und Chalupa, W. (1995):
Responses in urea and true protein of milk to different protein feeding schemes for dairy cows.
J Dairy Sci. 78 (11): 2424-2434
doi: 10.3168/jds.S0022-0302(95)76871-0
- 19 Batistel, F., Alharthi, A. S., Wang, L., Parys, C., Pan, Y. X., Cardoso, F. C. und Loor, J. J. (2017a):
Placentome nutrient transporters and mammalian target of rapamycin signaling proteins are altered by the methionine supply during late gestation in dairy cows and are associated with newborn birth weight.
J Nutr. 147 (9): 1640-1647
doi: 10.3945/jn.117.251876
- 20 Batistel, F., Arroyo, J. M., Bellingeri, A., Wang, L., Saremi, B., Parys, C., Trevisi, E., Cardoso, F. C. und Loor, J. J. (2017b):
Ethyl-cellulose rumen-protected methionine enhances performance during the periparturient period and early lactation in holstein dairy cows.
J Dairy Sci. 100 (9): 7455-7467
doi: 10.3168/jds.2017-12689
- 21 Bauchart-Thevret, C., Stoll, B., Chacko, S. und Burrin, D. G. (2009b):
Sulfur amino acid deficiency upregulates intestinal methionine cycle activity and suppresses epithelial growth in neonatal pigs.
Am J Physiol Endocrinol Metab. 296 (6): E1239-1250
doi: 10.1152/ajpendo.91021.2008
- 22 Benefield, B. C., Patton, R. A., Stevenson, M. J. und Overton, T. R. (2009):
Evaluation of rumen-protected methionine sources and period length on performance of lactating dairy cows within latin squares.
J Dairy Sci. 92 (9): 4448-4455
doi: 10.3168/jds.2008-1275
- 23 Bergen, W. G. (1979):
Free amino acids in blood of ruminants--physiological and nutritional regulation.
J Anim Sci. 49 (6): 1577-1589
doi: 10.2527/jas1979.4961577x
- 24 Berthiaume, R., Dubreuil, P., Stevenson, M., McBride, B. W. und Lapierre, H. (2001):
Intestinal disappearance and mesenteric and portal appearance of amino acids in dairy cows fed ruminally protected methionine.
J Dairy Sci. 84 (1): 194-203
doi: 10.3168/jds.S0022-0302(01)74469-4

- 25 Berthiaume, R., Thivierge, M. C., Patton, R. A., Dubreuil, P., Stevenson, M., McBride, B. W. und Lapierre, H. (2006):
Effect of ruminally protected methionine on splanchnic metabolism of amino acids in lactating dairy cows.
J Dairy Sci. 89 (5): 1621-1634
doi: 10.3168/jds.S0022-0302(06)72229-9
- 26 Bionaz, M., Thering, B. J. und Loor, J. J. (2012):
Fine metabolic regulation in ruminants via nutrient-gene interactions: Saturated long-chain fatty acids increase expression of genes involved in lipid metabolism and immune response partly through ppar-alpha activation.
Br J Nutr. 107 (2): 179-191
doi: 10.1017/S0007114511002777
- 27 Blum, J. W., Bruckmaier, R. M. und Jans, F. (1999):
Rumen-protected methionine fed to dairy cows: Bioavailability and effects on plasma amino acid pattern and plasma metabolite and insulin concentrations.
J Dairy Sci. 82 (9): 1991-1998
doi: 10.3168/jds.S0022-0302(99)75435-4
- 28 Bonilla, L., Luchini, D., Devillard, E. und Hansen, P. J. (2010):
Methionine requirements for the preimplantation bovine embryo.
J Reprod Dev. 56 (5): 527-532
doi: 10.1262/jrd.10-037h
- 29 Broderick, G. A. (2003):
Effects of varying dietary protein and energy levels on the production of lactating dairy cows.
J Dairy Sci. 86 (4): 1370-1381
doi: 10.3168/jds.S0022-0302(03)73721-7
- 30 Broderick, G. A. und Clayton, M. K. (1997):
A statistical evaluation of animal and nutritional factors influencing concentrations of milk urea nitrogen.
J Dairy Sci. 80 (11): 2964-2971
doi: 10.3168/jds.S0022-0302(97)76262-3
- 31 Broderick, G. A. und Muck, R. E. (2009):
Effect of alfalfa silage storage structure and rumen-protected methionine on production in lactating dairy cows.
J Dairy Sci. 92 (3): 1281-1289
doi: 10.3168/jds.2008-1303
- 32 Broderick, G. A., Stevenson, M. J. und Patton, R. A. (2009):
Effect of dietary protein concentration and degradability on response to rumen-protected methionine in lactating dairy cows.
J Dairy Sci. 92 (6): 2719-2728
doi: 10.3168/jds.2008-1277
- 33 Broderick, G. A., Stevenson, M. J., Patton, R. A., Lobos, N. E. und Olmos Colmenero, J. J. (2008):
Effect of supplementing rumen-protected methionine on production and nitrogen excretion in lactating dairy cows.
J Dairy Sci. 91 (3): 1092-1102
doi: 10.3168/jds.2007-0769

- 34 Broquist, H. P. (1982):
Carnitine biosynthesis and function. Introductory remarks.
Fed Proc. 41 (12): 2840-2842
- 35 Brosnan, J. T. und Brosnan, M. E. (2006):
The sulfur-containing amino acids: An overview.
J Nutr. 136 (6 Suppl): 1636S-1640S
doi: 10.1093/jn/136.6.1636S
- 36 Cabrita, A. R., Dewhurst, R. J., Melo, D. S., Moorby, J. M. und Fonseca, A. J. (2011):
Effects of dietary protein concentration and balance of absorbable amino acids on
productive responses of dairy cows fed corn silage-based diets.
J Dairy Sci. 94 (9): 4647-4656
doi: 10.3168/jds.2010-4097
- 37 Carew, L. B., McMurtry, J. P. und Alster, F. A. (2003):
Effects of methionine deficiencies on plasma levels of thyroid hormones, insulin-like
growth factors-i and -ii, liver and body weights, and feed intake in growing chickens.
Poult Sci. 82 (12): 1932-1938
doi: 10.1093/ps/82.12.1932
- 38 Chen, Z. H., Broderick, G. A., Luchini, N. D., Sloan, B. K. und Devillard, E. (2011):
Effect of feeding different sources of rumen-protected methionine on milk production
and n-utilization in lactating dairy cows.
J Dairy Sci. 94 (4): 1978-1988
doi: 10.3168/jds.2010-3578
- 39 Chiang, P. K., Gordon, R. K., Tal, J., Zeng, G. C., Doctor, B. P., Pardhasaradhi, K. und
McCann, P. P. (1996):
S-adenosylmethionine and methylation.
FASEB J. 10 (4): 471-480
- 40 Cho, J., Overton, T. R., Schwab, C. G. und Tauer, L. W. (2007):
Determining the amount of rumen-protected methionine supplement that corresponds
to the optimal levels of methionine in metabolizable protein for maximizing milk protein
production and profit on dairy farms.
J Dairy Sci. 90 (10): 4908-4916
doi: 10.3168/jds.2007-0314
- 41 Clements, A. R., Ireland, F. A., Freitas, T., Tucker, H. und Shike, D. W. (2017):
Effects of supplementing methionine hydroxy analog on beef cow performance, milk
production, reproduction, and preweaning calf performance.
J Anim Sci. 95 (12): 5597-5605
doi: 10.2527/jas2017.1828
- 42 Colin-Schoellen, O., Laurent, F., Vignon, B., Robert, J. C. und Sloan, B. (1995):
Interactions of ruminally protected methionine and lysine with protein source or energy
level in the diets of cows.
J Dairy Sci. 78 (12): 2807-2818
doi: 10.3168/jds.S0022-0302(95)76911-9

- 43 Cyriac, J., Rius, A. G., McGilliard, M. L., Pearson, R. E., Bequette, B. J. und Hanigan, M. D. (2008):
Lactation performance of mid-lactation dairy cows fed ruminally degradable protein at concentrations lower than national research council recommendations.
J Dairy Sci. 91 (12): 4704-4713
doi: 10.3168/jds.2008-1112
- 44 Datta, D., Bhinge, A. und Chandran, V. (2001):
Lysine: Is it worth more?
Cytotechnology. 36 (1-3): 3-32
doi: 10.1023/A:1014097121364
- 45 Doepel, L., Pacheco, D., Kennelly, J. J., Hanigan, M. D., Lopez, I. F. und Lapierre, H. (2004):
Milk protein synthesis as a function of amino acid supply.
J Dairy Sci. 87 (5): 1279-1297
doi: 10.3168/jds.S0022-0302(04)73278-6
- 46 Donkin, S. S., Varga, G. A., Sweeney, T. F. und Muller, L. D. (1989):
Rumen-protected methionine and lysine: Effects on animal performance, milk protein yield, and physiological measures.
J Dairy Sci. 72 (6): 1484-1491
doi: 10.3168/jds.S0022-0302(89)79258-4
- 47 Dos Santos, L. M., da Silva, T. M., Azambuja, J. H., Ramos, P. T., Oliveira, P. S., da Silveira, E. F., Pedra, N. S., Galdino, K., do Couto, C. A., Soares, M. S., Tavares, R. G., Spanevello, R. M., Stefanello, F. M. und Braganhol, E. (2017):
Methionine and methionine sulfoxide treatment induces m1/classical macrophage polarization and modulates oxidative stress and purinergic signaling parameters.
Mol Cell Biochem. 424 (1-2): 69-78
doi: 10.1007/s11010-016-2843-6
- 48 Duan, X., Lin, Y., Lv, H., Yang, Y., Jiao, H. und Hou, X. (2017):
Methionine induces lat1 expression in dairy cow mammary gland by activating the mtorc1 signaling pathway.
DNA Cell Biol. 36 (12): 1126-1133
doi: 10.1089/dna.2017.3792
- 49 Earle, D. P. und Kendall, F. E. (1942):
Liver damage and urinary excretion of sulfate in rats fed l-cystine, dl-methionine, and cysteic acid.
J Exp Med. 75 (2): 191-195
doi: 10.1084/jem.75.2.191
- 50 Edmonson, A. J., Lean, I. J., Weaver, L. D., Farver, T. und Webster, G. (1989):
A body condition scoring chart for holstein dairy cows.
J Dairy Sci. 72 (1): 68-78
- 51 Elsaadawy, S. A., Wu, Z. und Bu, D. (2022a):
Feasibility of supplying ruminally protected lysine and methionine to periparturient dairy cows on the efficiency of subsequent lactation.
Front Vet Sci. 9: 892709
doi: 10.3389/fvets.2022.892709

- 52 Elsaadawy, S. A., Wu, Z., Wang, H., Hanigan, M. D. und Bu, D. (2022b):
Supplementing ruminally protected lysine, methionine, or combination improved milk production in transition dairy cows.
Front Vet Sci. 9: 780637
doi: 10.3389/fvets.2022.780637
- 53 Emmanuel, B. und Kennelly, J. J. (1984):
Kinetics of methionine and choline and their incorporation into plasma lipids and milk components in lactating goats.
J Dairy Sci. 67 (9): 1912-1918
doi: 10.3168/jds.S0022-0302(84)81524-6
- 54 Fagundes, M. A., Yang, S. Y., Eun, J. S., Hall, J. O., Moon, J. O. und Park, J. S. (2018):
Influence of supplementing a methionine derivative, n-acetyl-l-methionine, in dairy diets on production and ruminal fermentation by lactating cows during early to mid lactation.
J Dairy Sci. 101 (8): 7082-7094
doi: 10.3168/jds.2017-14130
- 55 Farooqui, J. Z., Lee, H. W., Kim, S. und Paik, W. K. (1983):
Studies on compartmentation of s-adenosyl-l-methionine in saccharomyces cerevisiae and isolated rat hepatocytes.
Biochim Biophys Acta. 757 (3): 342-351
- 56 Fehlberg, L. K., Guadagnin, A. R., Thomas, B. L., Ballou, M., Loor, J. J., Sugimoto, Y., Shinzato, I. und Cardoso, F. C. (2023):
Feeding rumen-protected lysine altered immune and metabolic biomarkers in dairy cows during the transition period.
J Dairy Sci. 106 (4): 2989-3007
doi: 10.3168/jds.2022-22349
- 57 Fehlberg, L. K., Guadagnin, A. R., Thomas, B. L., Sugimoto, Y., Shinzato, I. und Cardoso, F. C. (2020):
Feeding rumen-protected lysine prepartum increases energy-corrected milk and milk component yields in holstein cows during early lactation.
J Dairy Sci. 103 (12): 11386-11400
doi: 10.3168/jds.2020-18542
- 58 Fellows, F. C. und Lewis, M. H. (1973):
Lysine metabolism in mammals.
Biochem J. 136 (2): 329-334
doi: 10.1042/bj1360329
- 59 Ferla, M. P. und Patrick, W. M. (2014):
Bacterial methionine biosynthesis.
Microbiology. 160 (Pt 8): 1571-1584
doi: 10.1099/mic.0.077826-0
- 60 Finkelstein, J. D. (1990):
Methionine metabolism in mammals.
J Nutr Biochem. 1 (5): 228-237
- 61 Finkelstein, J. D. und Martin, J. J. (1986):
Methionine metabolism in mammals. Adaptation to methionine excess.
J Biol Chem. 261 (4): 1582-1587

- 62 Finkelstein, J. D., Martin, J. J. und Harris, B. J. (1988):
Methionine metabolism in mammals. The methionine-sparing effect of cystine.
J Biol Chem. 263 (24): 11750-11754
- 63 Flodin, N. W. (1997):
The metabolic roles, pharmacology, and toxicology of lysine.
J Am Coll Nutr. 16 (1): 7-21
doi: 10.1080/07315724.1997.10718644
- 64 Frank, B. und Swensson, C. (2002):
Relationship between content of crude protein in rations for dairy cows and milk yield,
concentration of urea in milk and ammonia emissions.
J Dairy Sci. 85 (7): 1829-1838
doi: 10.3168/jds.S0022-0302(02)74257-4
- 65 Gao, H. N., Zhao, S. G., Zheng, N., Zhang, Y. D., Wang, S. S., Zhou, X. Q. und Wang,
J. Q. (2017):
Combination of histidine, lysine, methionine, and leucine promotes beta-casein
synthesis via the mechanistic target of rapamycin signaling pathway in bovine
mammary epithelial cells.
J Dairy Sci. 100 (9): 7696-7709
doi: 10.3168/jds.2015-10729
- 66 Gey, R. (2016):
Untersuchung von Einflussfaktoren auf die Qualität und Menge des Erstkolostrums
unter Verwendung verschiedener Feldmethoden.
Dissertation, Klinik für Klauentiere des Fachbereichs Veterinärmedizin, Freie
Universität Berlin
doi: 10.17169/REFUBIUM-7949
- 67 GfE (2023):
Energie- und Nährstoffbedarf Landwirtschaftlicher Nutztiere Nr. 12,
Empfehlung zur Energie- und Nährstoffversorgung von Milchkühen.
DLG-Verlag, Frankfurt a.M
ISBN: 978-3-7690-0865-4
- 68 Giallongo, F., Harper, M. T., Oh, J., Lopes, J. C., Lapierre, H., Patton, R. A., Parys, C.,
Shinzato, I. und Hristov, A. N. (2016):
Effects of rumen-protected methionine, lysine, and histidine on lactation performance
of dairy cows.
J Dairy Sci. 99 (6): 4437-4452
doi: 10.3168/jds.2015-10822
- 69 Girma, D. D., Ma, L., Wang, F., Jiang, Q. R., Callaway, T. R., Drackley, J. K. und Bu,
D. P. (2019):
Effects of close-up dietary energy level and supplementing rumen-protected lysine on
energy metabolites and milk production in transition cows.
J Dairy Sci. 102 (8): 7059-7072
doi: 10.3168/jds.2018-15962
- 70 Graulet, B., Richard, C. und Robert, J. C. (2005):
Methionine availability in plasma of dairy cows supplemented with methionine hydroxy
analog isopropyl ester.
J Dairy Sci. 88 (10): 3640-3649
doi: 10.3168/jds.S0022-0302(05)73049-6

- 71 Greenfield, R. B., Cecava, M. J., Johnson, T. R. und Donkin, S. S. (2000):
Impact of dietary protein amount and rumen undegradability on intake, peripartum liver triglyceride, plasma metabolites, and milk production in transition dairy cattle.
J Dairy Sci. 83 (4): 703-710
doi: 10.3168/jds.S0022-0302(00)74932-0
- 72 Grottendieck, T. (2022):
Vergleich der ultrasonografischen Messung der Rückenfettdicke mit der kombinierten Messung der Rückenfett- und Muskeldicke als Maß zur Körperkonditionsbeurteilung von Milchkühen.
Dissertation, Klinik für Klauentiere des Fachbereichs Veterinärmedizin, Freie Universität Berlin
ISBN: 987-3-96729-185-8
- 73 Gruber, L. S., F.J.; Erdin, D.; Fischer, B.; Spiekers, H.; Steingaß, H.; Meyer, U.; Chassot, A.; Jilg, T.; Obermaier, A.; Guggenberger, T. (2004):
Vorhersage der Futteraufnahme von Milchkühen - Datenbasis von 10 Forschungs- und Universitätsinstitutionen Deutschlands, Österreichs und der Schweiz.
116. VDLUFA-Kongressband, S. 484-504
ISBN: 3-922715-91-6
- 74 Guadagnin, A. R., Fehlberg, L. K., Thomas, B., Sugimoto, Y., Shinzato, I. und Cardoso, F. C. (2022):
Effect of feeding rumen-protected lysine through the transition period on postpartum uterine health of dairy cows.
J Dairy Sci. 105 (9): 7805-7819
doi: 10.3168/jds.2022-21934
- 75 Guadagnin, A. R., Fehlberg, L. K., Thomas, B., Sugimoto, Y., Shinzato, I. und Cardoso, F. C. (2023):
Feeding rumen-protected lysine prepartum alters placental metabolism at a transcriptional level.
J Dairy Sci. 106 (9): 6567-6576
doi: 10.3168/jds.2022-22390
- 76 Han, L., Batistel, F., Ma, Y., Alharthi, A. S. M., Parys, C. und Loor, J. J. (2018):
Methionine supply alters mammary gland antioxidant gene networks via phosphorylation of nuclear factor erythroid 2-like 2 (nfe2l2) protein in dairy cows during the periparturient period.
J Dairy Sci. 101 (9): 8505-8512
doi: 10.3168/jds.2017-14206
- 77 Haque, M. N., Rulquin, H., Andrade, A., Faverdin, P., Peyraud, J. L. und Lemosquet, S. (2012):
Milk protein synthesis in response to the provision of an "ideal" amino acid profile at 2 levels of metabolizable protein supply in dairy cows.
J Dairy Sci. 95 (10): 5876-5887
doi: 10.3168/jds.2011-5230

- 78 Houtp, T. R. und Houtp, K. A. (1968):
Transfer of urea nitrogen across the rumen wall.
Am J Physiol. 214 (6): 1296-1303
doi: 10.1152/ajplegacy.1968.214.6.1296
- 79 Huber, J. T., Emery, R. S., Bergen, W. G., Liesman, J. S., Kung, L., Jr., King, K. J., Gardner, R. W. und Checketts, M. (1984):
Influences of methionine hydroxy analog on milk and milk fat production, blood serum lipids, and plasma amino acids.
J Dairy Sci. 67 (11): 2525-2531
doi: 10.3168/jds.S0022-0302(84)81609-4
- 80 Hugentobler, S. A., Diskin, M. G., Leese, H. J., Humpherson, P. G., Watson, T., Sreenan, J. M. und Morris, D. G. (2007):
Amino acids in oviduct and uterine fluid and blood plasma during the estrous cycle in the bovine.
Mol Reprod Dev. 74 (4): 445-454
doi: 10.1002/mrd.20607
- 81 Ikeda, S., Sugimoto, M. und Kume, S. (2012):
Importance of methionine metabolism in morula-to-blastocyst transition in bovine preimplantation embryos.
J Reprod Dev. 58 (1): 91-97
doi: 10.1262/jrd.11-096h
- 82 Jacometo, C. B., Alharthi, A. S., Zhou, Z., Luchini, D. und Loor, J. J. (2018):
Maternal supply of methionine during late pregnancy is associated with changes in immune function and abundance of microrna and mrna in holstein calf polymorphonuclear leukocytes.
J Dairy Sci. 101 (9): 8146-8158
doi: 10.3168/jds.2018-14428
- 83 Jacometo, C. B., Zhou, Z., Luchini, D., Correa, M. N. und Loor, J. J. (2017):
Maternal supplementation with rumen-protected methionine increases prepartal plasma methionine concentration and alters hepatic mrna abundance of 1-carbon, methionine, and transsulfuration pathways in neonatal holstein calves.
J Dairy Sci. 100 (4): 3209-3219
doi: 10.3168/jds.2016-11656
- 84 Jacometo, C. B., Zhou, Z., Luchini, D., Trevisi, E., Correa, M. N. und Loor, J. J. (2016):
Maternal rumen-protected methionine supplementation and its effect on blood and liver biomarkers of energy metabolism, inflammation, and oxidative stress in neonatal holstein calves.
J Dairy Sci. 99 (8): 6753-6763
doi: 10.3168/jds.2016-11018
- 85 Junior, V. C., Lopes, F., Schwab, C. G., Toledo, M. Z. und Collao-Saenz, E. A. (2021):
Effects of rumen-protected methionine supplementation on the performance of high production dairy cows in the tropics.
PLoS One. 16 (4): e0243953
doi: 10.1371/journal.pone.0243953

- 86 Kalscheur, K. F., Baldwin, R. L., Glenn, B. P. und Kohn, R. A. (2006):
Milk production of dairy cows fed differing concentrations of rumen-degraded protein.
J Dairy Sci. 89 (1): 249-259
doi: 10.3168/jds.S0022-0302(06)72089-6
- 87 Kamphues, J., Wolf, P., Coenen, M., Eder, K., Iben, C., Kienzle, E., Liesegang, A.,
Männer, K. und Zentek, J. (2014):
Supplemente zur Tierernährung für Studium und Praxis.
12. überarbeitete Auflage, M.&H. Schaper GmbH
ISBN: 978-3-7944-0240-3
- 88 Kennedy, P. M. (1980):
The effects of dietary sucrose and the concentration of plasma urea and rumen
ammonia on the degradation of urea in the gastrointestinal tract of cattle.
Br J Nutr. 43 (1): 125-140
doi: 10.1079/bjn19800072
- 89 Kim, J. E. und Lee, H. G. (2021):
Amino acids supplementation for the milk and milk protein production of dairy cows.
Animals (Basel). 11 (7)
doi: 10.3390/ani11072118
- 90 King, K. J., Bergen, W. G., Sniffen, C. J., Grant, A. L., Grieve, D. B., King, V. L. und
Ames, N. K. (1991):
An assessment of absorbable lysine requirements in lactating cows.
J Dairy Sci. 74 (8): 2530-2539
doi: 10.3168/jds.S0022-0302(91)78430-0
- 91 Kirchgeßner, M. S., G.; Schwarz, F. J.; Roth, F. X.; Südekum, K.-H.; Eder, K. (2014):
Tierernährung.
14. Auflage, DLG-Verlag, Frankfurt a.M.
ISBN: 978-3-7690-0819-7
- 92 Klavins, J. V. und Peacocke, I. L. (1964):
Pathology of amino acid excess. 3. Effects of administration of excessive amounts of
sulphur- containing amino acids: Methionine with equimolar amounts of glycine and
arginine.
Br J Exp Pathol. 45: 533-547
- 93 Koenig, K. M. und Rode, L. M. (2001):
Ruminal degradability, intestinal disappearance, and plasma methionine response of
rumen-protected methionine in dairy cows.
J Dairy Sci. 84 (6): 1480-1487
doi: 10.3168/jds.S0022-0302(01)70181-6
- 94 Kong, F., Li, Y., Diao, Q., Bi, Y. und Tu, Y. (2021):
The crucial role of lysine in the hepatic metabolism of growing holstein dairy heifers as
revealed by lc-ms-based untargeted metabolomics.
Anim Nutr. 7 (4): 1152-1161
doi: 10.1016/j.aninu.2021.10.001
- 95 Krömker, V. (2006):
Kurzes Lehrbuch Milchkunde und Milchhygiene.
Georg Thieme Verlag KG, Stuttgart
ISBN: 978-3-830441557

- 96 Kronfeld, D. S., Raggi, F. und Ramberg, C. F., Jr. (1968):
Mammary blood flow and ketone body metabolism in normal, fasted, and ketotic cows.
Am J Physiol. 215 (1): 218-227
doi: 10.1152/ajplegacy.1968.215.1.218
- 97 Kudrna, V., Illek, J., Marounek, A. und Ngoc, A. N. (2009):
Feeding ruminally protected methionine to pre- and postpartum dairy cows: Effect on
milk performance, milk composition and blood parameters.
Czech Journal of Animal Science. 54 (9): 395-402
doi: 10.17221/1684-Cjas
- 98 Landwirtschaftskammer-Niedersachsen (2024):
Markt und Preise, Rubrik: Ölsaaten.
abgerufen am 15.03.2024, 20:05 Uhr von: lwk-niedersachsen.de/markt-preise
- 99 Laroche, J. P., Gervais, R., Lapierre, H., Ouellet, D. R., Tremblay, G. F., Halde, C.,
Boucher, M. S. und Charbonneau, E. (2022):
Milk production and efficiency of utilization of nitrogen, metabolizable protein, and
amino acids are affected by protein and energy supplies in dairy cows fed alfalfa-based
diets.
J Dairy Sci. 105 (1): 329-346
doi: 10.3168/jds.2021-20923
- 100 Law, R. A., Young, F. J., Patterson, D. C., Kilpatrick, D. J., Wylie, A. R. und Mayne, C.
S. (2009):
Effect of dietary protein content on animal production and blood metabolites of dairy
cows during lactation.
J Dairy Sci. 92 (3): 1001-1012
doi: 10.3168/jds.2008-1155
- 101 Lee, C., Giallongo, F., Hristov, A. N., Lapierre, H., Cassidy, T. W., Heyler, K. S., Varga,
G. A. und Parys, C. (2015):
Effect of dietary protein level and rumen-protected amino acid supplementation on
amino acid utilization for milk protein in lactating dairy cows.
J Dairy Sci. 98 (3): 1885-1902
doi: 10.3168/jds.2014-8496
- 102 Lee, C., Hristov, A. N., Cassidy, T. W., Heyler, K. S., Lapierre, H., Varga, G. A., de
Veth, M. J., Patton, R. A. und Parys, C. (2012a):
Rumen-protected lysine, methionine, and histidine increase milk protein yield in dairy
cows fed a metabolizable protein-deficient diet.
J Dairy Sci. 95 (10): 6042-6056
doi: 10.3168/jds.2012-5581
- 103 Lee, C., Hristov, A. N., Dell, C. J., Feyereisen, G. W., Kaye, J. und Beegle, D. (2012b):
Effect of dietary protein concentration on ammonia and greenhouse gas emitting
potential of dairy manure.
J Dairy Sci. 95 (4): 1930-1941
doi: 10.3168/jds.2010-4141
- 104 Lee, C., Lobos, N. E. und Weiss, W. P. (2019):
Effects of supplementing rumen-protected lysine and methionine during prepartum and
postpartum periods on performance of dairy cows.
J Dairy Sci. 102 (12): 11026-11039
doi: 10.3168/jds.2019-17125

- 105 Leonardi, C., Stevenson, M. und Armentano, L. E. (2003):
Effect of two levels of crude protein and methionine supplementation on performance of dairy cows.
J Dairy Sci. 86 (12): 4033-4042
doi: 10.3168/jds.S0022-0302(03)74014-4
- 106 LfL (2021):
Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft: "Gruber-Tabellen" zur Fütterung der Milchkühe, Zuchtrinder, Schafe, Ziegen.
47. veränderte Auflage, September 2021, abgerufen am 15.03.2024 um 20:23 Uhr von:
lfl.bayern.de/mam/cms07/publikationen/daten/informationen/gruber_tabelle_fuetterun
g_milchkuehe_zuchtrinder_schafe_ziegen_lfl-information.pdf
- 107 Lobley, G. E., Connell, A. und Revell, D. (1996):
The importance of transmethylated reactions to methionine metabolism in sheep: Effects of supplementation with creatine and choline.
Br J Nutr. 75 (1): 47-56
doi: 10.1079/bjn19960109
- 108 Lobley, G. E., Shen, X., Le, G., Bremner, D. M., Milne, E., Calder, A. G., Anderson, S. E. und Dennison, N. (2003):
Oxidation of essential amino acids by the ovine gastrointestinal tract.
Br J Nutr. 89 (5): 617-630
doi: 10.1079/BJN2003831
- 109 Lobos, N. E., Wattiaux, M. A. und Broderick, G. A. (2021):
Effect of rumen-protected lysine supplementation of diets based on corn protein fed to lactating dairy cows.
J Dairy Sci. 104 (6): 6620-6632
doi: 10.3168/jds.2020-19835
- 110 Loosli, J. K., Williams, H. H., Thomas, W. E., Ferris, F. H. und Maynard, L. A. (1949):
Synthesis of amino acids in the rumen.
Science. 110 (2849): 144-145
doi: 10.1126/science.110.2849.144
- 111 Malacco, V. M. R., Beckett, L., Hilger, S., Doane, P., Reis, R. B. und Donkin, S. S. (2022):
Effects of increased doses of lysine in a rumen-protected form on plasma amino acid concentration and lactational performance of dairy cows fed a lysine-deficient diet.
J Dairy Sci. 105 (4): 3064-3077
doi: 10.3168/jds.2021-20823
- 112 Mato, J. M., Corrales, F. J., Lu, S. C. und Avila, M. A. (2002):
S-adenosylmethionine: A control switch that regulates liver function.
FASEB J. 16 (1): 15-26
doi: 10.1096/fj.01-0401rev
- 113 McCarthy, R. D., Porter, G. A. und Griel, L. C. (1968):
Bovine ketosis and depressed fat test in milk: A problem of methionine metabolism and serum lipoprotein aberration.
J Dairy Sci. 51 (3): 459-462
doi: 10.3168/jds.S0022-0302(68)87007-9

- 114 Meetschen, K. (2019):
Futtermittelaufnahme und Gesundheitsstatus von Milchkühen im peripartalen Zeitraum nach ein- oder zweiphasiger Fütterung in der Trockenstehzeit.
Dissertation, Klinik für Rinder der Tierärztliche Hochschule Hannover
- 115 Morris, D. L. und Kononoff, P. J. (2020):
Effects of rumen-protected lysine and histidine on milk production and energy and nitrogen utilization in diets containing hydrolyzed feather meal fed to lactating jersey cows.
J Dairy Sci. 103 (8): 7110-7123
doi: 10.3168/jds.2020-18368
- 116 Moshel, Y., Rhoads, R. E. und Barash, I. (2006):
Role of amino acids in translational mechanisms governing milk protein synthesis in murine and ruminant mammary epithelial cells.
J Cell Biochem. 98 (3): 685-700
doi: 10.1002/jcb.20825
- 117 Nichols, K., Doelman, J., Kim, J. J. M., Carson, M., Metcalf, J. A. und Cant, J. P. (2017):
Exogenous essential amino acids stimulate an adaptive unfolded protein response in the mammary glands of lactating cows.
J Dairy Sci. 100 (7): 5909-5921
doi: 10.3168/jds.2016-12387
- 118 Nikkhah, A., Kianzad, D., Hajhosseini, A. und Zalbeyk, A. (2013):
Protected methionine prolonged provision improves summer production and reproduction of lactating dairy cows.
Pak J Biol Sci. 16 (12): 558-563
doi: 10.3923/pjbs.2013.558.563
- 119 Noftsker, S., St-Pierre, N. R. und Sylvester, J. T. (2005):
Determination of rumen degradability and ruminal effects of three sources of methionine in lactating cows.
J Dairy Sci. 88 (1): 223-237
doi: 10.3168/jds.S0022-0302(05)72680-1
- 120 Noftsker, S. M., St-Pierre, N. R., Karnati, S. K. und Firkins, J. L. (2003b):
Effects of 2-hydroxy-4-(methylthio) butanoic acid (hmb) on microbial growth in continuous culture.
J Dairy Sci. 86 (8): 2629-2636
doi: 10.3168/jds.S0022-0302(03)73858-2
- 121 Nousiainen, J., Shingfield, K. J. und Huhtanen, P. (2004):
Evaluation of milk urea nitrogen as a diagnostic of protein feeding.
J Dairy Sci. 87 (2): 386-398
doi: 10.3168/jds.S0022-0302(04)73178-1
- 122 NRC (2001):
Nutrient requirements of dairy cattle.
The National Academies Press, Washington, D.C
ISBN: 978-0-309-06997-7

- 123 NRC (2021):
Nutrient requirements of dairy cattle.
8. Revised Edition, National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine,
Washington, DC
ISBN: 978-0-309-67777-6
- 124 Ordway, R. S. (2005):
An evaluation of supplemental methionine sources for lactating dairy cows.
Dissertation 271, University of New Hampshire
- 125 Ordway, R. S., Boucher, S. E., Whitehouse, N. L., Schwab, C. G. und Sloan, B. K.
(2009):
Effects of providing two forms of supplemental methionine to periparturient holstein
dairy cows on feed intake and lactational performance.
J Dairy Sci. 92 (10): 5154-5166
doi: 10.3168/jds.2009-2259
- 126 Osorio, J. S., Jacometo, C. B., Zhou, Z., Luchini, D., Cardoso, F. C. und Loor, J. J.
(2016):
Hepatic global DNA and peroxisome proliferator-activated receptor alpha promoter
methylation are altered in periparturient dairy cows fed rumen-protected methionine.
J Dairy Sci. 99 (1): 234-244
doi: 10.3168/jds.2015-10157
- 127 Osorio, J. S., Ji, P., Drackley, J. K., Luchini, D. und Loor, J. J. (2013):
Supplemental smartamine m or metasmart during the transition period benefits
postparturient cow performance and blood neutrophil function.
J Dairy Sci. 96 (10): 6248-6263
doi: 10.3168/jds.2012-5790
- 128 Osorio, J. S., Ji, P., Drackley, J. K., Luchini, D. und Loor, J. J. (2014a):
Smartamine M and Metasmart supplementation during the periparturient period alter
hepatic expression of gene networks in 1-carbon metabolism, inflammation, oxidative
stress, and the growth hormone-insulin-like growth factor 1 axis pathways.
J Dairy Sci. 97 (12): 7451-7464
doi: 10.3168/jds.2014-8680
- 129 Osorio, J. S., Trevisi, E., Ji, P., Drackley, J. K., Luchini, D., Bertoni, G. und Loor, J. J.
(2014b):
Biomarkers of inflammation, metabolism, and oxidative stress in blood, liver, and milk
reveal a better immunometabolic status in periparturient cows supplemented with
Smartamine M or Metasmart.
J Dairy Sci. 97 (12): 7437-7450
doi: 10.3168/jds.2013-7679
- 130 Overton, T. R., LaCount, D. W., Cicela, T. M. und Clark, J. H. (1996):
Evaluation of a ruminally protected methionine product for lactating dairy cows.
J Dairy Sci. 79 (4): 631-638
doi: 10.3168/jds.S0022-0302(96)76408-1

- 131 Penagaricano, F., Souza, A. H., Carvalho, P. D., Driver, A. M., Gambra, R., Kropp, J., Hackbart, K. S., Luchini, D., Shaver, R. D., Wiltbank, M. C. und Khatib, H. (2013):
Effect of maternal methionine supplementation on the transcriptome of bovine preimplantation embryos.
PLoS One. 8 (8): e72302
doi: 10.1371/journal.pone.0072302
- 132 Pereira, A. B. D., Whitehouse, N. L., Aragona, K. M., Schwab, C. S., Reis, S. F. und Brito, A. F. (2017):
Production and nitrogen utilization in lactating dairy cows fed ground field peas with or without ruminally protected lysine and methionine.
J Dairy Sci. 100 (8): 6239-6255
doi: 10.3168/jds.2016-12140
- 133 Piepenbrink, M. S., Marr, A. L., Waldron, M. R., Butler, W. R., Overton, T. R., Vazquez-Anon, M. und Holt, M. D. (2004):
Feeding 2-hydroxy-4-(methylthio)-butanoic acid to periparturient dairy cows improves milk production but not hepatic metabolism.
J Dairy Sci. 87 (4): 1071-1084
doi: 10.3168/jds.S0022-0302(04)73253-1
- 134 Piepenbrink, M. S., Overton, T. R. und Clark, J. H. (1996):
Response of cows fed a low crude protein diet to ruminally protected methionine and lysine.
J Dairy Sci. 79 (9): 1638-1646
doi: 10.3168/jds.S0022-0302(96)76527-X
- 135 Pisulewski, P. M., Rulquin, H., Peyraud, J. L. und Verite, R. (1996):
Lactational and systemic responses of dairy cows to postruminal infusions of increasing amounts of methionine.
J Dairy Sci. 79 (10): 1781-1791
doi: 10.3168/jds.S0022-0302(96)76546-3
- 136 Polan, C. E., Cummins, K. A., Sniffen, C. J., Muscato, T. V., Vicini, J. L., Crooker, B. A., Clark, J. H., Johnson, D. G., Otterby, D. E. und Guillaume, B. (1991):
Responses of dairy cows to supplemental rumen-protected forms of methionine and lysine.
J Dairy Sci. 74 (9): 2997-3013
doi: 10.3168/jds.s0022-0302(91)78486-5
- 137 Riedijk, M. A., Stoll, B., Chacko, S., Schierbeek, H., Sunehag, A. L., van Goudoever, J. B. und Burrin, D. G. (2007):
Methionine transmethylation and transsulfuration in the piglet gastrointestinal tract.
Proc Natl Acad Sci U S A. 104 (9): 3408-3413
doi: 10.1073/pnas.0607965104
- 138 Robinson, P. H., Chalupa, W., Sniffen, C. J., Julien, W. E., Sato, H., Fujieda, T., Ueda, T. und Suzuki, H. (2000):
Influence of abomasal infusion of high levels of lysine or methionine, or both, on ruminal fermentation, eating behavior, and performance of lactating dairy cows.
J Anim Sci. 78 (4): 1067-1077
doi: 10.2527/2000.7841067x

- 139 Robinson, P. H., Fredeen, A. H., Chalupa, W., Julien, W. E., Sato, H., Fujieda, T. und Suzuki, H. (1995):
Ruminally protected lysine and methionine for lactating dairy cows fed a diet designed to meet requirements for microbial and postruminal protein.
J Dairy Sci. 78 (3): 582-594
doi: 10.3168/jds.S0022-0302(95)76669-3
- 140 Robinson, P. H., Swanepoel, N. und Evans, E. (2010b):
Effects of feeding a ruminally protected lysine product, with or without isoleucine, valine and histidine, to lactating dairy cows on their productive performance and plasma amino acid profiles.
Animal Feed Science and Technology. 161 (3-4): 75-84
doi: 10.1016/j.anifeedsci.2010.07.017
- 141 Rohr, K. (1986):
Physiological aspects in the rumen in relation to the level of production in ruminants.
Arch Tierernahr. 36 (2-3): 182-192
doi: 10.1080/17450398609425259
- 142 Rolland, P. H., Friggi, A., Barlatier, A., Piquet, P., Latrille, V., Faye, M. M., Guillou, J., Charpiot, P., Bodard, H., Ghiringhelli, O. und et al. (1995):
Hyperhomocysteinemia-induced vascular damage in the minipig. Captopril-hydrochlorothiazide combination prevents elastic alterations.
Circulation. 91 (4): 1161-1174
doi: 10.1161/01.cir.91.4.1161
- 143 Rooke, J. A., Lee, N. H. und Armstrong, D. G. (1987):
The effects of intraruminal infusions of urea, casein, glucose syrup and a mixture of casein and glucose syrup on nitrogen digestion in the rumen of cattle receiving grass-silage diets.
Br J Nutr. 57 (1): 89-98
doi: 10.1079/bjn19870012
- 144 Russell, W. C., Taylor, M. W. und Hogan, J. M. (1952):
Effect of excess essential amino acids on growth of the white rat.
Arch Biochem Biophys. 39 (2): 249-253
doi: 10.1016/0003-9861(52)90331-7
- 145 Santos, J. E., DePeters, E. J., Jardon, P. W. und Huber, J. T. (2001):
Effect of prepartum dietary protein level on performance of primigravid and multiparous holstein dairy cows.
J Dairy Sci. 84 (1): 213-224
doi: 10.3168/jds.S0022-0302(01)74471-2
- 146 Satter, L. D. (1986):
Protein supply from undegraded dietary protein.
J Dairy Sci. 69 (10): 2734-2749
doi: 10.3168/jds.S0022-0302(86)80722-6
- 147 Schröder, A. B., R.; Rulquin, H. (2008):
Rationsgestaltung mit Aminosäuren: Das nxAA-System, eine Erweiterung des nXP-Systems.
120. VDLUFA-Kongress, S. 305-313
ISBN: 978-3-941273-05-4

- 148 Schwab, C. G., Bozak, C. K., Whitehouse, N. L. und Mesbah, M. M. (1992a):
Amino acid limitation and flow to duodenum at four stages of lactation. 1. Sequence of
lysine and methionine limitation.
J Dairy Sci. 75 (12): 3486-3502
doi: 10.3168/jds.S0022-0302(92)78125-9
- 149 Schwab, C. G. und Broderick, G. A. (2017):
A 100-year review: Protein and amino acid nutrition in dairy cows.
J Dairy Sci. 100 (12): 10094-10112
doi: 10.3168/jds.2017-13320
- 150 Schwab, C. G., Satter, L. D. und Clay, B. (1976):
Response to lactating dairy cows to abomasal infusion of amino acids.
J Dairy Sci. 59 (7): 1254-1270
doi: 10.3168/jds.s0022-0302(76)84354-8
- 151 Shibano, K. und Kawamura, S. (2006):
Serum free amino acid concentration in hepatic lipidosis of dairy cows in the
periparturient period.
J Vet Med Sci. 68 (4): 393-396
doi: 10.1292/jvms.68.393
- 152 Silva, G. M., Chalk, C. D., Ranches, J., Schulmeister, T. M., Henry, D. D., DiLorenzo,
N., Arthington, J. D., Moriel, P. und Lancaster, P. A. (2021):
Effect of rumen-protected methionine supplementation to beef cows during the
periconception period on performance of cows, calves, and subsequent offspring.
Animal. 15 (1): 100055
doi: 10.1016/j.animal.2020.100055
- 153 Sinclair, K. D., Garnsworthy, P. C., Mann, G. E. und Sinclair, L. A. (2014):
Reducing dietary protein in dairy cow diets: Implications for nitrogen utilization, milk
production, welfare and fertility.
Animal. 8 (2): 262-274
doi: 10.1017/S1751731113002139
- 154 Sissons, J. W. (1981):
Digestive enzymes of cattle.
J Sci Food Agric. 32 (2): 105-114
doi: 10.1002/jsfa.2740320202
- 155 Socha, M. T., Putnam, D. E., Garthwaite, B. D., Whitehouse, N. L., Kierstead, N. A.,
Schwab, C. G., Ducharme, G. A. und Robert, J. C. (2005):
Improving intestinal amino acid supply of pre- and postpartum dairy cows with rumen-
protected methionine and lysine.
J Dairy Sci. 88 (3): 1113-1126
doi: 10.3168/jds.S0022-0302(05)72778-8
- 156 Socha, M. T., Schwab, C. G., Putnam, D. E., Whitehouse, N. L., Garthwaite, B. D. und
Ducharme, G. A. (2008):
Extent of methionine limitation in peak-, early-, and mid-lactation dairy cows.
J Dairy Sci. 91 (5): 1996-2010
doi: 10.3168/jds.2007-0739

- 157 Spiekers, H. und Pfeffer, E. (1990):
Studies of the effect of supplementing protected methionine (hmm-ca) to dairy cows on milk yield and fertility.
Arch Tierernahr. 40 (5-6): 449-458
doi: 10.1080/17450399009421077
- 158 St-Pierre, N. R. und Sylvester, J. T. (2005):
Effects of 2-hydroxy-4-(methylthio) butanoic acid (hmb) and its isopropyl ester on milk production and composition by holstein cows.
J Dairy Sci. 88 (7): 2487-2497
doi: 10.3168/jds.S0022-0302(05)72926-X
- 159 Stella, S. L., Velasco-Acosta, D. A., Skenandore, C., Zhou, Z., Steelman, A., Luchini, D. und Cardoso, F. C. (2018):
Improved uterine immune mediators in holstein cows supplemented with rumen-protected methionine and discovery of neutrophil extracellular traps (net).
Theriogenology. 114: 116-125
doi: 10.1016/j.theriogenology.2018.03.033
- 160 Sun, F., Cao, Y., Cai, C., Li, S., Yu, C. und Yao, J. (2016):
Regulation of nutritional metabolism in transition dairy cows: Energy homeostasis and health in response to post-ruminal choline and methionine.
PLoS One. 11 (8): e0160659
doi: 10.1371/journal.pone.0160659
- 161 Swanepoel, N., Robinson, P. H. und Erasmus, L. J. (2010):
Amino acid needs of lactating dairy cows: Impact of feeding lysine in a ruminally protected form on productivity of lactating dairy cows.
Animal Feed Science and Technology. 157 (1-2): 79-94
doi: 10.1016/j.anifeedsci.2010.02.008
- 162 Tamminga, S., Schulze, H., Van Bruchem, J. und Huisman, J. (1995):
The nutritional significance of endogenous n-losses along the gastro-intestinal tract of farm animals.
Arch Tierernahr. 48 (1-2): 9-22
doi: 10.1080/17450399509381824
- 163 Tamura, T., Inoue, K., Nishiki, H., Sakata, M., Seki, M., Koga, T., Ookubo, Y., Akutsu, K., Sato, S., Saitou, K., Shinohara, H., Kuraisi, T., Kajikawa, H. und Kurihara, M. (2018):
Effects of rumen-protected methionine on milk production in early lactation dairy cattle fed with a diet containing 14.5% crude protein.
Anim Sci J.
doi: 10.1111/asj.13123
- 164 Thomas, B. L., Guadagnin, A. R., Fehlberg, L. K., Sugimoto, Y., Shinzato, I., Drackley, J. K. und Cardoso, F. C. (2022):
Feeding rumen-protected lysine to dairy cows prepartum improves performance and health of their calves.
J Dairy Sci. 105 (3): 2256-2274
doi: 10.3168/jds.2021-20545

- 165 Titze, N., Wild, K., Gressner, N., Südekum, K.-H., & Rodehutschord, M. (2023):
Literaturdaten zum ruminalen Abbau des Rohproteins (1.1).
abgerufen am 09.01.2023 um 13:11 Uhr von: doi.org/10.5281/zenodo.8245758
- 166 Toborek, M., Kopieczna-Grzebieniak, E., Drozd, M. und Wieczorek, M. (1995):
Increased lipid peroxidation as a mechanism of methionine-induced atherosclerosis in rabbits.
Atherosclerosis. 115 (2): 217-224
doi: [10.1016/0021-9150\(94\)05516-I](https://doi.org/10.1016/0021-9150(94)05516-I)
- 167 Toerien, C. A., Trout, D. R. und Cant, J. P. (2010):
Nutritional stimulation of milk protein yield of cows is associated with changes in phosphorylation of mammary eukaryotic initiation factor 2 and ribosomal s6 kinase 1.
J Nutr. 140 (2): 285-292
doi: [10.3945/jn.109.114033](https://doi.org/10.3945/jn.109.114033)
- 168 Toledo, M. Z., Baez, G. M., Garcia-Guerra, A., Lobos, N. E., Guenther, J. N., Trevisol, E., Luchini, D., Shaver, R. D. und Wiltbank, M. C. (2017):
Effect of feeding rumen-protected methionine on productive and reproductive performance of dairy cows.
PLoS One. 12 (12): e0189117
doi: [10.1371/journal.pone.0189117](https://doi.org/10.1371/journal.pone.0189117)
- 169 Toledo, M. Z., Stangaferro, M. L., Gennari, R. S., Barletta, R. V., Perez, M. M., Wijma, R., Sitko, E. M., Granados, G., Masello, M., Van Amburgh, M. E., Luchini, D., Giordano, J. O., Shaver, R. D. und Wiltbank, M. C. (2021):
Effects of feeding rumen-protected methionine pre- and postpartum in multiparous holstein cows: Lactation performance and plasma amino acid concentrations.
J Dairy Sci. 104 (7): 7583-7603
doi: [10.3168/jds.2020-19021](https://doi.org/10.3168/jds.2020-19021)
- 170 Trams, E. G. und Brown, E. A. (1966):
Models for lipoprotein synthesis.
J Theor Biol. 12 (3): 311-326
- 171 Troen, A. M., Lutgens, E., Smith, D. E., Rosenberg, I. H. und Selhub, J. (2003):
The atherogenic effect of excess methionine intake.
Proc Natl Acad Sci U S A. 100 (25): 15089-15094
doi: [10.1073/pnas.2436385100](https://doi.org/10.1073/pnas.2436385100)
- 172 Tsiagbe, V. K., Cook, M. E., Harper, A. E. und Sunde, M. L. (1987):
Enhanced immune responses in broiler chicks fed methionine-supplemented diets.
Poult Sci. 66 (7): 1147-1154
doi: [10.3382/ps.0661147](https://doi.org/10.3382/ps.0661147)
- 173 Van den Bossche, T., Goossens, K., Ampe, B., Haesaert, G., De Sutter, J., De Boever, J. L. und Vandaele, L. (2023):
Effect of supplementing rumen-protected methionine, lysine, and histidine to low-protein diets on the performance and nitrogen balance of dairy cows.
J Dairy Sci. 106 (3): 1790-1802
doi: [10.3168/jds.2022-22041](https://doi.org/10.3168/jds.2022-22041)

- 174 Van den Veyver, I. B. (2002):
Genetic effects of methylation diets.
Annu Rev Nutr. 22: 255-282
doi: 10.1146/annurev.nutr.22.010402.102932
- 175 Vanhatalo, A., Huhtanen, P., Toivonen, V. und Varvikko, T. (1999):
Response of dairy cows fed grass silage diets to abomasal infusions of histidine alone
or in combinations with methionine and lysine.
J Dairy Sci. 82 (12): 2674-2685
doi: 10.3168/jds.S0022-0302(99)75524-4
- 176 Virtanen, A. I. (1966):
Milk production of cows on protein-free feed.
Science. 153 (3744): 1603-1614
doi: 10.1126/science.153.3744.1603
- 177 Visek, W. J. (1984):
Ammonia: Its effects on biological systems, metabolic hormones, and reproduction.
J Dairy Sci. 67 (3): 481-498
doi: 10.3168/jds.S0022-0302(84)81331-4
- 178 von Engelhardt, W. B., G. (2010):
Physiologie der Haustiere.
3., vollständig überarbeitete Auflage, Enke-Verlag, Stuttgart
ISBN: 978-3-8304-1078-2
- 179 Wang, C., Liu, H. Y., Wang, Y. M., Yang, Z. Q., Liu, J. X., Wu, Y. M., Yan, T. und Ye,
H. W. (2010):
Effects of dietary supplementation of methionine and lysine on milk production and
nitrogen utilization in dairy cows.
J Dairy Sci. 93 (8): 3661-3670
doi: 10.3168/jds.2009-2750
- 180 Wang, F., Shi, H., Wang, S., Wang, Y., Cao, Z. und Li, S. (2019):
Amino acid metabolism in dairy cows and their regulation in milk synthesis.
Curr Drug Metab. 20 (1): 36-45
doi: 10.2174/1389200219666180611084014
- 181 Wang, H., Elsaadawy, S. A., Wu, Z. und Bu, D. P. (2021):
Maternal supply of ruminally-protected lysine and methionine during close-up period
enhances immunity and growth rate of neonatal calves.
Front Vet Sci. 8: 780731
doi: 10.3389/fvets.2021.780731
- 182 Waterman, R. und Schultz, L. H. (1972):
Methionine hydroxy analog treatment of bovine ketosis: Effects on circulating
metabolites and interrelationships.
J Dairy Sci. 55 (10): 1513-1516
doi: 10.3168/jds.S0022-0302(72)85707-2
- 183 Wretling, K. A. (1950):
The effect on growth and the toxicity of the two isomers of methionine.
Acta Physiol Scand. 20 (1): 1-12
doi: 10.1111/j.1748-1716.1950.tb00676.x

- 184 Wu, Z. und Satter, L. D. (2000):
Milk production during the complete lactation of dairy cows fed diets containing different amounts of protein.
J Dairy Sci. 83 (5): 1042-1051
doi: 10.3168/jds.S0022-0302(00)74968-X
- 185 Xu, S., Harrison, J. H., Chalupa, W., Sniffen, C., Julien, W., Sato, H., Fujieda, T., Watanabe, K., Ueda, T. und Suzuki, H. (1998):
The effect of ruminal bypass lysine and methionine on milk yield and composition of lactating cows.
J Dairy Sci. 81 (4): 1062-1077
doi: 10.3168/jds.S0022-0302(98)75668-1
- 186 Zhou, Z., Bulgari, O., Vailati-Riboni, M., Trevisi, E., Ballou, M. A., Cardoso, F. C., Luchini, D. N. und Loor, J. J. (2016a):
Rumen-protected methionine compared with rumen-protected choline improves immunometabolic status in dairy cows during the peripartal period.
J Dairy Sci. 99 (11): 8956-8969
doi: 10.3168/jds.2016-10986
- 187 Zhou, Z., Vailati-Riboni, M., Trevisi, E., Drackley, J. K., Luchini, D. N. und Loor, J. J. (2016b):
Better postpartal performance in dairy cows supplemented with rumen-protected methionine compared with choline during the peripartal period.
J Dairy Sci. 99 (11): 8716-8732
doi: 10.3168/jds.2015-10525
- 188 Zou, S., Ji, S., Xu, H., Wang, M., Li, B., Shen, Y., Li, Y., Gao, Y., Li, J., Cao, Y. und Li, Q. (2023):
Rumen-protected lysine and methionine supplementation reduced protein requirement of holstein bulls by altering nitrogen metabolism in liver.
Animals (Basel). 13 (5)
doi: 10.3390/ani13050843

10 Anhang

Tabelle 59: Deskriptive Statistik der Blutparameter in der ASG - Teil 1

Parameter	Tage p.p.	n	\bar{x}	SD	Median	Min.	Max.	Perzentil	
								25	75
Alb (g/l)	-7	33	36,7	1,8	36,8	32,7	40,4	35,5	37,9
	1-3	37	37,8	1,7	37,9	34,9	41,0	36,6	39,2
	14	37	38,1	2,2	38,8	33,1	43,3	36,5	39,5
	21	37	38,7	2,3	38,5	34,0	42,7	37,1	40,2
	35	37	39,5	2,4	39,6	33,4	43,1	37,7	41,2
	63	37	40,7	2,2	41,0	35,0	45,3	39,3	41,9
ASAT (U/l)	-7	33	85,0	16,2	85,7	56,0	122,5	72,1	95,9
	1-3	37	118,5	87,1	106,9	68,6	621,1	90,5	119,2
	14	37	132,9	60,0	111,1	71,8	340,1	93,9	146,0
	21	37	116,1	43,0	97,7	64,4	232,1	87,3	144,9
	35	37	110,3	110,3	90,8	53,3	749,7	78,8	103,0
	63	37	91,4	23,7	88,0	56,8	187,7	76,8	99,5
γ -GT (U/l)	-7	33	22,6	4,8	22,1	14,2	34,0	20,0	25,3
	1-3	37	23,3	11,4	20,7	13,3	87,0	18,6	24,8
	14	37	25,1	10,6	23,8	16,1	83,5	20,4	26,3
	21	37	27,3	7,3	26,1	18,8	59,5	23,5	28,9
	35	37	29,6	10,2	27,1	19,3	78,3	23,4	31,9
	63	37	31,0	6,4	29,5	21,5	53,6	27,2	34,9
GLDH (U/l)	-7	33	13,5	8,1	10,6	2,7	38,7	9,2	16,3
	1-3	37	12,2	7,2	10,4	3,2	33,9	7,0	14,7
	14	37	18,6	12,9	17,4	5,0	80,7	11,2	22,2
	21	37	21,7	13,9	16,9	6,9	63,3	11,8	30,2
	35	37	17,3	10,1	14,2	2,5	45,2	11,0	23,5
	63	37	20,7	12,3	17,1	7,0	63,3	12,4	25,5
a.P. (mmol/l)	-7	33	1,7	0,2	1,8	1,2	2,2	1,6	1,9
	1-3	37	1,6	0,5	1,5	0,4	3,3	1,4	1,9
	14	37	1,5	0,3	1,5	0,9	2,2	1,3	1,6
	21	37	1,6	0,3	1,6	0,9	2,4	1,3	1,8
Ca (mmol/l)	-7	33	2,3	0,1	2,3	2,0	2,5	2,2	2,4
	1-3	37	2,2	0,3	2,2	1,5	2,9	2,0	2,3
	14	37	2,4	0,2	2,4	1,7	3,1	2,2	2,5
	21	37	2,4	0,1	2,4	2,1	2,7	2,3	2,5
Cl (mmol/l)	-7	33	104,7	4,0	105,0	100,0	113,5	101,0	107,0
	1-3	37	105,8	4,5	107,0	97,0	115,2	102,0	108,0
	14	37	101,8	3,8	102,0	94,0	111,0	99,0	104,0
	21	37	101,6	4,1	102,0	90,8	110,4	99,5	103,6

n = Anzahl untersuchter Tiere, \bar{x} = arith. Mittel, SD = Standardabweichung, Min. = Minimalwert, Max. = Maximalwert

Tabelle 60: Deskriptive Statistik der Blutparameter in der ASG - Teil 2

Parameter	Tage p.p.	n	\bar{x}	SD	Median	Min.	Max.	Perzentil	
								25	75
K (mmol/l)	-7	33	4,4	0,3	4,4	3,9	4,9	4,3	4,6
	1-3	37	4,6	0,4	4,6	3,6	5,6	4,3	4,8
	14	37	4,5	0,5	4,6	3,3	5,6	4,1	4,8
	21	37	4,6	0,4	4,6	3,5	5,6	4,3	4,9
Mg (mmol/l)	-7	33	0,9	0,1	0,9	0,7	1,1	0,8	0,9
	1-3	37	0,9	0,1	0,9	0,7	1,2	0,8	1,0
	14	37	0,8	0,2	0,9	0,2	1,2	0,8	0,9
	21	37	0,9	0,2	0,9	0,2	1,1	0,8	1,0
Na (mmol/l)	-7	33	137,7	3,7	139,0	130,2	147,0	135,4	139,5
	1-3	37	139,0	3,3	140,0	132,3	145,0	136,2	141,5
	14	37	136,5	3,7	136,6	123,1	143,0	134,8	138,8
	21	37	136,7	4,3	138,2	126,1	143,0	133,1	139,8
Bili (μ mol/l)	-7	33	2,7	1,4	2,6	0,4	8,8	2,0	2,9
	1-3	37	6,3	4,4	5,3	2,3	25,3	3,7	7,2
	14	37	6,0	4,1	4,6	1,8	22,0	3,7	6,5
	21	37	5,1	3,0	3,8	1,8	13,9	3,4	5,8
Chol (mmol/l)	-7	33	1,9	0,4	1,9	1,3	3,1	1,7	2,1
	1-3	37	1,4	0,3	1,4	0,9	1,9	1,2	1,6
	14	37	2,1	0,4	2,2	1,2	3,2	1,9	2,4
	21	37	2,6	0,5	2,7	1,7	3,7	2,3	2,9
TP (g/l)	-7	33	79,0	4,6	79,2	69,1	87,8	75,7	82,3
	1-3	37	75,2	4,5	76,3	64,2	83,0	72,7	78,3
	14	37	78,4	5,3	79,7	64,2	87,1	74,8	81,5
	21	37	79,6	4,8	80,1	70,2	88,1	76,2	84,4
	35	37	80,7	5,7	80,6	68,3	95,7	77,4	83,5
	63	37	82,4	6,4	81,2	73,2	107,8	77,9	85,7
BUN (mmol/l)	-7	33	3,6	0,7	3,5	1,9	4,9	3,2	4,0
	1-3	37	3,1	1,3	2,9	1,2	9,4	2,4	3,5
	14	37	2,8	1,0	2,6	1,6	6,7	2,2	3,0
	21	37	2,6	0,7	2,4	1,5	4,7	2,2	2,9
	35	37	2,6	0,6	2,6	1,7	3,8	2,1	3,0
	63	37	2,7	0,6	2,6	1,8	5,0	2,4	2,7
NEFA (mmol/l)	-7	33	0,2	0,3	0,1	0,02	1,8	0,1	0,2
	1-3	37	0,8	0,6	0,6	0,3	3,2	0,4	1,0
	14	37	0,8	0,5	0,6	0,3	2,4	0,4	1,1
	21	37	0,5	0,4	0,4	0,02	1,4	0,2	0,9

n = Anzahl untersuchter Tiere, \bar{x} = arith. Mittel, SD = Standardabweichung, Min. = Minimalwert, Max. = Maximalwert

Tabelle 61: Deskriptive Statistik der Blutparameter in der ASG - Teil 3

Parameter	Tage p.p.	n	\bar{x}	SD	Median	Min.	Max.	Perzentil	
								25	75
BHB (mmol/l)	-7	33	0,5	0,2	0,5	0,2	0,9	0,5	0,6
	1-3	37	0,6	0,2	0,6	0,4	1,2	0,5	0,7
	14	37	1,0	0,8	0,7	0,3	4,3	0,5	1,1
	21	37	0,9	0,7	0,7	0,3	4,0	0,6	1,1
	35	37	0,7	0,3	0,6	0,3	1,7	0,5	0,8
	63	37	0,6	0,2	0,6	0,2	1,1	0,4	0,8
CK (U/l)	-7	33	168,3	169,1	109,0	67,0	829,3	82,1	133,3
	1-3	37	363,1	364,1	228,1	88,9	1541,2	146,5	427,1
	14	37	359,0	495,4	172,0	55,3	2537,5	127,5	381,5
	21	37	169,5	180,2	118,0	78,0	1155,6	102,4	155,3
Gluk (mmol/l)	-7	33	3,7	0,3	3,8	3,0	4,3	3,6	3,9
	1-3	37	3,8	1,8	3,6	2,6	14,3	3,6	3,8
	14	37	3,0	0,7	3,0	1,8	5,5	3,0	3,4
	21	37	3,0	0,5	3,1	1,7	3,9	3,1	3,4
CP (mg/l)	-7	33	72,9	18,8	68,7	46,2	117,3	59,9	80,8
	1-3	37	73,2	21,9	69,9	39,0	151,5	57,9	83,5
	14	37	87,7	23,3	80,0	51,9	70,8	70,8	103,1
	21	37	79,5	19,7	76,6	44,7	123,8	66,8	91,9

n = Anzahl untersuchter Tiere, \bar{x} = arith. Mittel, SD = Standardabweichung, Min. = Minimalwert, Max. = Maximalwert

Tabelle 62: Deskriptive Statistik der Blutparameter in der VG - Teil 1

Parameter	Tage p.p.	n	\bar{x}	SD	Median	Min.	Max.	Perzentil	
								25	75
Alb (g/l)	-7	34	37,1	1,7	37,2	32,9	41,4	36,5	38,1
	1-3	35	37,1	2,4	37,4	31,2	42,5	35,5	38,2
	14	35	38,0	2,2	38,5	31,8	41,7	36,6	39,5
	21	35	39,4	2,2	39,5	33,8	44,5	37,8	40,8
	35	35	39,9	2,3	40,0	35,5	45,5	39,0	41,3
	63	35	40,5	2,2	40,5	35,7	45,0	39,0	41,9
ASAT (U/l)	-7	34	90,9	23,8	87,1	59,5	156,6	72,7	101,6
	1-3	35	113,3	25,5	108,3	77,2	176,0	92,7	127,6
	14	35	120,1	43,5	112,9	83,4	342,2	99,5	123,3
	21	35	107,4	29,4	101,9	76,2	230,3	87,9	110,2
	35	35	99,7	26,1	91,7	65,0	163,5	82,3	110,6
	63	35	115,2	34,4	104,2	68,3	204,4	89,3	139,4
γ -GT (U/l)	-7	34	23,0	6,8	21,2	13,4	41,7	17,7	26,9
	1-3	35	20,5	5,6	19,6	6,3	34,4	16,4	24,0
	14	35	24,4	9,1	23,3	14,7	68,5	19,3	27,6
	21	35	26,9	15,4	25,2	16,1	110,9	20,7	27,9
	35	35	29,1	13,6	26,2	17,6	99,2	22,6	30,8
	63	35	37,6	23,7	30,4	17,5	149,4	26,6	38,7
GLDH (U/l)	-7	34	13,4	7,4	11,0	4,5	32,6	8,0	18,6
	1-3	35	14,4	8,4	11,3	4,1	44,8	9,0	17,6
	14	35	23,1	16,2	15,6	4,6	68,2	12,2	31,2
	21	35	24,1	14,9	19,8	7,0	64,2	12,2	32,9
	35	35	24,6	19,0	17,5	4,9	72,1	10,7	34,7
	63	35	34,8	18,6	33,9	8,9	70,2	20,2	50,4
a.P. (mmol/l)	-7	34	1,8	0,2	1,9	1,4	2,3	1,7	2,0
	1-3	35	1,6	0,5	1,5	0,8	3,2	1,2	1,9
	14	35	1,5	0,2	1,5	1,1	2,2	1,3	1,6
	21	35	1,6	0,3	1,6	1,2	2,2	1,4	1,8
Ca (mmol/l)	-7	34	2,3	0,1	2,3	2,2	2,6	2,3	2,4
	1-3	35	2,1	0,3	2,2	1,6	2,5	1,9	2,3
	14	35	2,4	0,2	2,4	2,0	3,1	2,3	2,6
	21	35	2,4	0,2	2,5	1,9	2,9	2,3	2,6
Cl (mmol/l)	-7	34	105,3	4,1	105,5	98,0	114,0	102,0	109,6
	1-3	35	105,5	4,3	105,0	96,3	114,6	103,0	108,4
	14	35	101,1	4,1	101,0	90,4	112,0	98,6	103,0
	21	35	101,4	3,8	101,2	95,0	111,6	98,0	103,5

n = Anzahl untersuchter Tiere, \bar{x} = arith. Mittel, SD = Standardabweichung, Min. = Minimalwert, Max. = Maximalwert

Tabelle 63: Deskriptive Statistik der Blutparameter in der VG - Teil 2

Parameter	Tage p.p.	n	\bar{x}	SD	Median	Min.	Max.	Perzentil	
								25	75
K (mmol/l)	-7	34	4,4	0,3	4,4	3,8	4,9	4,2	4,7
	1-3	35	4,4	0,3	4,4	3,7	4,9	4,2	4,6
	14	35	4,4	0,4	4,4	3,7	5,4	4,2	4,7
	21	35	4,5	0,4	4,5	3,8	5,3	4,1	4,9
Mg (mmol/l)	-7	34	0,9	0,1	0,9	0,7	1,1	0,8	0,9
	1-3	35	0,9	0,1	0,9	0,6	1,2	0,8	1,0
	14	35	0,8	0,2	0,9	0,2	1,1	0,7	0,9
	21	35	0,9	0,1	0,9	0,6	1,1	0,9	1,0
Na (mmol/l)	-7	34	137,3	4,2	138,0	128,7	150,0	134,8	139,6
	1-3	35	138,6	3,9	138,6	131,5	150,0	135,0	141,0
	14	35	136,4	5,0	137,0	120,4	144,5	132,2	140,0
	21	35	137,3	4,1	137,9	125,4	143,0	134,0	141,0
Bili (μ mol/l)	-7	34	3,0	1,7	2,8	0,8	10,9	2,2	3,4
	1-3	35	5,4	3,2	4,3	1,1	15,2	3,4	6,5
	14	35	4,6	2,3	4,1	1,1	15,2	3,5	4,8
	21	35	4,4	1,6	4,0	1,7	9,1	3,2	5,2
Chol (mmol/l)	-7	34	1,9	0,4	1,9	1,0	2,8	1,6	2,3
	1-3	35	1,5	0,4	1,5	0,9	2,5	1,3	1,7
	14	35	2,3	0,8	2,2	1,3	5,7	1,8	2,5
	21	35	2,7	0,7	2,7	1,4	4,0	2,0	3,2
TP (g/l)	-7	34	80,2	6,2	79,4	68,8	96,6	75,2	85,2
	1-3	35	76,6	6,4	77,6	63,1	88,4	72,7	80,7
	14	35	78,2	6,7	79,5	67,1	91,7	72,4	82,9
	21	35	81,3	6,0	80,7	67,9	93,1	77,1	85,2
	35	35	82,7	5,5	82,1	68,3	93,4	80,3	84,8
	63	35	83,9	5,6	82,9	75,4	94,4	79,0	89,3
BUN (mmol/l)	-7	34	3,6	0,8	3,7	1,9	5,4	3,1	4,1
	1-3	35	3,2	1,0	2,9	1,5	5,9	2,6	3,8
	14	35	3,1	0,8	3,0	2,0	5,0	2,5	3,7
	21	35	3,3	0,9	3,0	2,2	5,9	2,7	3,9
	35	35	3,4	0,7	3,4	2,1	5,3	2,9	3,9
	63	35	3,5	0,7	3,6	2,2	5,2	2,8	4,0
NEFA (mmol/l)	-7	34	0,3	0,3	0,2	0,02	1,8	0,2	0,3
	1-3	35	0,8	0,6	0,6	0,1	2,7	0,6	0,7
	14	35	0,4	0,3	0,4	0,1	1,5	0,4	0,6
	21	35	0,5	0,4	0,4	0,01	2,0	0,4	0,6

n = Anzahl untersuchter Tiere, \bar{x} = arith. Mittel, SD = Standardabweichung, Min. = Minimalwert, Max. = Maximalwert

Tabelle 64: Deskriptive Statistik der Blutparameter in der VG - Teil 3

Parameter	Tage p.p.	n	\bar{x}	SD	Median	Min.	Max.	Perzentil	
								25	75
BHB (mmol/l)	-7	34	0,5	0,1	0,5	0,3	0,8	0,3	0,6
	1-3	35	0,7	0,3	0,5	0,4	2,0	0,5	0,7
	14	35	0,9	0,7	0,7	0,2	3,1	0,5	0,9
	21	35	0,6	0,2	0,6	0,4	1,2	0,4	0,8
	35	35	0,7	0,2	0,6	0,3	1,1	0,5	0,8
	63	35	0,6	0,3	0,6	0,2	2,3	0,5	0,7
CK (U/l)	-7	34	263,5	542,5	113,4	61,2	2708,0	88,0	156,2
	1-3	35	237,8	168,0	180,0	62,5	892,0	134,0	273,0
	14	35	242,6	460,0	124,0	52,0	2751,0	96,0	180,0
	21	35	181,2	243,0	112,3	56,8	1429,6	87,3	159,1
Gluk (mmol/l)	-7	34	3,9	0,3	4,0	3,1	4,6	3,6	4,0
	1-3	35	3,8	1,1	3,6	1,9	8,1	3,4	3,9
	14	35	2,9	0,6	3,0	1,4	4,0	2,5	3,3
	21	35	3,3	0,4	3,3	2,1	4,2	3,0	3,6
CP (mg/l)	-7	34	80,5	28,2	75,1	29,0	156,0	64,0	99,3
	1-3	35	81,7	20,0	77,0	50,4	126,3	66,1	101,4
	14	35	82,8	15,8	83,4	49,3	120,4	70,2	91,3
	21	35	82,2	16,2	80,5	53,8	112,1	71,1	90,5

n = Anzahl untersuchter Tiere, \bar{x} = arith. Mittel, SD = Standardabweichung, Min. = Minimalwert, Max. = Maximalwert

Tabelle 65: Untersuchungsmethoden der Blutparameter

Parameter	Methode	Bezug
ASAT	optischer UV-Test nach IFCC	LT-AS 9022
γ -GT	kinetischer photometrischer Test nach IFCC	LT-GT 0022
GLDH	optische Standardmethode nach Empfehlung der DGKL	LT-GD 0010
CK	optische Standardmethode nach Empfehlung der DGKL	LT-CK 0001/0011
Alb	Farbkomplexbildung mit Bromcresolgrün	Randox AB 362
TP	Farbkomplexbildung mit Kupferionen in alkalischer	LT-TP 0503
Bili	Jedrassik und Grof	LT-BR 0100/0500
Chol	CHOD-PAP, Endpunkt	LT-CH 0050
Gluk	enzymatisch kinetischer UV-Test mit Hexokinase	LT-GLH 102
BHB	kinetisch enzymatisch	Randox RB 1007
NEFA	kolorimetrisch	Randox FA 115
a. P	Ammonium-Phosphomolybdat-Komplexbildung in schwefelsaurer Lösung	LT-PH 0100
Na, K, Cl	ionensensitive Elektrode	-
Ca, Mg	Atomabsorptionsspektrometrie	-

Tabelle 66: Zusammensetzung der Vorbereiterration der ASG

Futter- mittel	FM kg	TM kg	NEL MJ	XF	NDF	XS	XZ	XP	nXP	Ca g/kg TM	P	Mg	Na	K	Cl	S	DCAB mval
GS	5,0	2,4	15,0	232	428	-	88	158	140	5,0	3,7	1,7	1,8	23,0	6,3	1,9	372
MS	11,0	3,9	27,0	169	315	380	10	67	134	2,6	2,2	0,9	0,2	8,6	1,4	0,9	135
LS	4,0	1,9	9,8	323	468	-	18	166	122	13,3	2,8	1,6	1,7	19,7	5,1	1,6	335
Stroh	1,5	1,3	4,6	449	807	-	-	42	78	3,1	0,5	0,4	0,7	7,9	2,4	1,1	96
MF	1,9	1,7	14,9	-	150	620	47	97	162	0,7	3,2	1,2	0,5	5,0	1,1	1,2	44
RES	1,7	1,5	10,8	-	335	-	90	38	250	9,2	11,9	4,7	0,1	12,1	0,9	8,0	- 211
G/PG	0,35	0,4	3,4	-	-	800	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Mf ASG	0,2	0,1	0,6	-	147	77	31	202	130	12,0	4,0	33,0	69,0	1,0	111,0	17,0	- 1164
Mf TS	0,1	0,1	-	-	-	-	-	-	-	63,0	42,0	84,0	32,0	1,5	50,0	4,5	- 260
FK	0,1	0,1	-	-	-	-	-	-	-	370,0	-	-	-	-	-	-	-
Wasser	5,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

GS = Grassilage, MS = Maissilage, LS = Luzernesilage, MF = Mischfutter, RES = Rapsextraktionsschrot, G/PG = Glycerin/Propylenglykol, Mf = Mineralfutter, TS = Trockensteher, FK = Futterkalk

Tabelle 67: Zusammensetzung der Vorbereiterration der VG

Futter- mittel	FM kg	TM kg	NEL MJ	XF	NDF	XS	XZ	XP	nXP	Ca g/kg TM	P	Mg	Na	K	Cl	S	DCAB mval
GS	5,0	2,4	15,0	232	428	-	88	158	140	5,0	3,7	1,7	1,8	23,0	6,3	1,9	372
MS	11,0	3,9	27,0	169	315	380	10	67	134	2,6	2,2	0,9	0,2	8,6	1,4	0,9	135
LS	4,0	1,9	9,8	323	468	-	18	166	122	13,3	2,8	1,6	1,7	19,7	5,1	1,6	335
Stroh	1,5	1,3	4,6	449	807	-	-	42	78	3,1	0,5	0,4	0,7	7,9	2,4	1,1	96
MF	1,8	1,6	14,1	-	150	620	47	97	162	0,7	3,2	1,2	0,5	5,0	1,1	1,2	44
RES	1,8	1,6	11,4	-	335	-	90	380	250	9,2	11,9	4,7	0,1	12,1	0,9	8,0	- 211
G/PG	0,4	0,4	3,4	-	-	800	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Mf VG	0,1	0,1	0,3	-	196	102	41	106	70	2,0	5,5	4,9	104	0,8	167,0	0,8	- 211
Mf TS	0,1	0,1	-	-	-	-	-	-	-	63,0	42,0	84,0	32,0	1,5	50,0	4,5	- 260
FK	0,1	0,1	-	-	-	-	-	-	-	370,0	-	-	-	-	-	-	-
Wasser	5,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

GS = Grassilage, MS = Maissilage, LS = Luzernesilage, MF = Mischfutter, RES = Rapsextraktionsschrot, G/PG = Glycerin/Propylenglykol, Mf = Mineralfutter, TS = Trockensteher, FK = Futterkalk

Tabelle 68: Zusammensetzung der Laktationsration der ASG

Futter- mittel	FM kg	TM kg	NEL MJ	XF	NDF	XS	XZ	XP	nXP	RNB g/kg TM	Ca	P	Na	K	S	DCAB mval
GS	12,0	5,6	36,1	232	428	-	88	158	140	2,9	5,0	3,7	1,8	23,0	1,9	372
MS	14,0	4,9	34,3	169	315	380	10	67	134	- 10,7	2,6	2,2	0,2	8,6	0,9	135
LS	4,0	1,9	9,8	323	468	-	18	166	122	7,0	13,3	2,8	1,7	19,7	1,6	335
Stroh	0,3	0,3	0,9	449	807	-	-	42	78	- 5,8	3,1	0,5	0,7	7,9	1,1	96
LH	0,7	0,6	3,0	334	435	-	70	157	135	3,5	11,1	2,2	0,3	21,2	1,7	324
FKM	4,0	2,8	24,0	-	60	709	0	95	166	- 11,4	0,1	2,9	0,3	4,0	1,1	24
MF	2,6	2,3	20,4	-	150	620	47	97	162	- 10,4	0,7	3,2	0,5	5,0	1,2	44
TS	2,0	1,8	13,0	-	345	-	130	80	140	- 9,6	9,0	1,0	0,5	6,0	1,4	60
RES	3,7	3,3	23,4	-	335	-	90	380	250	20,8	9,2	11,9	0,1	12,1	8,0	- 211
G/PG	0,4	0,4	3,9	-	-	800	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Mf ASG	0,3	0,3	1,1	-	158	82	33	217	149	10,9	128,0	4,4	74,0	6,0	19,0	-1169
Harn	0,03	0,03	-	-	-	-	-	2875	-	460,0	-	-	-	-	-	-
FK	0,1	0,1	-	-	-	-	-	-	-	-	370,0	-	-	-	-	-
VS	0,04	0,04	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	393,4	-	-	17
NHC	0,1	0,1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	273,7	-	-	11900
Wasser	12,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

GS = Grassilage, MS = Maissilage, LS = Luzernesilage, LH = Luzerneheu, FKM = Feuchtkornmais, MF = Mischfutter, TS = Trockenschnitzel (zuckerarm, melassiert), RES = Rapsextraktionsschrot, G/PG = Glycerin/Propylenglykol, Mf = Mineralfutter, Harn = Harnstoff, FK = Futterkalk, VS = Viehsalz, NHC = Natriumbicarbonat

Tabelle 69: Zusammensetzung der Laktationsration der VG

Futter- mittel	FM kg	TM kg	NEL MJ	XF	NDF	XS	XZ	XP	nXP	RNB g/kg TM	Ca	P	Na	K	S	DCAB mval
GS	12,0	5,6	36,1	232	428	-	88	158	140	2,9	5,0	3,7	1,8	23,0	1,9	372
MS	14,0	4,9	34,3	169	315	380	10	67	134	- 10,7	2,6	2,2	0,2	8,6	0,9	135
LS	4,0	1,9	9,8	323	468	-	18	166	122	7,0	13,3	2,8	1,7	19,7	1,6	335
Stroh	0,3	0,3	0,9	449	807	-	-	42	78	- 5,8	3,1	0,5	0,7	7,9	1,1	96
LH	0,7	0,6	3,0	334	435	-	70	157	135	3,5	11,1	2,2	0,3	21,2	1,7	324
PSS	0,0	-	-	39	430	-	70	80	142	- 9,9	11,8	1,0	0,9	5,1	4,53	- 133
FKM	4,0	2,8	24,0	-	60	709	-	95	166	- 11,4	0,1	2,9	0,3	4,0	1,1	24
MF	2,8	2,5	21,9	-	150	620	47	97	162	- 10,4	0,7	3,2	0,5	5,0	1,2	44
TS	0,8	0,7	5,2	-	345	-	130	80	140	- 9,6	9,0	1,0	0,5	6,0	1,4	60
RES	4,8	4,2	30,4	-	335	-	90	380	250	20,8	9,2	11,9	0,1	12,1	8,0	- 211
G/PG	0,3	0,3	2,9	-	-	800	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Mf VG	0,3	0,3	1,0	-	60	102	41	106	70	5,8	2,0	5,5	104,0	0,8	0,8	- 211
Harn	0,03	0,03	-	-	-	-	-	2875	-	460,0	-	-	-	-	-	-
FK	0,1	0,1	-	-	-	-	-	-	-	-	370,0	-	-	-	-	-
VS	0,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	393,4	-	-	17
NHC	0,1	0,1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	273,7	-	-	11900
Wasser	12,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

GS = Grassilage, MS = Maissilage, LS = Luzernesilage, LH = Luzerneheu, PSS = Pressschnitzelsilage, FKM = Feuchtkornmais, MF = Mischfutter, TS = Trockenschnitzel (zuckerarm, melassiert), RES = Rapsextraktionsschrot, G/PG = Glycerin/Propylenglykol, Mf = Mineralfutter, Harn = Harnstoff, FK = Futterkalk, VS = Viehsalz, NHC = Natriumbicarbonat

11 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Schematische Darstellung des Proteinflusses von der oralen Aufnahme bis zur vollständigen Verstoffwechslung und der Ausscheidung unter Beteiligung aller relevanten Organstrukturen, modifiziert nach (Wang et al. 2019)	4
Abbildung 2: Verteilung der Milchmengenleistung (kg/Kuh/d) in der ASG in den ersten sieben Laktationstagen	42
Abbildung 3: Verteilung der Milchmengenleistung (kg/Kuh/d) in der VG während der ersten sieben Laktationstage.....	42
Abbildung 4: Verteilung der 100-Tage-Gesamtmilchmengenleistung (kg/Kuh)	43
Abbildung 5: Verteilung der Milchmengenleistung (kg/Kuh/d) in der ASG während des Untersuchungszeitraums.....	44
Abbildung 6: Verteilung der Milchmengenleistung (kg/Kuh/d) in der VG während des Untersuchungszeitraums.....	45
Abbildung 7: Verteilung des Milcheiweißgehalts (%) in der ASG während des Untersuchungszeitraums.....	47
Abbildung 8: Verteilung des Milcheiweißgehalts (%) in der VG während des Untersuchungszeitraums.....	47
Abbildung 9: Verteilung des Milchfettgehalts (%) in der ASG während des Untersuchungszeitraums.....	48
Abbildung 10: Verteilung des Milchfettgehalts (%) in der VG während des Untersuchungszeitraums	49
Abbildung 11: Verteilung der Milchharnstoffkonzentration (mg/l) in der ASG während des Untersuchungszeitraums	50
Abbildung 12: Verteilung der Milchharnstoffkonzentration (mg/l) in der VG während des Untersuchungszeitraums	50
Abbildung 13: Verteilung der geschätzten N-Ausscheidung (g/Kuh/d) in der ASG während des Untersuchungszeitraums.....	51
Abbildung 14: Verteilung der geschätzten N-Ausscheidung (g/Kuh/d) in der VG während des Untersuchungszeitraums.....	52
Abbildung 15: Verteilung der gemessenen Kolostrumqualität (% Brix) in der ASG und der VG	53
Abbildung 16: Verteilung der 305-Tage-Gesamtmilchmengenleistung (kg/Kuh) in der ASG und der VG.....	54
Abbildung 17: Verteilung der 305-Tage-Milcheiweißmenge (kg/Kuh) in der ASG und der VG	55

Abbildung 18: Verteilung der 305-Tage-Milchfettmenge (kg/Kuh) in der ASG und der VG ...	55
Abbildung 19: Verteilung der Geburtsgewichte der Kälber (kg) in der ASG und der VG	58
Abbildung 20: Verteilung der RFMD (mm) in der ASG während der sechs Untersuchungszeitpunkte.....	60
Abbildung 21: Verteilung der RFMD (mm) in der VG während der sechs Untersuchungszeitpunkte.....	60
Abbildung 22: Verteilung der Fettdicke (mm) in der ASG während der sechs Untersuchungszeitpunkte.....	62
Abbildung 23: Verteilung der Fettdicke (mm) in der VG während der sechs Untersuchungszeitpunkte.....	62
Abbildung 24: Verteilung der Muskeldicke (mm) in der ASG während der sechs Untersuchungszeitpunkte.....	64
Abbildung 25: Verteilung der Muskeldicke (mm) in der VG während der sechs Untersuchungszeitpunkte.....	64
Abbildung 26: Verteilung der Trockenmasseaufnahme (kg/Kuh/d) in der ASG während der 14-tägigen Vorbereitungsphase	65
Abbildung 27: Verteilung der Trockenmasseaufnahme (kg/Kuh/d) in der VG während der 14-tägigen Vorbereitungsphase	66
Abbildung 28: Verteilung der Trockenmasseaufnahme (kg/Kuh/d) in der ASG während des Untersuchungszeitraums.....	67
Abbildung 29: Verteilung der Trockenmasseaufnahme (kg/Kuh/d) in der VG während des Untersuchungszeitraums	68
Abbildung 30: Relative Häufigkeit von Erkrankungen bezogen auf die Gesamtzahl der erkrankten Tiere in der jeweiligen Untersuchungsgruppe (ASG: n = 12, VG: n = 17).....	69
Abbildung 31: Verlauf der täglichen Milchmengenleistung (kg/Kuh/d) während des Untersuchungszeitraums ($p = 0,178$) mit $^{\circ} = p < 0,10$ und $* = p < 0,05$	72
Abbildung 32: Verlauf der mittleren Milcheiweißgehalte (%) während des Untersuchungszeitraums ($p = 0,456$).....	74
Abbildung 33: Verlauf der mittleren Tageseiweißmenge (g) während des Untersuchungszeitraums ($p = 0,061$) mit $^{\circ} = p < 0,10$ und $* = p < 0,05$	74
Abbildung 34: Verlauf der mittleren Milchfettgehalte (%) während des Untersuchungszeitraums ($p = 0,069$) mit $^{\circ} = p < 0,10$ und $* = p < 0,05$	76
Abbildung 35: Verlauf der mittleren Milchfettmenge (g/d) während des Untersuchungszeitraums ($p = 0,285$) mit $* = p < 0,05$	76
Abbildung 36: Verlauf der mittleren Tageslaktosemenge (g) während des Untersuchungszeitraums ($p = 0,833$) mit $^{\circ} = p < 0,10$	77

Abbildung 37: Verlauf der mittleren Milchwurststoffkonzentration (mg/l) während des Untersuchungszeitraums ($p < 0,001$) mit * = $p < 0,05$	79
Abbildung 38: Verlauf der mittleren Milchstickstoffausscheidung (g/Kuh/d) während des Untersuchungszeitraums ($p < 0,001$) mit * = $p < 0,05$	80
Abbildung 39: Verlauf der mittleren RFMD (mm) während der sechs Untersuchungszeitpunkte ($p = 0,479$)	83
Abbildung 40: Verlauf der mittleren Fettdicke (mm) während der sechs Untersuchungszeitpunkte ($p = 0,612$)	84
Abbildung 41: Verlauf der mittleren Muskeldicke (mm) während der sechs Untersuchungszeitpunkte ($p = 0,406$)	85
Abbildung 42: Verlauf der mittleren TM-Aufnahme (kg/Kuh/d) während der 14-tägigen Vorbereitungsphase ($p = 0,627$) mit ° $p < 0,10$ und * = $p < 0,05$	86
Abbildung 43: Verlauf der mittleren TM-Aufnahme (kg/Kuh/d) während des Untersuchungszeitraums ($p = 0,427$) mit ° $p < 0,10$	87
Abbildung 44: Verlauf der mittleren GLDH-Aktivität (U/l) während der sechs Untersuchungszeitpunkte ($p = 0,038$) mit ° $p < 0,10$ und * = $p < 0,05$	89
Abbildung 45: Verlauf der mittleren BHB-Konzentration (mmol/l) während der sechs Untersuchungszeitpunkte ($p = 0,278$) mit ° $p < 0,10$ und * $p < 0,05$	90
Abbildung 46: Verlauf der mittleren NEFA-Konzentration (mmol/l) während der sechs Untersuchungszeitpunkte ($p = 0,255$) mit * $p < 0,05$	90
Abbildung 47: Verlauf der mittleren BUN-Konzentration (mmol/l) während der sechs Untersuchungszeitpunkte ($p = 0,001$) mit * $p < 0,05$	91

12 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Rohproteingehalte verschiedener Futtermittel, zusammengestellt nach Titze (2023).....	5
Tabelle 2: Bedarfswerte für das nXP, nach GfE (2023) und LfL (2021).....	6
Tabelle 3: Proteinbedarf, unterteilt nach XP, nXP, RDP und UDP, einer adulten Milchkuh* zu verschiedenen Zeitpunkten, modifiziert nach (NRC 2021).....	6
Tabelle 4: Produkteigenschaften des Methioninzusatzes (lt. Herstellerangaben).....	10
Tabelle 5: Produkteigenschaften des Lysinanzusatzes (lt. Herstellerangaben).....	10
Tabelle 6: Anzahl der Untersuchungstiere in den beiden Untersuchungsgruppen	30
Tabelle 7: Rationsmenge während der Vorbereitungsphase und Laktation.....	31
Tabelle 8: Rationsgehalte während der Vorbereitungsphase und während der Laktation.....	31
Tabelle 9: Milchuntersuchungsplan.....	32
Tabelle 10: Interpretation der Kolostrumqualität anhand der Refraktometermessung (nach Gey 2016).....	33
Tabelle 11: Entnahmeplan für Blut- und Harnproben.....	35
Tabelle 12: Untersuchungsmaterial und Parameter der Harn- und Blutprofile.....	35
Tabelle 13: Methodik und Referenzen der Harnuntersuchung.....	36
Tabelle 14: Stetige Variablen mit Messwiederholung	38
Tabelle 15: Stetige Variablen ohne Messwiederholung	39
Tabelle 16: Kategoriale Variablen ohne Messwiederholung	39
Tabelle 17: Mittlere Milchmengenleistung (kg/Kuh/d) in den ersten sieben Laktationstagen.	41
Tabelle 18: 100-Tage-Milchmengenleistung (kg).....	43
Tabelle 19: Mittlere Milchmengenleistung (kg/Kuh/d) während des Untersuchungszeitraums	44
Tabelle 20: Durchschnittliche Milchinhaltsstoffe während des Untersuchungszeitraums	46
Tabelle 21: Deskriptive statistische Maßzahlen der Kolostrumqualität	52
Tabelle 22: Deskriptive statistische Maßzahlen: 305-Tage-Gesamtleistung (kg)	54
Tabelle 23: Deskriptive statistische Maßzahlen der Fruchtbarkeitskennzahlen.....	56
Tabelle 24: Häufigkeitsverteilung des Portionsaufwands.....	56
Tabelle 25: Häufigkeitsverteilung der Trächtigkeitsergebnisse per Blutprobenanalyse	57
Tabelle 26: Häufigkeitsverteilung des Abkalbeverhaltens.....	57
Tabelle 27: Deskriptive statistische Maßzahlen der Geburtsgewichte der Kälber	58
Tabelle 28: Häufigkeitsverteilung der Geburtsgewichte der Kälber	58
Tabelle 29: Deskriptive statistische Maßzahlen der RFMD (mm)	59
Tabelle 30: Deskriptive statistische Maßzahlen der Fettdicke (mm).....	61

Tabelle 31: Deskriptive statistische Maßzahlen der Muskeldicke (mm).....	63
Tabelle 32: Deskriptive statistische Maßzahlen der Trockenmasseaufnahme (kg/Kuh/d) während der Vorbereitungsphase.....	65
Tabelle 33: Deskriptive statistische Maßzahlen der Trockenmasseaufnahme (kg/Kuh/d) während der Laktation	67
Tabelle 34: Deskriptive statistische Maßzahlen der Harnparameter der ASG	70
Tabelle 35: Deskriptive statistische Maßzahlen der Harnparameter der VG	70
Tabelle 36: Vergleich der Milchmengenleistung (kg/Kuh/d) in den ersten sieben Laktations- tagen	71
Tabelle 37: Vergleich der mittleren 100-Tage-Milchmengenleistung (kg/Kuh).....	71
Tabelle 38: Vergleich der mittleren täglichen Milchmengenleistung (kg/Kuh/d) während des Untersuchungszeitraums	72
Tabelle 39: Vergleich der 305-Tage-Milchmengenleistung (kg/Kuh)	73
Tabelle 40: Vergleich der Milcheiweißmenge (g/d) im Untersuchungszeitraum	73
Tabelle 41: Vergleich des Milchfettgehalts (%) im Untersuchungszeitraum	75
Tabelle 42: Vergleich der Milchfettmenge (g/d) im Untersuchungszeitraum	75
Tabelle 43: Vergleich der Milchlaktosemenge (g/d) während des Untersuchungszeitraums ..	77
Tabelle 44: Vergleich der Milchharnstoffkonzentration (mg/l) während des Untersuchungs- zeitraums	78
Tabelle 45: Vergleich der Milchstickstoffausscheidung (g/Kuh/d) während des Untersuchungs-zeitraums	80
Tabelle 46: Vergleich der 305-Tage-Gesamteiweiß- und Fettmengenleistung (kg).....	81
Tabelle 47: Vergleich der Kolostrumqualität (% Brix).....	81
Tabelle 48: Vergleich der Fruchtbarkeitskennzahlen und des Portionsaufwandes	81
Tabelle 49: Zusammenhang zwischen der Untersuchungsgruppe und dem Abkalbverhalten	82
Tabelle 50: Vergleich des Geburtsgewichts der Kälber	82
Tabelle 51: Vergleich der RFMD (mm) zu den Untersuchungszeitpunkten	83
Tabelle 52: Vergleich der Fettdicke (mm) zu den Untersuchungszeitpunkten	84
Tabelle 53: Vergleich der Muskeldicke (mm) zu den Untersuchungszeitpunkten	85
Tabelle 54: Vergleich der TM-Aufnahme (kg/Kuh/d) während der Vorbereitungsphase	86
Tabelle 55: Vergleich der TS-Aufnahme (kg/Kuh/d) während des Untersuchungszeitraums	86
Tabelle 56: Zusammenhang zwischen der Untersuchungsgruppe und dem Auftreten einer Mastitiserkrankung.....	87
Tabelle 57: Vergleich der Blutparameter zu den Untersuchungszeitpunkten	88
Tabelle 58: Vergleich der Harnparameter a.p.	91
Tabelle 59: Deskriptive Statistik der Blutparameter in der ASG - Teil 1	131

Tabelle 60: Deskriptive Statistik der Blutparameter in der ASG - Teil 2.....	132
Tabelle 61: Deskriptive Statistik der Blutparameter in der ASG - Teil 3.....	133
Tabelle 62: Deskriptive Statistik der Blutparameter in der VG - Teil 1	134
Tabelle 63: Deskriptive Statistik der Blutparameter in der VG - Teil 2	135
Tabelle 64: Deskriptive Statistik der Blutparameter in der VG - Teil 3	136
Tabelle 65: Untersuchungsmethoden der Blutparameter.....	137
Tabelle 66: Zusammensetzung der Vorbereiterration der ASG	138
Tabelle 67: Zusammensetzung der Vorbereiterration der VG.....	139
Tabelle 68: Zusammensetzung der Laktationsration der ASG.....	140
Tabelle 69: Zusammensetzung der Laktationsration der VG	141

13 Publikationsverzeichnis

- 1 Engelhard, T., Meyer, A., Pilger, F., Richardt, W., Staufenbiel, R.:
Fütterung einer Ration mit reduziertem Rohproteinangebot bei Zulage pansen-
geschützter Aminosäuren.
19. Forum angewandte Forschung in der Rinder- und Schweinefütterung
Fulda, 02./03.04.2019

- 2 Engelhard, T.:
Rohproteinversorgung und Einsatz von geschützten Aminosäuren in der Milchkuh-
fütterung.
119. Tagung der Futterberater für die Länder Hessen, Rheinland-Pfalz und Saarland
Alsfeld, 25.04.2019

- 3 Versuchsbericht des LLG Sachsen-Anhalt, veröffentlicht auf der Internetseite des LLG
Sachsen-Anhalt, abrufbar unter:
[https://llg.sachsen-anhalt.de/fileadmin/Bibliothek/Politik_und_Verwaltung/MLU/LLFG/
Dokumente/04_themen/milchvieh/versuch_ergebnis_bericht/20_kurzbericht_rohprotei
n-plus-meth-lys.pdf](https://llg.sachsen-anhalt.de/fileadmin/Bibliothek/Politik_und_Verwaltung/MLU/LLFG/Dokumente/04_themen/milchvieh/versuch_ergebnis_bericht/20_kurzbericht_rohproteinn-plus-meth-lys.pdf)

14 Danksagung

Zuallererst möchte ich meinem Doktorvater Prof. Dr. Staufenbiel für die Überlassung und großartige Betreuung des Themas danken und für das große Vertrauen, dass Sie mir während der Höhen und Tiefen dieser zeitaufwendigen Doktorarbeit geschenkt haben. Die Möglichkeit zur Durchführung zweiter paralleler Studien auf dem gleichen Betrieb hat nicht zuletzt dafür gesorgt, dass mein Mann und ich uns nach dem Studium nicht aus den Augen verloren haben. Die Zeit in Sachsen-Anhalt zeichnet somit den Beginn unseres gemeinsamen Lebensweges und daher gilt Ihnen, Herr Prof. Staufenbiel, nochmal ein ganz besonderes Dankeschön.

Außerdem möchte ich mich bei dem gesamten Team des Zentrums für Tierhaltung und Tierzucht der Lehr- und Versuchsanstalt Iden für die tatkräftige Unterstützung bei der Planung und der Möglichkeit zur praktischen Durchführung des Versuches bedanken. Allen voran gebührt ein großer Dank Herrn Thomas Engelhard für die Versuchsplanung, die praktische Umsetzung sowie die Unterstützung als Ansprechpartner und Vermittler. Für die Koordination, Betreuung und Unterstützung der Probengewinnung im Stall und der sich anschließenden Laborarbeiten ein sehr herzliches Dankeschön an Frau Gabriele Andert, die mir mit ihrer jahrelangen praktischen Erfahrung und vielen hilfreichen Tipps und Tricks jederzeit beratend zur Seite stand. Ebenfalls zu großem Dank verpflichtet bin ich Frau Elke Riemann die zur Dokumentation von etlichen Parametern beigetragen hat und auch bei diversen Arbeiten im Stall tatkräftig assistiert hat. Außerdem gilt mein Dank allen hier nicht weiter genannten Mitarbeitern des Stallteams des ZTT Iden für den unermüdlichen Einsatz und die tadellose Versorgung aller Versuchstiere.

Ebenfalls ein sehr herzliches Dankeschön auch an Frau Jacqueline Bäumer aus dem Labor der Klauentierklinik an der Freien Universität Berlin für die zahlreichen Blutprobenanalysen.

Ein großer Dank gilt auch meiner gesamten Familie, die mich stets zum Durchhalten und Weitermachen ermutigt haben. Besonders hervorzuheben ist dabei mein Mann Tobias, der mich während der Zeit auf dem Untersuchungsbetrieb sowohl praktisch als auch theoretisch bei der Rohdatensammlung und Auswertung unterstützt hat und mir während der anschließend langen Zeit bis zur Fertigstellung der Arbeit mit Rat und Tat zur Seite gestanden hat. Der Sommer und Herbst 2018 wird nicht nur wegen der unerträglichen Hitze, sondern auch wegen der gemeinsamen Zeit immer in guter Erinnerung bleiben.

15 Finanzierungsquellen und Interessenskonflikte

Die Rohdatengewinnung wurde finanziell unterstützt durch das Zentrum für Tierhaltung und Tierzucht der Landesanstalt für Landwirtschaft und Gartenbau Iden, Sachsen-Anhalt.

Es bestand und besteht zu keinem Zeitpunkt ein Interessenskonflikt durch die finanzielle Unterstützung der Lehr- und Versuchsanstalt bei der Anfertigung dieser Arbeit.

16 Selbstständigkeitserklärung

Hiermit bestätige ich, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig angefertigt habe. Ich versichere außerdem, dass ich ausschließlich die angegebenen Quellen und Hilfen in Anspruch genommen habe.

Bramsche, 19.09.2024

Jennifer Kim Grottendieck



9 783967 292657

mbvberlin mensch und buch verlag

49,90 Euro | ISBN: 978-3-96729-265-7