

Hochschule Anhalt
Fachbereich Landwirtschaft, Ökotropologie und
Landschaftsentwicklung



Bachelorarbeit

Mineralfutterbedarf von Mutterkühen auf Weiden unterschiedlicher
Intensivierungsgrade in Ostdeutschland

Name, Vorname: Radtke, Oliver
Matrikel: 4062736
Geboren am: 16.10.1991
Studiengang: Landwirtschaft (Bachelor of Science)

1. Gutachter: Prof. Dr. Heiko Scholz (Hochschule Anhalt)
2. Gutachter: Dr. Gerd Heckenberger (LLG Sachsen-Anhalt)

Datum und Ort der Abgabe: Bernburg, den 13.05.2019

Inhaltsverzeichnis

A. Bibliographische Beschreibung	III
B. Abkürzungsverzeichnis	IV
C. Abbildungsverzeichnis	V
D. Tabellenverzeichnis	VI
1 Einleitung	1
2 Literatur	2
2.1 Mutterkuhhaltung	2
2.1.1 Verbreitung	2
2.1.2 Haltung und Fütterung	3
2.1.3 Rassen	4
2.2 Weender-Analyse	5
2.2.1 Trockenmasse	6
2.2.2 Rohasche	6
2.2.3 Rohprotein	6
2.2.4 Rohfaser	7
2.2.5 ADF	7
2.2.6 Metabolische Energie (ME)	8
2.2.7 Nettoenergie Laktation (NEL)	8
2.3 Mineralstoffe	8
2.3.1. Mengenelemente	13
2.3.1.1 Calcium	13
2.3.1.2 Phosphor	14
2.3.1.3 Magnesium	16
2.3.1.4 Kalium	17
2.3.1.5 Natrium	18
2.3.1.6 Chlor	20
2.3.1.7 Schwefel	20
2.3.2 Spurenelemente	21
2.3.2.1 Eisen	21
2.3.2.2 Kupfer	22
2.3.2.3 Zink	23
2.3.2.4 Mangan	24
2.3.2.5 Selen	24
2.4 Applikationsmöglichkeiten	25

3 Zielstellung	27
4 Material und Methode	28
5 Ergebnisse	31
5.1 Gesamtauswertung	31
5.1.1 Gesamtergebnisse Weender-Analyse	31
5.1.2 Gesamtergebnisse Mengenelemente	33
5.1.3 Gesamtergebnisse Spurenelemente	34
5.2 Ergebnisse der einzelnen Jahre	36
5.2.1 Ergebnisse Weender-Analyse	36
5.2.2 Ergebnisse Mengenelemente	36
5.2.3 Ergebnisse Spurenelemente	37
5.3 Mineralstoffversorgung in Abhängigkeit vom Rohfasergehalt	39
5.3.1 Mineralstoffgehalt auf intensiven Weiden	39
5.3.2 Mineralstoffgehalt auf semi-intensiven Weiden	41
5.3.3 Mineralstoffversorgung auf extensiven Weiden	43
6 Diskussion	45
6.1 Weender-Analyse	45
6.2 Mengenelemente	46
6.3 Spurenelemente	49
6.4 Applikationsmöglichkeiten	51
6.5 Mineralstoffversorgung in Abhängigkeit vom Rohfasergehalt	51
7 Schlussfolgerungen	55
8 Zusammenfassung	56
9 Literaturverzeichnis	57

A. Bibliographische Beschreibung

Name, Vorname: Radtke, Oliver

Thema: Mineralfutterbedarf von Mutterkühen auf Weiden unterschiedlicher Intensivierungsgrade in Ostdeutschland

2019/ 61 Seiten/ 24 Tabellen/ 3 Abbildungen/ 1 CD

Bernburg: Hochschule Anhalt
Fachbereich Landwirtschaft,
Ökotropologie und Landschaftsentwicklung

Autoreferat:

In der vorliegenden Arbeit wurden die Mineralfutterbedürfnisse von Mütterkühen auf Weiden in Ostdeutschland betrachtet. Um eine Übersicht der zur Verfügung stehenden Mineralstoffe und deren Mengen zu erhalten, wurden Analysewerte von extensiver Grassilage, betrachtet. Diese wurden von drei im Osten Deutschlands ansässigen landwirtschaftlichen Laboren zur Verfügung gestellt und umfassen die Ergebnisse der Jahre 2014 bis 2017. Die einzelnen Parameter wurden gegliedert in die Kategorien Weender-Analyse, Mengenelemente und Spurenelemente. Die ermittelten Werte wurden daraufhin in ihrer Gesamtheit über alle Jahre, in ihrer Entwicklung in den Einzeljahren, sowie in ihrer Abhängigkeit vom Rohfasergehalt betrachtet.

B. Abkürzungsverzeichnis

- AA Aberdeen Angus
- AD Deutsche Angus
- ADF acid detergent fibre
- bzw. beziehungsweise
- ca. circa
- Ca Calcium
- Cd Cadmium
- Cl Chlor
- Co Cobalt
- Cu Kupfer
- DLG Deutsche Landwirtschafts-Gesellschaft
- DNA Desoxyribonucleinsäure
- Fe Eisen
- g Gramm
- Hg Quecksilber
- I Jod
- K Kalium
- Kg Kilogramm
- LM Lebendmasse
- LUFA Landwirtschaftliche Untersuchungs- und Forschungsanstalt
- Max Maximum
- ME Metabolische Energie
- mg Milligramm
- Mg Magnesium
- Min Minimum
- MJ Megajoule
- Mo Molybdän
- Mn Mangan
- MW Mittelwert
- n Anzahl
- N Stickstoff
- Na Natrium
- NDF neutral detergent fibre
- NEL Netto-Energie-Laktation

- NPN Nichtprotein-Stickstoff-Verbindung
- P Phosphor
- Pb Blei
- s Standartabweichung
- S Schwefel
- Se Selen
- TM Trockenmasse
- xF Rohfaser
- Zn Zink

C. Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Mineralstoffversorgung bei xF < 240 g/kg TM	52
Abbildung 2: Mineralstoffversorgung bei xF 240 - 280 g/kg TM	53
Abbildung 3: Mineralstoffversorgung bei xF > 280 g/kg TM	53

D. Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Anzahl sonstiger Kühe nach Bundesland, Stand Mai 2018 (DESTATIS, 2018)	3
Tabelle 2: Übersicht der in Deutschland eingesetzten Fleischrinderrassen (GOLZE, 1997)	5
Tabelle 3: Eignung verschiedener Medien zur Diagnose von Mangelsituationen nach TERÖRDE (1997)	12
Tabelle 4: Empfehlung zur Versorgung mit Calcium (KIRCHGESSNER, 2004 und GRUBER-TABELLE, 2017)	14
Tabelle 5: Empfehlung zur Versorgung mit Phosphor (KIRCHGESSNER, 2004 und GRUBER-TABELLE, 2017)	15
Tabelle 6: Empfehlung zur Versorgung mit Magnesium (KIRCHGESSNER, 2004 und GRUBER-TABELLE, 2017)	17
Tabelle 7: Empfehlung zur Versorgung mit Kalium (GRUBER-TABELLE, 2017, keine Angaben durch KIRCHGESSNER)	18
Tabelle 8: Empfehlung zur Versorgung mit Natrium (KIRCHGESSNER, 2004 und GRUBER-TABELLE, 2017)	19
Tabelle 9: Empfehlung zur Spurenelementversorgung, mg je kg Futter TM (GRUBER-TABELLE, 2017)	21
Tabelle 10: Übersicht der Ergebnisse aller Jahre der Weender-Analyse	31
Tabelle 11: Übersicht und Vergleich der Empfehlungswerte aller Jahre der Weender-Analyse	32
Tabelle 12: Ergebnisse Mengenelemente aller Jahre	33
Tabelle 13: Vergleich der Ergebnisse mit der Bedarfsempfehlung (Mengenelemente)	34
Tabelle 14: Ergebnisse Spurenelemente aller Jahre	35
Tabelle 15: Vergleich der Ergebnisse mit der Empfehlung (Spurenelemente)	35
Tabelle 16: Übersicht Ergebnisse einzelner Jahre der Weender-Analyse in g/kg TM bzw. MJ	36
Tabelle 17: Übersicht Ergebnisse der Mengenelemente in den einzelnen Jahren in g/kg TM	37
Tabelle 18: Ergebnisse der Spurenelemente der einzelnen Jahre in mg/kg TM	38
Tabelle 19: Mengenelementversorgung bei $x_F \leq 240$ g/kg TM	39
Tabelle 20: Spurenelementversorgung bei $x_F \leq 240$ g/kg TM	40
Tabelle 21: Mengenelementversorgung bei $x_F 241 - 280$ g/kg TM	41
Tabelle 22: Spurenelementversorgung bei $x_F 241 - 280$ g/kg TM	42
Tabelle 23: Mengenelementversorgung bei $x_F \geq 281$ g/kg TM	43
Tabelle 24: Spurenelementversorgung bei $x_F \geq 281$ g/kg TM	44

1 Einleitung

Die Mutterkuhhaltung spielt in der Gesamtbetrachtung der deutschen Landwirtschaft eine eher untergeordnete Rolle. Sie macht mit etwa 660.000 Tieren ca. 14 % des Rinderbestandes aus. (DESTATIS, 2018) Die geringe Bedeutung zeigt sich auch in einer kaum vorhandenen und veralteten Literatur sowie in unzureichenden statistischen Erhebungen. Im Osten Deutschlands ist die Mutterkuhhaltung jedoch zu einem festen Bestandteil der Tierhaltung geworden. So ist hier der durchschnittliche Anteil der Mutterkühe am gesamten Rinderbestand höher als in den meisten westdeutschen Bundesländern. Zudem weist Brandenburg den größten Mutterkuhbestand in Deutschland auf. (STOLZ, 2014)

Das erklärte Ziel der Mutterkuhhaltung ist die Erzeugung von hochwertigem Rindfleisch aus wirtschaftseigenem Großfutter, weshalb die Produktion von Absetzern das Hauptziel ist. Um ein schnelles Wachstum des Kalbes zu gewährleisten wird es 6 bis 10 Monate von der Kuh gesäugt (HAMPEL, 2014) Da die Mutterkuhhaltung eine extensive Form der Rinderhaltung mit vergleichsweise hohem Futterflächenbedarf darstellt, wird sie vorwiegend auf Restgrünland und Grenzertragsstandorten betrieben. (GOLZE, 1997;) Die damit verbundene Weidehaltung, ob ganzjährig oder nur in der Vegetationsperiode, birgt jedoch Risiken hinsichtlich der ausreichenden Versorgung mit allen essenziellen Mineralstoffen. Folgen eines Mangels sind erhebliche Minderleistungen und gesundheitliche Beeinträchtigungen. (KUNZ, 2007) Die Mineralstoffversorgung auf der Weide wird von vielen Faktoren beeinflusst. Dazu zählt unter anderem der Standort, die botanische Zusammensetzung, das Vegetationsstadium oder die Nutzungsfrequenz. (HOCHBERG, 2013) Ein weiterer Aspekt der extensiven Weidewirtschaft ist der hohe Rohfasergehalt im Aufwuchs. Dieser wirkt sich maßgeblich negativ auf die Futteraufnahme der Tiere aus. (SCHOLZ, 2018) Diese Arbeit soll aufzeigen, bei welchen Mineralstoffen allgemein Defizite auftreten, ob und in welchem Maß sich Inhaltsmengen in einzelnen Jahren verändern und welchen Einfluss der Extensivierungsgrad auf die Mineralstoffversorgung hat. Dazu wurden Analyseergebnisse von Grassilagen gesammelt, deren Gewinnung auf extensive Weise erfolgte.

2 Literatur

2.1 Mutterkuhhaltung

Die Hauptmerkmale der Mutterkuhhaltung sind der Verzicht sowohl auf das Melken der Kühe als auch auf das Trennen des Kalbs von der Kuh unmittelbar nach der Geburt. Die Kuh säugt ihr Kalb zwischen 6 und 10 Monate. Darüber hinaus zeichnet sich die Mutterkuhhaltung als extensives Produktionsverfahren durch geringe Ansprüche an den Arbeitsaufwand, die Gebäudeausstattung und der Ertragsfähigkeit von Grünlandflächen aus. Zudem wird sie als besonders naturnah und artgerecht angesehen. Für die Offenhaltung und Bewahrung von Schutzgebieten werden Mutterkühe in der Landschaftspflege und im Naturschutz eingesetzt. Alle diese Eigenschaften sind der Grund, weshalb die Mutterkuhhaltung nicht nur in spezialisierten Rinderzuchtbetrieben anzutreffen ist, sondern sich auch bei vielen Nebenerwerbslandwirten und Hobbytierhaltern großer Beliebtheit erfreut. (HAMPEL, 2014)

2.1.1 Verbreitung

Die Mutterkuhhaltung spielte in Deutschland lange Zeit eine untergeordnete Rolle, da es als extensives Produktionsverfahren der intensiven Tierhaltung unterlegen war. Im Zuge der Extensivierung der Landwirtschaft und dem Ausstellen von Prämien für die Mutterkuhhaltung ab den 1990er Jahren nahm die Bedeutung der Mutterkuhhaltung zu. (KIRCHGESSNER, 2004) So verdoppelte sich die Zahl der Mutterkühe in Deutschland von 1992 bis 2002. In den ostdeutschen Bundesländern haben sich die Bestände zum Teil verdreifacht. Der höchste Bestand betrug im Jahr 2000 ca. 720.000 Tiere. Als Folge der BSE-Krise ab 2001 sanken die Zahlen bis 2005 auf 650.000 Tiere. In Ostdeutschland war dieser Rückgang weniger gravierend, die Bestände in den neuen Bundesländern sanken nur geringfügig oder stagnierten. Die Abschaffung der Mutterkuhprämie und die Einführung einheitlicher Flächenprämien im Jahr 2005, was eine Verteuerung der landwirtschaftlichen Nutzfläche zur Folge hatte, beeinträchtigten die Tierzahlen nicht negativ. Denn auf Grund steigender Erlöse bei den Absetzern wurden die Umsatzeinbußen durch den Wegfall der Prämien mehr als kompensiert. (STOLZ, 2014) Die Bestandgröße schwankte in den folgenden Jahren und betrug 2016 ca. 685.000 Tiere. Seither nimmt die Anzahl der Mutterkühe wieder ab, wobei die Zahlen in Gesamtdeutschland stärker sinken als in den ostdeutschen Bundesländern. Im Mai 2018 gab es 663.241 Tiere in ganz Deutschland. In den Bundesländern Ostdeutschlands waren es zu diesem Zeitpunkt 268.661 Tiere, was einen Anteil von ca. 40 % aller Mutterkühe in Deutschland darstellt. (DESTATIS, 2018) Obwohl die Tierzahl bei den Milchkühen in

Deutschland seit 1990 um fast 2.000.000 Tiere gesunken ist, konnte die Mutterkuhhaltung ihren Anteil von 3 % auf 14 % erhöhen. (STOLZ, 2014; DESTATIS, 2018)

In den östlichen Bundesländern spielt die Mutterkuhhaltung vor allem in Brandenburg und Mecklenburg-Vorpommern eine ausgeprägte Rolle. Mit über 90.000 Tieren nimmt Brandenburg im gesamtdeutschen Kontext mit Abstand die Spitzenposition ein. Die Tierzahlen in Sachsen, Sachsen-Anhalt und Thüringen bewegen sich im Vergleich zu den westdeutschen Bundesländern im unteren Mittelfeld.

Tabelle 1: Anzahl sonstiger Kühe nach Bundesland, Stand Mai 2018 (DESTATIS, 2018)

Brandenburg	Mecklenburg-Vorpommern	Sachsen	Sachsen-Anhalt	Thüringen	Summe
90.689	66.689	42.546	30.764	38.209	268.661

Da alle ostdeutschen Bundesländer keine enormen Bestände an Milchkühen aufweisen, ist der Anteil der Mutterkühe am Gesamtkuhbestand vergleichsweise hoch. Mit 37,4 % ist der Anteil in Brandenburg am Größten. In Mecklenburg-Vorpommern und Thüringen ist jede vierte Kuh eine Mutterkuh. In Sachsen-Anhalt und Sachsen ist es immer noch ca. jede fünfte. Vergleichbar hohe Anteile in Westdeutschland gibt es nur im Saarland, in Hessen und Rheinland-Pfalz. In allen übrigen Bundesländern ist der Anteil der Mutterkühe wesentlich geringer. (DESTATIS, 2018)

Die Größe von Mutterkuhherden weist ein ebenso deutliches Ost-West-Gefälle auf, wie der Anteil der Mutterkühe am Gesamtkuhbestand. 25 % aller Mutterkuhhaltungen befinden sich in Ostdeutschland, diese beherbergen 40 % aller deutschen Mutterkühe. Dies deutet bereits auf größere Herdenumfänge hin. Der Anteil der Haltungen mit Herdengrößen bis 49 Tiere liegt in Ostdeutschland bei ca. 24 %. Bei Herdengrößen > 100 Tieren befinden sich jedoch ca. 80 % der Haltungen in den ostdeutschen Bundesländern. (DESTATIS, 2018)

2.1.2 Haltung und Fütterung

Der Weidegang stellt bei der Mutterkuhhaltung eine wesentliche Voraussetzung dar. Es ist nicht nur die artgerechteste Haltungsform, sondern auch die kostengünstigste. (HAMPEL, 2014) Trotz dessen liegt der Anteil der ganzjährigen Weidehaltung in Deutschland nur bei ca. 20 %. Dem entsprechend werden 80 % der Mutterkühe nur in den Sommermonaten bzw. in der Vegetationsperiode oder sogar ganzjährig im Stall gehalten. Ausnahmen bilden dabei

Brandenburg und Mecklenburg-Vorpommern, hier werden zwischen 40 und 80 % der Tiere ganzjährig auf der Weide gehalten. (STOLZ, 2014) Einer Umfrage von ROFFEIS (2006) zufolge hielten 50 % der befragten Mutterkuhhalter in Brandenburg ihre Tiere ganzjährig auf der Weide und weiter 38 % in Ställen mit Auslauf. Die Weide wird in der Vegetationsperiode jedoch bei dem Großteil der Mutterkühe genutzt, um den Nährstoffbedarf zu decken. Zudem werden Weideflächen bei hohen Futterüberschüssen im Frühsommer für das Werben von Winterfutter in Form von Heu und Silage genutzt. (HAMPEL, 2014) Weiden, die in Ostdeutschland der Mutterkuhhaltung zur Verfügung stehen, werden häufig extensiv bewirtschaftet. Dies trifft insbesondere auf Brandenburg, Mecklenburg-Vorpommern und Thüringen zu. (STOLZ, 2014) Die Zufütterung im Winter erfolgt in Brandenburg fast ausschließlich mit Grassilage, Heu, Maissilage und Stroh, wovon Grassilage und Heu am häufigsten und mit dem größten Anteil an der Ration eingesetzt werden. (ROFFEIS, 2006) Auch Untersuchungen in der Schweiz offenbaren, dass Heu und Grassilage die wichtigste Futtergrundlage in den Wintermonaten darstellen. (BÜRGISSER und KUNZ, 2013)

2.1.3 Rassen

Die Grundlage für die Wahl der Rasse sind vielfältig. Neben den Standortbedingungen und dem angestrebten Produktionsverfahren sind die Futtergrundlage, Stallverhältnisse und der Betriebstyp ausschlaggebend. (HAMPEL, 2014) Die Rassenvielfalt in der Mutterkuhhaltung ist erheblich ausgeprägter als in der Milchproduktion. Während hier vor allem die Rassen Holstein und milchbetontes Fleckvieh dominieren treten nur wenige, regionale Rassen auf. In der Mutterkuhhaltung hingegen sind viele Rassen mit unterschiedlichen Merkmalen in Nutzung. Die Vielfalt ist in Westdeutschland wesentlich größer als im Osten. Da insbesondere Kombinationen der verschiedenen Rassemerkmalen von Vorteil sind, bilden Kreuzung zweier Fleischrindrassen den größten Anteil. Auffällig ist die Verbreitung von solchen Kreuzungstieren in den ostdeutschen Bundesländern. Die Anteile von Kreuzungen am gesamten Mutterkuhbestand liegen zwischen 42 % in Thüringen und 71 % in Mecklenburg-Vorpommern. Die einzige reinerbige Rasse, die in allen Bundesländern Ostdeutschlands in größerem Maß auftritt, ist die Fleischvariante des Fleckviehs. Zusammen bilden Kreuzungen und Fleckvieh 70 bis 80 % des ostdeutschen Mutterkuhbestandes. Weitere in Ostdeutschland in größerem Umfang anzutreffende Rassen sind Charolais, Limousin, deutsche Angus, Galloway und Highland Cattle. Die Bestandsverhältnisse der Rassen in Westdeutschland sind wesentlich ausgeglichener als im Osten, aber auch dominieren die bereits genannten Rassen. (STOLZ, 2014) Darüber hinaus ist die Mutterkuhhaltung vor allem durch Hobbyzüchter und Nebenerwerbslandwirte in der Lage, alte und regional sehr begrenzt verbreitete Rinderrassen

zu erhalten. Hierzu zählen u. a. das Vorder- und Hinterwälder Rind, Rotes Höhenvieh, Glanrind, Limpurger Rind oder Angler Rind der alten Zuchtichtung.

Tabelle 2: Übersicht der in Deutschland eingesetzten Fleischrinderrassen (GOLZE, 1997)

Großwüchsige Rassen	Rasse mit mittlerem Rahmen	Robustrassen		Zeburassen und Kreuzungsrassen
		mittel- bis groß-rahmige	kleinrahmige	
Blonde d'Aquitaine	Angus (AA, DA)	Aubrac	Dexter	Zwergzebu
Charolais	Hereford	Lincoln Red	Fjällrind	Brahman
Fleckvieh	Limousin	Luing	Galloway	Brangus
Gelbvieh	Piemonteser	Salers	Highland	
Uckermärker	Pinzgauer	Ungarisches Steppenrind		
Weiß-blaue Belgier	Shorthorn	Welsh Black		

2.2 Weender-Analyse

Die Analyse von Futtermitteln nach der Weender-Methode ist bereits über 150 Jahre alt und hat sich seitdem nicht wesentlich verändert. Einzig die Bestimmung der Polysaccharid-Bestandteile ist komplexer geworden. Ermittelt werden mit dieser Analyse die Trockenmasse, die anorganische Rohasche, sowie die organischen Bestandteile Rohprotein, Rohfett und Rohfaser. Wird die Summe dieser Bestandteile von der Frischmasse abgezogen, ergibt sich die Menge der stickstofffreien Extraktstoffe. Die Vorsilbe „Roh“ bedeutet, dass die Fraktionen nicht in Reinform vorliegen, sondern als Stoffgemische. (JEROCH et al, 2008)

2.2.1 Trockenmasse

Die Trockenmasse oder Trockenmasse, englisch dry matter wird im ersten Schritt der Weender Futtermittelanalyse ermittelt. Sie gibt Auskunft, wie nass oder trocken ein Futtermittel ist. Die gängigste Variante der Ermittlung ist die Trocknung bei 103°C. Nachteilig wirkt sich die Verflüchtigung von niedermolekularen und kurzkettigen Substanzen aus. (KIRCHGESSNER, 2004) Da diese Substanzen einen Nährwert besitzen, der nicht zu vernachlässigen ist, muss insbesondere bei Silagen, welche höhere Konzentrationen solcher Substanzen aufweisen, eine Korrektur der Trockenmassegehalte erfolgen. Da der Wassergehalt zwischen den einzelnen Futtermitteln erheblich schwanken kann, bildet die Trockenmasse eine vergleichbare Basis, weshalb sie im Folgenden als Bezugsgröße dient. (JEROCH et al., 2008) Der Trockenmassegehalt einer Grassilage sollte 28 – 30 % nicht unterschreiten, um den Austritt von Gärssaft und den damit verbundenen Nährstoffverlust zu verhindern. Gleichzeitig ist ein Trockenmassegehalt über 40% zu vermeiden, um eine sichere Vergärung zu gewährleisten. (JEROCH et al., 2008) Sowohl die LUFA Nord-West (2018) als auch die Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen (2018) empfehlen einen TM-Gehalt zwischen 30 - 40 %.

2.2.2 Rohasche

Wird die getrocknete Futtermittelprobe bei ca. 550°C im Muffelofen verascht, bleiben die anorganischen Bestandteile zurück. (KIRCHGESSNER, 2004) Dieser Rückstand ist die Rohasche und besteht im Wesentlichen aus den enthaltenen Mineralstoffen und Fremdbestandteilen, die vor allem Verunreinigungen darstellen. Ein hoher Rohaschewert kann ein Hinweis auf unsachgemäße Ernte oder Lagerung sein. Verunreinigungen wirken sich negativ auf die Verdaulichkeit und die Resorption von Mineralstoffen aus. (JEROCH et al., 2008) Daher sollen Maximalwerte von 10 % nicht überschritten werden. (WIEDNER, 2009; LUFA Nord-West, 2018; Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen, 2018)

2.2.3 Rohprotein

Rohprotein ist die Summe aller Stickstoffverbindungen, daher wird der Rohproteingehalt aus dem Stickstoffgehalt des Futtermittels errechnet. Proteine haben einen mittleren N-Gehalt von 16 %. Die Rohproteinfraktion setzt sich aus dem eigentlichen Reineiweiß und den Nichtprotein-Stickstoff-Verbindungen (NPN) zusammen. Zu den NPN-Verbindungen zählen beispielsweise freie Aminosäuren, Harnstoff, Amide und Purine, in Silagen auch Ammoniak. Durch einen hohen Anteil an NPN-Verbindungen im Futtermittel kommt es zu einer hohen Differenz

zwischen Rohprotein- und Reineiweißgehalt. (JEROCH et al., 2008) Der Rohproteingehalt in Grünlandaufwuchs ist abhängig von der botanischen Zusammensetzung des Bestandes und hängt vom Blatt-Stängel-Verhältnis ab. Während mit zunehmender Vegetationsdauer der Masseanteil der rohproteinreichen Blattfraktion abnimmt, steigt der Anteil der rohfaserreichen Stängelfraktion. (JEROCH et al., 2008) Der Rohproteinbedarf von Mutterkühen liegt zwischen 12 und 16 g je MJ ME bzw. zwischen 20 und 27 g je MJ NEL. Bei einem Energiebedarf von 10 bis 11 MJ ME je kg TM ergibt sich eine Proteinkonzentration von 120 bis 180 g xP je kg TM. (DLG, 2009)

2.2.4 Rohfaser

Die Rohfaserfraktion einer Futtermittelprobe besteht aus organischen Verbindungen, welche in schwacher Säure und schwacher Base unlöslich sind. Die Fraktion wird zumeist aus pflanzlichen Gerüstsubstanzen gebildet, die hauptsächlich aus Polysacchariden wie Cellulose, Hemicellulose und Lignin bestehen. Im Gegensatz zum Rohproteingehalt steigt der Rohfasergehalt mit zunehmender Vegetationsdauer. (JEROCH et al., 2008) Der Orientierungswert für Rohfaser im ersten Schnitt liegt bei 220 – 250 g/kg TM. (Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen, 2018) Dieser Wert ist bei mehrmaligem Schnitt mit zunehmender Vegetationsdauer auf Grund der zunehmenden Lignifizierung oft nicht einzuhalten, weshalb der Empfehlungswert auf 300 g/kg TM steigt. (LUFÄ Nord-West, 2018)

2.2.5 ADF

Die Kohlenhydratfraktion von Futtermitteln ist deutlich komplexer, als es die Weender-Analyse darstellt. Kohlenhydrate können sowohl in der Fraktion der stickstofffreien Extraktstoffe als auch in der Rohfaserfraktion vorliegen. Darüber hinaus kann keine Aussage über die Verdaulichkeit dieser Kohlenhydratbestandteile gemacht werden. Um diese Mängel zu beheben, wurde die Analyse der Kohlenhydrate erweitert. Mit der Detergenzienmethode lassen sich die Zellwandkomponenten differenzierter darstellen. Der Rückstand nach dem Kochen in einer neutralen Lösung umfasst die Summe aller Gerüstsubstanzen und wird neutrale Detergenzienlösung (NDF) genannt. Nach dem Kochen in einer schwefelsauren Lösung verbleibt als Rückstand Cellulose und Lignin. Diese Fraktion wird als ADF (acid detergent fibre) bezeichnet. (JEROCH et al., 2008) Mit zunehmender Höhe der ADF-Fraktion sinkt die Verdaulichkeit der Rohfaser. Darüber hinaus besteht ein Zusammenhang zwischen

ADF und der Wiederkauaktivität. (KIRCHGESSNER, 2004) Der Orientierungswert einer Grassilage liegt bei 250-300g/kg TM. (LUFA Nord-West)

2.2.6 Metabolische Energie (ME)

Die umsetzbare Energie ergibt sich aus der Bruttoenergie des Futtermittels abzüglich der Energiegehalte in Kot, Harn und Gärgasen. (KIRCHGESSNER, 2004) Dies ist die Höchstmenge an Energie in einem Futtermittel, das vom Tier zur Erhaltung der Lebensfunktionen und zum Erbringen einer Leistung umgesetzt werden kann. Die Bewertung mittels ME findet vor allem in der Rindermast und in der Rinderaufzucht Anwendung. (WEIß, 2011) Der Zielwert nach LUFA Nord-West beträgt für eine Grassilage aus dem ersten Schnitt $\geq 10,4$ MJ/Kg, bei allen folgenden Schnitten $\geq 10,0$ MJ/Kg.

2.2.7 Nettoenergie Laktation (NEL)

Das System der Futtermittelbewertung mittels Nettoenergie Laktation wurde eingeführt, um den Energiegehalt einer Futtermischung zu beziffern, welcher ausschließlich für die Milchproduktion aufgewendet wird. Berechnet wird die NEL mit folgender Formel:

$$\text{NEL (MJ/Kg)} = 0,6[1+0,004(q-57)] * \text{ME (MJ/Kg)}$$

Hierbei stellt 0,6 den Teilwirkungsgrad für die Milchproduktion dar. Die Umsetzbarkeit der Energie ist vom Futter abhängig und wird durch den q-Wert angegeben. Dieser liegt bei schlechtem Heu bei 47, bei gutem Heu bei 57 und bei Getreide bei 75. (KIRCHGESSNER, 2004) Der Zielwert nach LUFA Nord-West (2018) für eine Grassilage aus dem ersten Schnitt liegt bei $\geq 6,2$ MJ/Kg, für alle Folgeschnitte bei $\geq 6,0$ MJ/Kg.

2.3 Mineralstoffe

Nach GROPPPEL (2000) sind Mineralstoffe lebensnotwendige anorganische Bestandteile des pflanzlichen und tierischen Körpers, die der Organismus selbst nicht bilden kann und daher mit der Nahrung und dem Wasser dem Körper zugeführt werden müssen. Sie sind essenziell und haben im Organismus vielfältige Aufgaben. Dabei treten sie sowohl als schwerlösliche Salze als auch in Form von freien Ionen auf. Man unterscheidet auf Grund des Anteils im Organismus, der erforderlichen Futtermittelkonzentration und ihrer physiologischen Funktion nach Mengen- und Spurenelementen. (JEROCH et al., 2008) Eine Zuordnung, welche

Elemente zu den Mengen- bzw. Spurenelementen gezählt werden ist allgemein anerkannt und stellt sich wie folgt dar:

Mengenelemente:

- Calcium (Ca)
- Phosphor (P)
- Magnesium (Mg)
- Natrium (Na)
- Kalium (K)
- Schwefel (S)
- Chlor (Cl)

Spurenelemente:

- Eisen (Fe)
- Mangan (Mn)
- Zink (Zn)
- Kupfer (Cu)
- Molybdän (Mo)
- Selen (Se)
- Iod (I)
- Cobalt (Co)

Jedoch gibt es keine eindeutige wissenschaftliche Einteilung, ab welchem Mengenanteil an der Körper- bzw. Originalsubstanz zwischen Mengen- und Spurenelement unterschieden wird. Hier unterscheiden sich die Einordnungen zwischen verschiedenen Autoren zum Teil erheblich. So trennt GROPPÉL (2000) die Mengen- und Spurenelemente bei einem Gewichtsanteil von 100 mg/kg Originalsubstanz. Mengenelemente liegen über dieser Grenze, während Spurenelemente darunter liegen. KIRCHGESSNER (2004) legt die Grenze zwischen Mengen- und Spurenelemente bei 50 mg/kg Körpermasse fest. Nach JEROCH et al. (2008) haben Mengenelemente einen Anteil von 0,4 – 20 g/kg an der Körpermasse. Der Anteil der Spurenelemente liegt unter 50 mg/kg Körpermasse. Eine Sonderstellung in diesem System nimmt Eisen ein. Sein Anteil an der Körpermasse liegt mit 50 – 70 mg/kg über den Grenzen für Spurenelemente nach KIRCHGESSNER und JEROCH et al., wird aber dennoch diesen zugeordnet.

Praktische Bedeutung haben Ca, P, Na, Mg, Fe, Mn, Zn, Cu, Se, I, Co. Da ein Mangel eines dieser Elemente zu Krankheiten und Leistungsdepressionen führen kann, ist deren ausreichende Zufuhr unerlässlich. Des Weiteren kommen im Organismus sowohl Spurenelemente vor, die ausschließlich toxisch wirken (Hg, Pb, Ni, Cd), als auch Spurenelemente, welche im Organismus vorhanden sind, jedoch ohne eine lebensnotwendige Funktion zu besitzen. (GROPPEL, 2000)

Die Funktionen der Mengenelemente sind meist vielfältig und dienen in erster Linie dem Erhalt und dem Aufbau von Zellen. Sie sind mengenmäßig als Knochenbaustoff ebenso essenziell wie in Stoffwechselprozessen, bei denen sie als Aktivator bzw. Inhibitor fungieren. Des Weiteren sind sie an der Regulation des Elektrolyt- und des Wasserhaushalts beteiligt und sind Bestandteile von Puffersystemen im Körper. Spurenelemente haben spezielle Funktionen und sind Bestandteile von Hormonen, Enzymen und wirken als Katalysatoren in verschiedenen Stoffwechselprozessen. (GROPPEL, 2000; JEROCH et al., 2008)

Der physiologische Bedarf wird als Nettobedarf bezeichnet. Dieser muss durch die im Futter enthaltenen Mineralstoffe, dem Bruttobedarf, gedeckt werden. Der Nettobedarf ist abhängig von der Leistung des Organismus und setzt sich aus den endogenen Verlusten und dem Ansatz des Elements im Leistungsprodukt zusammen.

Bruttobedarf = Nettobedarf/Verwertbarkeit

Die Verwertbarkeit eines aufgenommenen Elements im Körper ergibt sich aus der gastrointestinalen Verfügbarkeit, der Absorption und der intermediären Verwertbarkeit. Die Absorption eines Mineralstoffs ist dabei vom pH-Wert des Mediums, Antagonismen zu anderen Elementen und Nährstoffen, sowie physiologischen Faktoren des Organismus, wie Alter oder Geschlecht, abhängig. Tiere sind in der Lage, die Absorption, Speicherung und Abgabe von Elementen in einem gewissen Rahmen zu regulieren, um sich ändernden Umweltbedingungen anzupassen. (GROPPEL, 2000; JEROCH et al., 2008)

Eine Einschätzung der Verwertbarkeit von Mineralstoffen ist nur begrenzt möglich, da komplexe Faktoren, die Aufnahme von Mengen- und Spurenelementen beeinflussen. Entscheidend sind neben den vorherrschenden chemischen Bindungen (Chelate, Se-Cystein) Wechselwirkungen mit anderen Nahrungsbestandteilen, sowie die pH-Verhältnisse im Magen-Darm-Trakt. Auch hier spielen Wechselbeziehungen zwischen verschiedenen Elementen eine Rolle. Durch die Homöostase, die Anpassungsmechanismen zur Stabilisierung der Mineralstoffversorgung, ist der Organismus in der Lage elementspezifische Schwankungen in bestimmten Grenzen auszugleichen. (JEROCH et al., 2008) Dennoch ergeben sich sehr große Schwankungsbreiten der Mineralstoffe im Futtermittel, welche mit einer unzureichenden Versorgung der Nutztiere einhergehen können. Um eine volle Leistungsfähigkeit, Gesundheit,

Widerstandsfähigkeit und Fruchtbarkeit zu gewährleisten, ist ein an das Grundfutter angepasster Einsatz von Mineralfutter nötig. (GROPPEL, 2000)

Der Absorptionsort unterscheidet sich nach Element und Spezies. Im Wesentlichen ist das der Dünndarm, in geringerem Maße der Dickdarm. Wiederkäuer sind darüber hinaus in der Lage, Mengenelemente auch über die Vormägen aufzunehmen. Der Anteil resorbierter Mineralstoffe ist nicht durch die Differenz zwischen der Aufnahme über das Futtermittel und der Exkretion zu berechnen, da der Verdauungstrakt auch als Ausscheidungsorgan für Mineralstoffe dient. Die Differenz zwischen der aufgenommenen und der ausgeschiedenen Menge wird als verdauliche Menge bezeichnet. Dabei wird die Menge vernachlässigt, die der Körper als Stoffwechselprodukte abgibt. Der Organismus nimmt tatsächlich mehr Nährstoffe auf, als sich aus der Verdaulichkeit ergibt. Dies wird als absorbierte Menge bezeichnet. Beträchtliche Unterschiede ergeben sich bei verschiedenen Mengen- und Spurenelementen. (KIRCHGESSNER 2004; JEROCH et al., 2008)

Verschiedene Futtermittelarten besitzen unterschiedliche Konzentrationen an Mineralstoffen, daher ist die Menge der Zufütterung mit Mineralstoffen vom Grundfutter abhängig. Das wichtigste Grundfuttermittel in der Mutterkuhhaltung ist der Weideaufwuchs und dessen Konservate. Der hohe Anteil an Grundfutter ist somit für den Großteil der Versorgung mit Mineralstoffen verantwortlich. Der Mineralstoffgehalt im Grundfutter wird in hohem Maße von der geologischen Herkunft der Futteranbaufläche beeinflusst, da der Mineralstoffgehalt in Blättern und Stängeln stärker durch den Boden beeinflusst wird als in Körnern und Knollen. (JEROCH et al., 2008) Zudem beeinflusst die Zusammensetzung des Grünlandes die Gehalte an Mengen- und Spurenelementen nachhaltig. (HAMPEL, 2014) So weisen Gräser geringe Mengen an Ca, Na und Cu auf, während die Gehalte an Mangan höher sind. (HOCHBERG et al., 2013) Dagegen sind Leguminosen und Kräuter nicht nur mineralstoff-, sondern auch protein- und vitaminreicher als Gräser. Insbesondere Kräuter weisen einen hohen Calciumgehalt auf. Allgemein ist Grünland reich an Kalium und im frühen Vegetationsstadium arm an Magnesium, weshalb vor allem zu Beginn der Weideperiode auf eine ausreichende Versorgung zu achten ist, um der Weidetetanie vorzubeugen. Die Gehalte an Spurenelementen im Grünland unterliegen starken standortspezifischen Schwankungen. (JEROCH et al., 2008) Neben der Bedarfsdeckung ist das Verhältnis der Elemente entscheidend. Das starke Überangebot eines Elements kann die Wirkung und Aufnahme eines anderen Elements beeinflussen und hemmen. Das optimale Verhältnis zwischen Ca und P liegt bei 1,6-2,0:1. Die Relation von Ca:P:Mg:Na sollte sich bei 4:2:1:1 befinden (HAMPEL, 2014)

Der Versorgungsstatus von Mineralstoffen wird nach JEROCH et al. (2008) folgendermaßen unterschieden:

- Mangelhafte Versorgung → klinische Symptome
- Suboptimale Versorgung → Veränderungen im Stoffwechsel ohne klinische Symptome
- Optimale Zufuhr → volle Gesundheit und Leistungsfähigkeit
- Subtoxische Zufuhr → Veränderung im Stoffwechsel noch ohne klinische Symptome
- Toxische Zufuhr → klinische Symptome

Die Diagnose einer Mangelsituation kann problematisch sein, da sich Symptome verschiedener Mängel schwer unterscheiden lassen und sich häufig in einer unspezifischen Leistungsdepression äußern. Mögliche Medien zur Diagnose sind in Tabelle 3 dargestellt.

Tabelle 3: Eignung verschiedener Medien zur Diagnose von Mangelsituationen nach TERÖRDE (1997)

Element	Medium				
	Boden	Futter	Blutplasma	Speichel	Harn
Calcium	-	+	-	-	+
Phosphor	-	+	-	+	+
Magnesium	+	+	-	-	-
Kalium	+	+	-	-	-
Natrium	-	+	-	+	+
Eisen	+	+	-	-	-
Kupfer	+	+	+	-	-
Zink	+	+	-	-	-
Mangan	+	+	-	-	-
Selen	+	+	+	-	-
Molybdän	+	+	+	-	-
Cobalt	+	+	-	-	-

2.3.1. Mengenelemente

2.3.1.1 Calcium

Calcium ist der mengenmäßig häufigste Mineralstoff im Organismus. Es dient vor allem als Baustoff für Knochen und Zähne. Zudem übernimmt Calcium Aufgaben bei der Steuerung des Nervensystems, bei der Kontraktion der Muskulatur, ist an der Blutgerinnung beteiligt und ist Aktivator und Stabilisator einiger Enzyme. Im Skelett befindet sich 99 % des gesamten Calciums des Körpers und stellt damit einen erheblichen Speicher dar. Reguliert wird es durch das Parathormon mit Unterstützung des Vitamin D. Auf Grund der großen Reserven führt eine Calcium-Unterversorgung nicht unmittelbar zu klinischen Mangelsymptomen. Eine ungenügende Mineralisierung aus dem Skelett äußert sich vor allem in einer unspezifischen Leistungsdepression, zum Beispiel einer verminderten Milchleistung. Erst bei langfristiger Mangelversorgung kommt es zu charakteristischen Krankheiten wie Rachitis, Osteomalazie und Osteoporose. Für Wiederkäuer ist vor allem die Gebärparese von Bedeutung. Auch bei einem ausreichenden Calciumgehalt im Futtermittel kann es zu einer Unterversorgung kommen. Dafür gibt es mehrere Ursachen. Zum einen eine gehemmte Resorption durch im Futtermittel enthaltene schwerlösliche Komplexbildner wie Phytinsäure und Oxalsäure. Zum anderen wirken Überdosen an P, Mg, Zn, Fe und Mn antagonistisch, ebenso wie eine hohe Protein- und Fettversorgung. Darüber hinaus spielt das zunehmende Alter der Tiere eine Rolle. Da der Ca-Stoffwechsel mit Hilfe des Vitamin D abläuft, können Mangelerkrankungen auch auf einen Vitamin D-Mangel hinweisen. Die Verwertbarkeit von Ca liegt zwischen 60 und 80 %. Da Calcium häufig in Verbindung mit Phosphor vorkommt, wirkt ein Verhältnis von 1,5:1 bis 2:1 begünstigend auf die Resorption und auf den Einbau ins Skelett. Dieses Verhältnis ist auch von besonderer Bedeutung, wenn die Vitamin-D-Zufuhr mangelhaft ist, da dieser so kompensiert werden kann. Der Bedarf an Calcium liegt bei 0,5 – 0,7 % der Trockenmasse des Futters. Die Exkretion überschüssigen Calciums erfolgt bei Wiederkäuern hauptsächlich über den Kot. (GROPPEL, 2000; KIRCHGESSNER, 2004; JEROCH et al., 2008)

Tabelle 4: Empfehlung zur Versorgung mit Calcium (KIRCHGESSNER, 2004 und GRUBER-TABELLE, 2017)

Rinder	TM-Aufnahme in kg je Tag	Ca in g je Tier und Tag nach KIRCHGESSNER, 2004 ¹⁾	Ca in g je Tier und Tag GRUBER-TABELLE, 2017 ²⁾
Kälber		27	
Wachsende Rinder		31-51	
Erhaltung		24	20
Hochtragend		35	
10 kg Milch	13,6	49	52
15 kg Milch	15,3	-	68
20 kg Milch	17,0	82	84
30 kg Milch	20,2	114	115

1) Basis: 650 kg LM

2) Basis: 700 kg LM, 4,0 % Milchfett, 3,6 % Milcheiweiß

2.3.1.2 Phosphor

Phosphor ist das zweithäufigste Mineral im Körper, wovon 75 – 85 % im Skelett vorkommen. Es übernimmt dort ähnliche Aufgaben als Baustein wie das Calcium. Als Hauptbestandteil des Adenosintriphosphats (ATP) ist es im Energiehaushalt von entscheidender Bedeutung. Es ist als Bestandteil der Nucleinsäuren an der Ausbildung der DNA beteiligt. Phosphor verhilft Hormonen zu ihrer Wirkung, dient als Puffersubstanz im Blut und in Zellen zur pH-Wert-Stabilisierung. Es ist in Phospholipiden, Phosphoproteinen und Phosphokreatin das prägende Element. Phosphormangel äußert sich eher unspezifisch in Wachstumsstörungen, Rückgang der Futteraufnahme und Fortpflanzungsstörungen. Insbesondere bei Jungtieren können dadurch Achillessehnenrisse auftreten. In Futtermitteln liegt Phosphor im Mittel zu 55 – 70 % in organisch gebundener Form vor, beispielsweise an Phytinsäure. Für Monogastrier besteht bei organischem Phosphor, auf Grund des fehlenden Enzyms, nur eine Verwertbarkeit von maximal 30 - 40 %. Wiederkäuer sind durch mikrobielle Phytase in der Lage, das gebundene Phosphor in den Vormägen freizusetzen. In Abhängigkeit von der Höhe des Bedarfs und der

vorliegenden Bindung schwankt die Verwertbarkeit zwischen 20 und 90 %. Zudem beeinflussen Vitamin D und Calcium die Resorption. So bewirkt ein weites Verhältnis von Calcium zu Phosphor die Bildung von schwerlöslichen Ca-Phosphaten. Hohe Eisen- und Aluminiumgehalte beeinträchtigen die Absorption von Phosphor. Bei Wiederkäuern erfolgt die Ausscheidung zum Großteil über den Kot. Nur bei einem engen Ca: P-Verhältnis oder einem pH-Wert-Abfall kann die Exkretion über den Harn ansteigen. Der Bedarf bezogen auf die TM des Futters liegt bei 0,25 – 0,5 %. (GROPPEL, 2000; KIRCHGESSNER, 2004; JEROCH et al., 2008)

Tabelle 5: Empfehlung zur Versorgung mit Phosphor (KIRCHGESSNER, 2004 und GRUBER-TABELLE, 2017)

Rinder	TM-Aufnahme in kg je Tag	P in g je Tier und Tag nach KIRCHGESSNER, 2004 ¹⁾	P in g je Tier und Tag nach GRUBER-TABELLE, 2017 ²⁾
Kälber		13	
Wachsende Rinder		14-26	
Erhaltung		17	14
Hochtragend		23	
10 kg Milch	13,6	31	34
15 kg Milch	15,3		43
20 kg Milch	17,0	51	52
30 kg Milch	20,2	71	72

1) Basis: 650 kg LM

2) Basis: 700 kg LM, 4,0 % Milchfett, 3,6 % Milcheiweiß

2.3.1.3 Magnesium

Magnesium ist ein weiterer wichtiger Baustein in Knochen und Zähnen. Es ist als Aktivator Bestandteil von Enzymen, unersetzbar in der Reizleitung im Nervensystem, unterstützt die Wärmeregulation und ist bei der Synthese der DNA erforderlich. Symptome eines Magnesiummangels sind vorerst unspezifische Leistungsdepressionen und mangelnde Futteraufnahme. Darüber hinaus kommt es zu Gefäßerweiterungen und Hautschäden. Später zu Reizbarkeit, Krämpfen und zur Tetanie, häufig mit Todesfolge. Diese als Weidetetanie bekannte Magnesium-Stoffwechselstörung tritt bei Rinden vor allem zu Beginn der Weideperiode auf, da das junge Gras sehr geringe Magnesiumgehalt aufweist. Hinzukommt der gleichzeitig hohe Kaliumgehalt der Gräser, ein Mangel an strukturwirksamer Rohfaser und Stress. Aus diesen Gründen ist eine Supplementation vor allem zu Weidebeginn notwendig. Die Resorption von Magnesium im Körper geschieht mit 80 % fast ausschließlich in den Vormägen. Daher beeinflusst eine Störung im Vormagensystem die Mg-Aufnahme erheblich. Im Körper gespeichertes Magnesium kann nur in unzureichender Menge mobilisiert werden, weshalb eine regelmäßige Aufnahme über Futtermittel und Mineralfutter notwendig ist. Der Magnesiumstoffwechsel ist eng mit dem Ca- und P-Stoffwechsel verbunden. Die Resorptionsrate ist vom Alter des Tieres und der Bindungsform abhängig. Bei jüngeren Tieren und organischer Bindung ist sie höher als bei älteren Tieren und anorganischer Bindungsformen. Die Exkretion findet vor allem über den Kot statt. Der Bedarf liegt bei gleichzeitiger bedarfsgerechter Ca- und P-Zufuhr bei 0,06 % der Futter-TM. Antagonismen treten vor allem mit Kalium (negativ) und Natrium (positiv) auf. Eine Mangeldiagnose kann über Blutserum und Harn erfolgen. (GROPPEL, 2000; KIRCHGESSNER, 2004; JEROCH et al., 2008)

Tabelle 6: Empfehlung zur Versorgung mit Magnesium (KIRCHGESSNER, 2004 und GRUBER-TABELLE, 2017)

Rinder	TM-Aufnahme in kg je Tag	Mg in g je Tier und Tag nach KIRCHGESSNER, 2004 ¹⁾	Mg in g je Tier und Tag nach GRUBER- TABELLE, 2017 ²⁾
Kälber		4	
Wachsende Rinder		6-11	
Erhaltung		13	13
Hochtragend		16	
10 kg Milch	13,6	19	20
15 kg Milch	15,3		23
20 kg Milch	17,0	25	26
30 kg Milch	20,2	32	31

1) Basis: 650 kg LM

2) Basis: 700 kg LM, 4,0 % Milchfett, 3,6 % Milcheiweiß

2.3.1.4 Kalium

Kommt zusammen mit Natrium und Chlorid vor allem in Körperflüssigkeiten und im Gewebe vor. Da sie wichtige Kationen sind, dienen sie der Aufrechterhaltung des osmotischen Drucks der Körperflüssigkeiten, dem Wasserhaushalt, dem Erhalt des Membranpotenzials und der Blutdruckregulation. Kalium ist ein intrazelluläres Kation, während die Kationen Natrium und Chlorid im extrazellulären Raum vorkommen. Dazu kommen Aufgaben bei der Muskelkontraktion und Reizleitung in den Nerven und als Aktivator einiger Enzyme. Es hat ernährungsphysiologisch eine eher geringe Bedeutung, da eine Bedarfsdeckung unproblematisch ist und eine Überdosis sehr selten auftritt. Auf Grund der geringen Speicherfähigkeit ist eine regelmäßige Aufnahme notwendig. Mangelsymptome sind Appetitlosigkeit, Wachstums- und Leistungsdepressionen und Lebendwasserverlust. Es kommt zu einer vollständigen Absorption des Kaliums, da es als Kation im Futter frei vorliegt. Eine Rückresorption ist im Dickdarm bis zu 80% möglich. Zudem erfolgt eine Exkretion über

den Harn und die Milch. Der Kaliumgehalt des Futters beeinflusst die Mg-Aufnahme negativ, wodurch es das Auftreten von Weidetetanie begünstigen kann. Eine Überdosis ist möglich, kann jedoch durch eine erhöhte Wasseraufnahme ausgeglichen werden. Der Bedarf im Futter liegt zwischen 0,2 – 0,6 % der TM. Ein gestörtes Na/K-Verhältnis (<1:1) ist durch die Analyse des Speichels möglich. (GROPPEL, 2000; KIRCHGESSNER, 2004; JEROCH et al., 2008)

Tabelle 7: Empfehlung zur Versorgung mit Kalium (GRUBER-TABELLE, 2017, keine Angaben durch KIRCHGESSNER)

Rinder	TM-Aufnahme in kg je Tag	K in g je Tier und Tag nach GRUBER-TABELLE, 2017 ¹⁾
Erhaltung		89
10 kg Milch	13,6	10
15 kg Milch	15,3	10
20 kg Milch	17,0	11
30 kg Milch	20,2	11

1) Basis: 700 kg LM, 4,0 % Milcfett, 3,6 % Milcheiweiß

2.3.1.5 Natrium

Große Mengen Natrium kommen zum Teil in den Knochen als auch im Gewebe und extrazellulär in Flüssigkeiten vor. Über ein großes Speichervermögen verfügt der Körper jedoch nicht. Natrium reguliert den osmotischen Druck und das Volumen von extrazellulären Flüssigkeiten. Als wichtiger Bestandteil der Puffersysteme des Körpers dient es der Aufrechterhaltung des Säuren-Basen-Gleichgewichts. Für die Funktion der Muskelkontraktion und der Impulsübertragung in den Nerven ist Natrium ebenso unersetzlich, wie als Aktivator verschiedener Enzyme. Für den sekundär-aktiven Transport von Nährstoffen vom extrazellulären Raum in die Zelle ist der Natriumgradient verantwortlich. Mit Hilfe eines Spannungsgefälles können so Ionen auch gegen dessen Konzentrationsgefälle transportiert werden, ohne Energie dafür aufwenden zu müssen. Natrium ist als Natriumbicarbonat bei Wiederkäuer zudem Hauptbestandteil der Pufferlösung des Speichels, wodurch der pH-Wert des Pansens reguliert werden kann. Natrium kommt als freies Ion vor, daher kann es nahezu vollständig absorbiert werden. Auch eine Rückresorption im Darm ist möglich. Die Ausscheidung erfolgt in Form schwerlöslicher Ionen über den Harn, die Milch und bei

schweißbildenden Tieren über den Schweiß. Die homöostatische Steuerung erfolgt über Hormone der Nebennierenrinde und ermöglicht eine gute Anpassung an eine ungleichmäßige Versorgung. Ein Mangel zeigt sich neben unspezifischen Symptomen wie Wachstums- und Leistungsdepressionen und Appetitlosigkeit vor allem in charakteristischer Lecksucht sowie in einer verminderten Milchmenge, da der Natriumgehalt der Milch genetisch festgelegt ist. Ein überhöhtes Na-Angebot kann meist durch erhöhte Wasseraufnahme reguliert werden. Nur in Extremfällen sind Wassereinlagerung im Körper und Wachstumsdepressionen die Folge. Der Bedarf im Futter liegt bei 0,1 – 0,2 % der TM, ist aber von der Konzentration anderer Mineralstoffe, insbesondere Kalium, abhängig. (GROPPEL, 2000; KIRCHGESSNER, 2004; JEROCH et al., 2008)

Tabelle 8: Empfehlung zur Versorgung mit Natrium (KIRCHGESSNER, 2004 und GRUBER-TABELLE, 2017)

Rinder	TM-Aufnahme in kg je Tag	Na in g je Tier und Tag nach KIRCHGESSNER, 2004 ¹⁾	Na in g je Tier und Tag nach GRUBER- TABELLE, 2017 ²⁾
Kälber		3	
Wachsende Rinder		4-8	
Erhaltung		9	7
Hochtragend		12	
10 kg Milch	13,6	15	15
15 kg Milch	15,3		19
20 kg Milch	17,0	22	23
30 kg Milch	20,2	28	31

1) Basis: 650 kg LM

2) Basis: 700 kg LM, 4,0 % Milchfett, 3,6 % Milcheiweiß

2.3.1.6 Chlor

Neben Natrium ist das Chloridion das häufigste Ion im Extrazellularraum. Zusammen mit Na und K ist es für die Aufrechterhaltung des osmotischen Drucks der Körperflüssigkeiten und des Säuren-Basen-Gleichgewichts verantwortlich. Als Cofaktor des Enzyms α -Amylase ist es beim Abbau von Stärke zwingend notwendig. Zudem ist es Bestandteil der Salzsäure im Magen. Als einfach negativ geladenes Ion geht es im Körper schnell in Lösung und kann daher nahezu vollständig aufgenommen werden. Ausgeschieden wird Chlorid über Harn, Milch und Speichel. Ein Chloridmangel weist keine spezifischen Symptome auf. Eine Unterversorgung geht meist mit einer gleichzeitigen Unterversorgung an Natrium einher und bildet die entsprechenden Krankheitsbilder aus. Eine auftretende Überversorgung würde dementsprechend die gleichen Auswirkungen zeigen wie eine Überversorgung mit Natrium. Der Bedarf liegt bei 0,1 – 0,2 % und hängt dabei von der Na und K Konzentration ab. Unter Normalbedingungen kommt es nicht zu einem Chloridmangel, da alle Futtermittel über ausreichende Mengen an Chlorid verfügen. (GROPPEL, 2000; KIRCHGESSNER, 2004; JEROCH et al., 2008)

2.3.1.7 Schwefel

Schwefel ist Bestandteil der beiden essenziellen Aminosäuren Cystein und Methionin, womit es ebenso essenziell für viele Proteine ist. Es ist als Teil des Cysteins eine Komponente in Haaren, Wolle und Gefieder. Es kommt zu dem in Knochen, Knorpel, Bindegewebe und Hornhaut vor. Als Teil von Hormonen und Enzymen wie Insulin, Coenzym A und Cytochrom C ist es an vielen Stoffwechsel- und Regulierungssystemen beteiligt. Resorbiert wird Schwefel vor allem über Aminosäuren, wodurch eine ausreichende Schwefelversorgung eine entsprechende Proteinversorgung voraussetzt. Zusätzlich kann Schwefel auch als Sulfation aufgenommen werden. Zu Sulfid reduziert, kann es im Pansen zu einer Komplexbildung vor allem mit Kupfer kommen. Die Exkretion erfolgt über den Harn. Ein Mangel äußert sich durch eine verringerte Futteraufnahme und eine schlechtere Celluloseverdauung. In der Vergangenheit kam es durch industrielle Emissionen zu einer Schwefelanreicherung in Futterpflanzen, die toxische Erscheinungen und eine Blockade der Kupfer- und Selenaufnahme zur Folge hatte. (GROPPEL, 2000; KIRCHGESSNER, 2004; JEROCH et al., 2008)

2.3.2 Spurenelemente

Tabelle 9: Empfehlung zur Spurenelementversorgung, mg je kg Futter TM (GRUBER-TABELLE, 2017)

	Fe	Cu	Mn	Zn	Se
Kalb	100	4	60	50	0,2
Jung-/Mastrind	50	10	40	40	0,2
Milchkuh	50	10	50	50	0,2

2.3.2.1 Eisen

Mit 50 – 70 mg Fe/kg Körpermasse liegt Eisen über dem für Spurenelemente gesetzten Grenzwert von 50 mg/kg, weshalb es bezüglich der Menge im Körper auch zu den Mengenelementen gezählt werden kann. Auf Grund seiner Funktionen wird es jedoch lediglich den Spurenelementen zugeordnet. Eisen ist als Cofaktor essenzieller Bestandteil lebenswichtiger Proteine. In dieser Form nimmt es Aufgaben beim Transport von Luftsauerstoff mittels des Hämoglobins im Blut und des Myoglobins in den Muskel von essenzieller Bedeutung für den Organismus. Eisen besitzt die Eigenschaft, mehrere Oxidationsstufen aufzuweisen. Diese Eigenschaft ermöglicht einen Einsatz in Redoxsystemen beispielsweise in Form von Cytochromen in der Atmungskette. Dabei ermöglicht es den Elektronenfluss vom Wasserstoff zum Sauerstoff. Als Cofaktor in Metalloenzymen ist Eisen an vielen zentralen Stoffwechselprozessen des Körpers beteiligt, so zum Beispiel im Citratzyklus und im Fettsäureabbau. Gespeichert wird Eisen im Körper als Ferritin für wasserlösliche Verbindungen und Hämosiderin für wasserunlösliche Formen. In der Milch kommt Eisen in Lactoferrin vor, welches eine antibakterielle Wirkung aufweist. Organische Eisenverbindungen lassen sich deutlich besser resorbieren als anorganische Eisensalze. Die mittlere Resorption liegt zwischen 10 und 30 %, kann in Mangelsituationen auf 40 – 50 % gesteigert werden. Gefördert wird die Resorption durch die Sekretion der Magensäure, durch die Anwesenheit von organischen Säuren, wie Lactat, Citrat und Pyruvat, die die Oxidation hemmen sowie durch die Gehalte an Calcium und Kupfer. Hemmend wirken dagegen das zunehmende Alter der Tiere, die Anwesenheit von Phytat und antagonistischen Metallen (Zn, Cd, Cu, Mn), sowie die Calcium- und Phosphorgehalte im Futtermittel. Überschüssiges Eisen wird zum Großteil in Hämosiderin gespeichert und während der Geweberegeneration über den Kot ausgeschieden. Allerdings kann ein Überschuss einen sekundären Mangel unter anderem von Kupfer und

Phosphor hervorrufen. Der Bedarf liegt bei 40 – 80 mg/kg TM. Auf Grund der ausreichenden Aufnahme und dem guten Speichervermögen ist der Erhaltungsbedarf gering. Bei Trächtigkeit und Wachstum steigt der Bedarf entsprechend an. Ein Eisenmangel bei ausgewachsenen Tieren ist durch den hohen Gehalt in den Futtermitteln nicht zu erwarten. Ein zum Teil erheblicher Eisenmangel tritt bei jungen milchernährten Tieren auf. Die Ursache liegt im geringen Fe-Gehalt der Milch bei gleichzeitigen geringen Eisenreserven der Jungtiere. Die Folge eines Fe-Mangels ist unabhängig von der Tierart eine verminderte Krankheitsresistenz, Appetitlosigkeit und ein verringertes Wachstum. Bei Wiederkäuern im Speziellen kann eine Unterversorgung zu Hämoglobin-Mangel, Herzrasen, geringer Belastbarkeit bis hin zu einer Acidose führen. Des Weiteren kann ein Eisenmangel zur verstärkten Aufnahme anderer Metallionen (Zn, Mn, Cd, Pb) führen, welche teilweise Toxizitäten zur Folge haben können. (GROPPEL, 2000; KIRCHGESSNER, 2004; JEROCH et al., 2008)

2.3.2.2 Kupfer

Der größte Teil des Kupfers im Organismus befindet sich in der Leber und im Knochenmark. In nennenswerten Mengen kommt es weiterhin in der Muskulatur und in der Haut vor. Im Gegensatz zu Eisen ist der Kupferspeicher in neugeborenen Säugern groß genug, um die Periode der geringen Kupferzufuhr über die Milch zu überbrücken. Kupfer ist im Körper häufig an Proteine gebunden vorzufinden, dessen Funktionen es damit unterstützt. So ist Kupfer essenziell für Enzyme, welche die Oxidation von Eisen katalysieren und damit für die Hämoglobinbildung entscheidend sind. Diese enge Verknüpfung zwischen Kupfer und Eisen ist der Grund, weshalb die Symptome einer Unterversorgung mit Kupfer einem Eisenmangel nahekommen. Weiterhin äußert sich eine Kupferunterversorgung eher unspezifisch in Wachstumsdepression, Krankheitsanfälligkeit und verminderte Futteraufnahme. Zudem führt ein Mangel zu einer Störung in der Pigmentierung und in der Struktur von Haaren und Wolle, insbesondere um die Augen, was zu einer charakteristischen Kupferbrille führt. Weitere Defizite treten bei der Ausbildung des Nervensystems und der Skelettbildung auf. Charakteristisch für Wiederkäuer ist die Lecksucht. Die Symptome eines sekundären Mangels gleichen dem des primären Cu-Mangels. Für die Synthese von Keratin, Melanin und Myelin ist Kupfer ebenfalls von Nöten. Die Resorption von Kupfer erfolgt im Magen und im Dünndarm, die Höhe der Resorption liegt zwischen 2 und 40 %. Hemmend auf die Aufnahme wirkt sich ein hohes Angebot und die unterschiedliche Verfügbarkeit in Futtermitteln aus. Als fördernd für die Resorption erweist sich ein geringer Molybdängehalt und die Anwesenheit einiger Nahrungsbestandteile wie Vitamin A und Lactose. Neben den bereits erwähnten Elementen Molybdän und Eisen weist Kupfer eine weitere Anzahl von Antagonisten auf. Schwefel bildet in Verbindung mit Molybdän Thiomolybdate. Diese sind in der Lage, im Pansen

Kupferkomplexe zu bilden, welche eine Resorption des Kupfers verhindern. Zink vermindert die Aufnahme von Kupfer und blockiert dessen Wirkung an einigen Enzymen. Zu dem kann Calcium bei erhöhten Gaben die Kupferverwertung negativ beeinflussen. Aufgrund dieser Antagonismen sind sekundäre Mängel vor allem in Gebieten mit verstärkter industrieller Emission anzutreffen. Der Bedarf an Kupfer liegt bei 5 – 10 mg/kg TM. Da der Kupfergehalt des Grundfutters vom Kupfergehalt des Bodens abhängt, kann eine Zufütterung über Mineralfutter unerlässlich sein. (GROPPEL, 2000; KIRCHGESSNER, 2004; JEROCH et al., 2008)

2.3.2.3 Zink

Mit Körpergehalten zwischen 20 und 30 mg/kg Lebendmasse ist Zink nach Eisen das zweithäufigste Spurenelement. Im Körper ist es vor allem in Auge, Leber, Pankreas, Haut, Haaren, Hoden und Sperma zu lokalisieren. Zink spielt in über 300 Enzymen und Proteinen eine besondere Rolle. Es ist am Stoffwechsel von Proteinen, Kohlenhydraten und Fetten beteiligt. Bei der Synthese von Nucleinsäuren, Keratin und Hormonen, wie Insulin, ist Zink ebenso entscheidend, wie bei der Ausprägung der Gene. Mangelsymptome bei Jungtieren treten als starke Wachstumsdepression und verringerte Futteraufnahme in Erscheinung. Bei männlichen Tieren treten mangelnde Spermaqualitäten und Hodenunterentwicklungen auf. Bei weiblichen Tieren äußert sich ein Mangel in Aborten, Mumifikationen und Wehenschwäche. Äußerlich ist eine Zinkunterversorgung auf Grund der Störung der Keratinbildung an Hautläsionen, Haarausfall, verzögerter Wundheilung und Hornwachstum, bis hin zur Parakeratose zu erkennen. Bei Wiederkäuern treten diese Hautverletzungen häufig an den hinteren Extremitäten und am Euter auf. Durch homöostatische Mechanismen ist der Körper sehr gut in der Lage, die Zinkresorption in Abhängigkeit vom Bedarf und dem Auftreten von Antagonismen anzupassen. So kann von einer mittleren Resorption von 40 bis 80 % ausgegangen werden. Bei Unterversorgung kann fast 100 % des im Futtermittel enthaltenen Zinks in den Körper aufgenommen werden. Dies spielt vor allem deshalb eine wichtige Rolle, da die Mehrheit der Grundfuttermittel arm an Zink ist. Antagonistische Verhältnisse herrschen speziell bei hohen Gehalten an Calcium und Phytinsäure. Zink bildet bei hohen pH-Werten schwerlösliche Komplexe, die nur mit dem Enzym Phytase wieder verfügbar werden. Darüber hinaus bestehen Antagonismen zu Cu, Ni, Mg, P, Cd und Fe. Die Ausscheidung von Zink erfolgt fast ausschließlich über den Darm, weshalb scheinbare und wahre Verdauung zum Teil sehr unterschiedlich ausfallen. Die Bedarfsempfehlung für Zink liegt zwischen 20 und 70 mg/kg TM. Die unterschiedliche Verfügbarkeit erschwert eine exakte Bedarfsermittlung, weshalb eine Ergänzung über Mineralfutter empfohlen wird. Ein Überschuss an Zink kann zu

Vergiftungserscheinungen führen, welche bei Mengen über 500 mg/kg TM auftreten können. (GROPPEL, 2000; KIRCHGESSNER, 2004; JEROCH et al., 2008)

2.3.2.4 Mangan

Im Organismus findet sich Mangan vor allem in den Knochen, Leber, Niere und Pankreas. Die Speicherkapazität ist weniger stark ausgeprägt wie bei Eisen und Kupfer. Mangan ist essenziell für einige Stoffwechselabläufe. So dient es als Cofaktor in Enzymen der Gluconeogenese, des Harnstoffzyklus, der oxidativen Phosphorylierung sowie der Mucopolysaccharidsynthese. Als Teil des antioxidativen Systems zur Katalyse von Superoxid ist Mangan Teil des Enzyms Superoxid-Dismutase, womit oxidativer Stress abgebaut wird. Mangan wirkt bei der Bildung von Haarpigmenten, Knorpelmasse und unterstützt die Entgiftung schädlicher Stoffwechselprodukte. Durch eine Unterversorgung kommt es zur Störung der manganabhängigen Synthesen. Diese führen zu vermindertem Wachstum, Skelettfehlbildungen durch vermehrte Knorpelbildung, neurotischen Störungen bis hin zur Lähmung und Ataxie sowie verringerter Fruchtbarkeit, welche sich in verzögerter Reife, Stillbrünstigkeit oder Aborten äußert. Die Aufnahme von Mangan in den Organismus erfolgt über den Dünndarm. Die Verwertung wird dabei vor allem durch Ca und P negativ beeinflusst. Darüber hinaus haben auch Fe, Cu und Zn antagonistische Wirkungen auf die Resorption. Die Resorptionsrate liegt bei Jungtieren deutlich höher als bei Alttieren, auch wenn die Aufnahmerate generell sehr gering ist. Von Mangelerkrankungen betroffen sind vorzugsweise Kühe und Kälber, da ihr Bedarf im Vergleich zur Verfügbarkeit in Futtermitteln und der Milch hoch ist. Der empfohlene Bedarf liegt zwischen 20 bis 70 mg/kg TM. Die wichtigste Manganquelle ist Grasaufwuchs. Jedoch kann es insbesondere auf manganarmen Moor- und Sandstandorten zu Mangelerkrankungen kommen. Bei einem Überschuss besteht auf Grund der geringen Resorption bei gleichzeitig schneller Exkretion keine Gefahr einer toxischen Erscheinung. (GROPPEL, 2000; KIRCHGESSNER, 2004; JEROCH et al., 2008)

2.3.2.5 Selen

Selen war vor allem auf Grund seiner toxischen Wirkung bekannt, erst spät wurde die essenzielle physiologische Bedeutung erkannt. Im Körper kommt es hauptsächlich an Stelle des Schwefels in den Aminosäuren Methionin und Cystein vor. Eine zentrale Rolle spielt Selen in Antioxidationsystemen, bei der Entgiftung gefährlicher Stoffwechselprodukte und bei der Synthese von Prostaglandin. Die Resorption erfolgt sehr schnell und kann Raten zwischen 35 und 100 % des Angebots betragen. Jedoch kann es in den Vormägen von Wiederkäuern zur

Bildung schwerlöslicher Selen-Salze kommen, welche die Aufnahme hemmen. Gefördert wird die Resorption durch die Vitamine A und E, während Vitamine C sowie S, Ca und Kupfer nachteilige Auswirkungen haben können. Selen und Vitamin E stehen bei antioxidativen Aufgaben in enger Wechselbeziehung. Daher können Mangelerkrankungen von einem oder beiden Stoffen gelindert oder geheilt werden. Zu diesen Erkrankungen zählen Immunsuppressionen, Fruchtbarkeitsstörungen oder die Weißmuskelkrankheit. Die Versorgungsempfehlung liegt bei 0,2 bis 0,3 mg/kg TM. Die Deckung des Bedarfs über Pflanzen ist standortabhängig, da der Gehalt des Bodens den Gehalt in der Pflanze maßgeblich beeinflusst. Toxische Erscheinungen, zum Beispiel die Selenose, treten bei Wiederkäuern ab 4 bis 5 mg/kg TM auf. Diese Erscheinungen äußern sich in Haarverlust, Erblindung, Lahmheit bis hin zur verminderten Futteraufnahme, die den Tod der Tiere zur Folge haben kann. (GROPPEL, 2000; KIRCHGESSNER, 2004; JEROCH et al., 2008)

2.4 Applikationsmöglichkeiten

Das Angebot von Mineralstoffen zur freien Aufnahme ist die direkte und sicherste Methode der Supplementierung. Dabei kommen unterschiedliche Darbietungsformen zum Einsatz. Die Gemische werden als Lecksteine, Leckmassen oder lose bereitgestellt. (HOCHBERG et al., 2013) Eine besondere Variante ist die Verwendung von Boli, welche geringe Mineralstoffmengen intraruminal über einen Zeitraum von mehreren Monaten abgibt. Die Vorteile sind neben den geringen Kosten und dem geringen Arbeitsaufwand insbesondere die Vermeidung von Verlusten. (EXNER, 2009) Die lose Form wird von allen oral verabreichten Varianten von den Tieren am besten aufgenommen, birgt jedoch das größte Verlustpotenzial. Zudem ist auf die Bindungsform der Minerale zu achten. Organisch gebundene Mineralstoffe besitzen eine höhere Bioverfügbarkeit als anorganische Verbindungen. (HOCHBERG et al., 2013) Über die gesamte Weideperiode ist den Tieren ein Leckstein zur Verfügung zu stellen, um den geringen Natriumgehalt im Weidegras auszugleichen. Vitaminisiertes Mineralfutter ist nur in Winter nötig, da bei der Werbung und Lagerung des Winterfutters die Vitamingehalte stark reduziert werden. Häufig wird Mineralfutter jedoch auch im Sommer mit zusätzlichen Vitaminen angeboten. Eine übermäßige Aufnahme ist hier nicht von Nachteil und wirkt sich nur geringfügig auf die Kosten aus. (HAMPEL, 2014) Mit einem genügenden Angebot von Mineralstoffen mittels Mineralfutter auf der Weide ist die ausreichende Aufnahme der empfohlenen Menge jedoch nicht sichergestellt. Es kommt zu tierindividuellen Unterschieden, deren Ursache das Mineralfutterangebot des Weideaufwuchses, die Schmackhaftigkeit und die Darbietungsform sind. (COPPOCK et al., 1972) Eine allgemeine Empfehlung für die Mineralstoffsupplementierung für Mutterkühe ist schwierig zu formulieren. Vielmehr sollte diese dem Grünlandaufwuchs betriebsspezifisch angepasst werden. (KÄDING et al., 1993)

Nach HAMPEL (2014) werden zusätzlich zum Grundfutter Tagesmengen von 50 – 100 g Mineralfutter empfohlen. Die aufgenommene Mineralfuttermenge erreicht jedoch nicht immer diese Empfehlungen. So beträgt die durchschnittlich aufgenommene Menge an Mineralfutter bei Mutterkühen in Baden-Württemberg 60 g. (BRÄNDLE und KRIEG, 2007) Um dem geringen Magnesiumgehalt in frischem Aufwuchs entgegen zu wirken, bieten sich spezielle Mineralfutter zur Tetanie-Prophylaxe an, welche bis zu 12 % Mg enthalten, während gängige ganzjährig eingesetzte Mineralfutter nur 2-3 % Mg enthalten. (GOLZE, 1997; WEIß, 2011)

3 Zielstellung

Ein Überblick über die Mineralstoffgehalte auf extensiven Weiden soll mit dieser Arbeit bereitet werden. Dabei galt das Augenmerk den möglicherweise auftretenden Defiziten und deren Umfang unter verschiedenen Voraussetzungen. Die erste drei der folgenden Zielstellungen bezieht sich jeweils auf die drei Kategorien, in welche die ermittelten Parameter eingeteilt wurden. Dies sind die Weender-Analyse, die Mengen-, sowie die Spurenelemente. Die beiden letzten Zielstellungen betrachten nur die Mengen- und Spurenelemente. Alle Parameter wurden mit den entsprechenden Vorgaben der Literatur verglichen und in Verhältnis gesetzt.

1. Wie stellen sich die Parameter im Gesamtumfang dar?
2. Treten Differenzen bei den Parametern in den einzelnen Jahren auf?
3. Falls Differenzen auftreten, welchem Umfang unterliegen diese?
4. Welche Auswirkungen auf die Mineralstoffgehalte hat der Rohfasergehalt?
5. Welche Konsequenzen ergeben sich für die praktische Mineralstoffsupplementierung?

4 Material und Methode

Die Grundlage dieser Arbeit bilden die Ergebnisse von anonymisierten Futtermittelanalysen aus drei regionalen Analyselaboren. Die zur Verfügung gestellten Daten stammen von:

- Eurofins BLGG AgroXpertus Deutschland GmbH in Parchim (MV)
- Landeskontrollverband Berlin-Brandenburg e.V. (BB)
- LKS Landwirtschaftliche Kommunikations- und Servicegesellschaft mbH in Niederwiesa (SN)

Durch ihre Verteilung im Osten Deutschland ermöglichen diese Labore eine flächendeckende Bereitstellung von Daten. Damit kann von einer repräsentativen Darstellung der Ergebnisse für Ostdeutschland ausgegangen werden.

Die erhaltenen Datensätze wurden unter folgenden Aspekten für die Anforderungen der Arbeit angepasst:

- Zeitraum der untersuchten Ergebnisse 2014 bis 2017
- Herkunft der Proben aus den ostdeutschen Bundesländern
- Grassilagen
- Extensive Bewirtschaftung
- Analyse inklusive der Bestimmung von Mengen- und Mikroelementen

Um auf eine aussagekräftige Menge an Werten für selten untersuchte Inhaltsstoffe insbesondere bei Spurenelementen zu erhalten, wurde sich für die Auswahl der Daten aus den Jahren 2014 bis 2017 entschieden. Sämtliche Proben stammen aus den ostdeutschen Bundesländern. In der Mutterkuhhaltung stellt Grassilage das häufigste verwendete Grobfutter dar. Da diese Silage zum Teil von derselben Fläche stammt, die von den Tieren als Weide genutzt wird, gibt sie sowohl Auskunft über die Nährstoffgehalte im Winter als auch über die Gehalte des Weideauswuchses. (HAMPEL, 2014) Mutterkuhhaltung wird vor allem in den ostdeutschen Bundesländern auf extensiv bewirtschafteten Grünlandflächen betrieben. (STOLZ, 2014) Zudem stellen extensive Flächen, auf Grund der mäßigen Qualität der davon gewonnenen Futtermittel, keine gute Grundlage für Hochleistungsrationen von Milchvieh dar. (TERÖRDE, 1997) Die Analyse von Mengen- und Mikroelementen in extensiven Grassilagen ist für die Ermittlung der Mineralstoffversorgung von Mutterkühen zwingend notwendig. Um darüber hinaus Aussagen bezüglich der Qualität und den allgemeinen Nährstoffgehalten der Silagen treffen zu können, sind in die Auswertung alle extensiven Grassilagen

Ostdeutschlands eingeflossen, auch wenn keine oder nur unvollständige Ergebnisse zu den Mengen- und Mikroelementen vorlagen.

Die Ergebnisse lagen in Form von Excel-Tabellen vor, welche von den einzelnen Laboren zur Verfügung gestellt wurden. Diese Tabellen umfassten alle analysierten Eigenschaften, Parameter und Inhaltsstoffe jeglicher Futtermittelproben des jeweiligen Jahres. Daher wurden die Dateien unter den bereits erläuterten Aspekten gefiltert. Die verbliebenen Daten wurden nach den einzelnen Erntejahren und als Summe aller Jahre zusammengestellt. Die tatsächlich vorliegende Anzahl an Ergebnissen, die Mittelwerte, die Standardabweichung, sowie Minima und Maxima wurden für jede Nährstofffraktion und für jeden Mineralstoff ermittelt. Um eine Verzerrung der Ergebnisse durch Extremwerte zu vermeiden, wurden alle Werte eines Parameters durch Quantile von $p = 0,025$ begrenzt. Hierdurch wurden 2,5 % der höchsten bzw. niedrigsten Werte aus der Gesamtauswertung ausgeschlossen.

Zur Einschätzung der Qualität sowie der Nähr- und Mineralstoffgehalte wurden die Ergebnisse mit Richt- und Empfehlungswerten für Grassilagen und Grobfuttermitteln verglichen. Die Basis dieser Richt- und Empfehlungswerte für die in der Weender-Analyse ermittelten Daten bilden die Vorgaben der landwirtschaftlichen Untersuchungs- und Forschungsanstalten (LUFÄ), im Konkreten der LUFÄ Nord-West. Die Grundlage der Einschätzung zur Mineralstoffversorgung bildet die Gruber-Tabelle zur Fütterung von Wiederkäuern der bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft. Darin sind nicht nur Empfehlungen zur Versorgung mit Mengen- und Spurenelementen enthalten, sondern auch Höchstwerte festgelegt, deren Überschreiten zu toxischen Erscheinungen führen kann und daher vermieden werden sollte. (KIRCHGESSNER, 2004; JEROCH et al, 2008) Dies betrifft insbesondere die Spurenelemente Eisen, Kupfer, Zink, Mangan und Selen. (GRUBER TABELLE, 2017)

Um eine Aussage zur Mineralstoffversorgung bei unterschiedlichen Intensivierungsgraden der Weide treffen zu können, wurden alle Analyseergebnisse nach ihrem Rohfasergehalt geordnet und in drei Gruppen eingeteilt. Die Einteilung orientierte sich an den Extremwerten für den Rohfaseranteil. Diese liegen bei 200 im Minimum beziehungsweise 322 g/kg TM im Maximum. Daraus leiteten sich die Gruppengrößen von < 240 g/kg TM, $240 - 280$ g/kg TM und > 280 g/kg TM ab, welche im Folgenden als intensiv, semi-intensiv und extensiv bezeichnet werden.

Die Orientierungswerte für die Mengenelemente sind im besonderen Maße von der Milchmenge abhängig. Um ein Kalb ausreichend versorgen zu können, ist eine entsprechend hohe Milchleistung der Mutterkuh erforderlich. Hierbei werden 15 kg Milch/d als Zielwert angenommen. Die Orientierungswerte beziehen sich auf die geschätzte Futteraufnahme einer säugenden Mutterkuh in Abhängigkeit vom Rohfasergehalt. Der intensiven Gruppe wurde eine Futteraufnahme von 14 kg TM/d unterstellt. Auf Grund des steigenden Rohfasergehalts sinkt

die Futtermittelaufnahme. (SCHOLZ et al., 2018) Daher wird der semi-intensiven Gruppe eine um 2 kg TM verringerte Futtermittelaufnahme von 12 kg TM/d unterstellt. Eine Aufnahme von 10 kg TM/d wird für die extensive Gruppe angenommen.

Im Gegensatz zu den Mengenelementen sind die Empfehlungen für die Spurenelemente lediglich als Wert in mg/kg TM Futtermittelration angegeben, unabhängig von der Milchleistung. Um eine ideale Versorgung zu gewährleisten, wurde eine Futtermittelaufnahme von 14 kg TM/d unterstellt.

5 Ergebnisse

In diesem Teil der Arbeit werden die Ergebnisse der Datenauswertung dargestellt. Hierbei werden die Ergebnisse sowohl als Übersicht aller zusammengefasster Jahre aufgezeigt als auch auf die einzelnen genutzten Jahre eingegangen.

5.1 Gesamtauswertung

5.1.1 Gesamtergebnisse Weender-Analyse

Die Trockenmasse der Grassilage schwankt zwischen 208,0 g/kg und 577,8 g/kg und liegt im Mittel bei 354 g/kg mit einer Standardabweichung von 77 g/kg. Die Proben enthalten im Mittel 95 g/kg Rohasche mit einer Standardabweichung von 19 g/kg. Das Minimum beträgt 61,6 g/kg, das Maximum 160,1 g/kg. Der Rohproteingehalt der Silagen schwankt zwischen 96,5 g/kg und 202,0 g/kg, während der Mittelwert 149 ± 23 g/kg beträgt. Der Anteil der Rohfaser liegt im Mittel bei 259 ± 26 g/kg und reicht von 200,0 g/kg bis 322,0 g/kg. Der Werte für ADF erstrecken sich von 187,5 g/kg bis 352,6 g/kg. Der Mittelwert beträgt 278 g/kg bei einer Standardabweichung von 32 g/kg. Der Energiegehalt der Proben beträgt im Mittel $9,9 \pm 0,6$ MJ ME bzw. $5,9 \pm 0,5$ MJ NEL. Der metabolische Energiegehalt reicht dabei von 8,3 MJ bis 11,2 MJ, während die Nettoenergie Laktation zwischen 4,8 MJ und 6,8 MJ liegt.

Tabelle 10: Übersicht der Ergebnisse aller Jahre der Weender-Analyse

	n	MW \pm s (g/kg TM bzw. MJ)	Min (g/kg TM bzw. MJ)	Max (g/kg TM bzw. MJ)
Trockenmasse	13.178	354 ± 77	208,0	577,8
Rohasche	13.175	95 ± 19	61,6	160,1
Rohprotein	13.041	149 ± 23	96,5	202,0
Rohfaser	13.178	259 ± 26	200,0	322,0
ADF	12.995	278 ± 32	187,5	352,6
ME	13.166	$9,9 \pm 0,6$	8,3	11,2
NEL	13.166	$5,9 \pm 0,5$	4,8	6,8

In der folgenden Tabelle 11 werden die Ergebnisse aus Tabelle 10 mit den Empfehlungen verglichen. Die Empfehlungen für die Trockenmasse werden nur zu 47,30 % eingehalten, während etwa ein Viertel der Werte unter bzw. über dem angeratenen Bereich liegt. Der Grenzwert für den Rohaschegehalt wird in 65,31 % der Proben nicht überschritten, somit weisen etwa ein Drittel aller Proben einen erhöhten Rohaschegehalt auf. Der Rohproteingehalt liegt bei 78,42 % der Proben im vorgeschlagenen Bereich. Der Anteil oberhalb der Empfehlung ist mit 9,79 % vergleichsweise gering, während der Anteil unterhalb des geratenen Grenzwertes 11,79 % beträgt. Der Anteil der Rohfaser entspricht in 86,35 % der Proben der Empfehlung. Mit 6,30 % weist nur ein geringer Teil der Analyseergebnisse einen erhöhten Rohfasergehalt auf. Der Anteil unterhalb der Empfehlung ist mit 7,35 % ebenfalls gering. Ein Viertel aller ADF-Werte liegen über der Empfehlung von 300 g/kg TM. Mit 12,63 % liegt etwa ein Achtel unterhalb der angeratenen Grenze von 240 g/kg TM. Innerhalb des Empfehlungsbereichs liegen 62,25 % aller Probenergebnisse. Die Energiegehalte sowohl an ME, als auch an NEL erreichen in nicht ganz der Hälfte aller Attestwerte die nahegelegte Grenze von 10,0 MJ bzw. 6,0 MJ.

Tabelle 11: Übersicht und Vergleich der Empfehlungswerte aller Jahre der Weender-Analyse

	Empfehlung Grassilage (g/kg bzw. MJ)	unter Empfehlung (%)	über Empfehlung (%)	Innerhalb der Empfehlung (%)
Trockenmasse	300 – 400	26,73	25,98	47,30
Rohasche	< 100		34,69	65,31
Rohprotein	120 – 180	11,79	9,79	78,42
Rohfaser	220 – 300	7,35	6,30	86,35
ADF	240 – 300	12,63	25,12	62,25
ME	> 10,0	51,24		48,76
NEL	> 6,0	55,52		44,48

5.1.2 Gesamtergebnisse Mengenelemente

Insgesamt kann festgestellt werden, dass Mengenelemente wurden insgesamt seltener untersucht wurde, als die Hauptbestandteile mittels Weender-Analyse. Auch zwischen den verschiedenen Elementen gibt es zum Teil erhebliche Differenzen. Während Calcium und Phosphor in über 10.500 Proben ermittelt wurde, sind Schwefel und Chlor nur in 4.441 bzw. 5.692 Fällen untersucht worden. Bei etwa 9.600 Silageproben wurden Magnesium, Kalium und Natrium analysiert. Natrium ist mit einem Mittelwert von $1,34 \pm 1,04$ g/kg TM das Mengenelement mit dem geringsten Vorkommen in den Proben der Grassilagen. Dagegen macht Kalium mit durchschnittlich $22,63 \pm 6,00$ g/kg TM den größten Anteil aus. Die Gehalte von Calcium und Chlor sind zwar doppelt so hoch wie die von Phosphor, Magnesium und Schwefel, jedoch nicht annähernd so hoch wie der Kaliumgehalt. Mit $0,08$ g/kg TM hat Natrium das geringste Minimum, während Kalium mit $36,04$ g/kg TM das höchste Maximum besitzt.

Tabelle 12: Ergebnisse Mengenelemente aller Jahre

	n	MW \pm s (g/kg TM)	Min (g/kg TM)	Max (g/kg TM)
Ca	10.582	$6,01 \pm 1,76$	2,93	12,23
P	10.579	$3,25 \pm 0,51$	2,08	4,50
Mg	9.552	$2,20 \pm 0,55$	1,10	3,70
K	9.674	$22,63 \pm 6,00$	9,94	36,04
Na	9.619	$1,34 \pm 1,04$	0,08	4,80
Cl	5.692	$7,62 \pm 4,12$	1,57	19,60
S	4.441	$2,48 \pm 0,57$	1,40	4,05

Tabelle 13 dient dem Vergleich der errechneten Werte aus Tabelle 12 mit den Empfehlungen der GfE aus der Gruber-Tabelle. Die hierbei genutzten Empfehlungen beziehen sich auf eine Kuh mit einem Lebendgewicht von 760 kg und einer Milchleistung von 15 kg.

Die Bedarfsdeckung ist bei fast allen Mengenelementen erreicht. Bei Kalium ist die Deckung mit 99,75 % am höchsten. Es folgen Magnesium und Chlor mit 90,48 % bzw. 90,86 % Deckung. Die Empfehlungswerte zu ca. 80 % erreicht haben Calcium, Phosphor und Schwefel. Natrium weist mit 41,76 % den geringsten Wert unter den erreichten Empfehlungen auf.

Tabelle 13: Vergleich der Ergebnisse mit der Bedarfsempfehlung (Mengenelemente)

	Empfehlung bei 15 kg Milch (g/kg TM)	Anzahl über Empfehlung absolut	Anzahl über Empfehlung Relativ (%)
Ca	4,5	8.593	81,20
P	2,8	8.376	79,18
Mg	1,5	8.643	90,48
K	10,0	9.650	99,75
Na	1,3	3.988	41,46
Cl	2,8	5.172	90,86
S	2,0	3.463	77,98

5.1.3 Gesamtergebnisse Spurenelemente

Die Anzahlen der Werte für die Spurenelemente sind im Vergleich zur Weender-Analyse und den Mengenelementen deutlich geringer. Das am häufigsten ermittelte Spurenelement war Kupfer, es wurde 1.296-mal bestimmt. Es folgen Zink und Mangan mit 1.279 bzw. 1.276 Ermittlungen. Eisen wurde in 919 Analysen festgestellt. Der Selengehalt wurde nur in 159 Fällen bestimmt. Der Kupfergehalt der Grassilagen schwankt zwischen 4,60 und 14,50 mg/kg TM. Der Gehalt an Selen in den Grassilageproben hat ein Minimum von 0,01 mg/kg TM und ein Maximum von 3,00 mg/kg TM und damit die geringste Schwankungsbreite. Dabei ist der Mittelwert mit 0,34 mg/kg TM und eine Standardabweichung von 0,59 mg/kg TM weit von Maximum entfernt. Die größte Spannbreite zwischen Minimum und Maximum sowie die höchsten Werte aller Spurenelemente weist Eisen auf. Sein mittlerer Gehalt liegt bei $579,70 \pm 376,82$ mg/kg TM. Das Vorkommen an Eisen reicht von mindestens 122,00 mg/kg TM bis auf maximal 2097,00 mg/kg TM.

Tabelle 14: Ergebnisse Spurenelemente aller Jahre

	N	MW ± s (mg/kg TM)	Min (mg/kg TM)	Max (mg/kg TM)
Fe	919	579,70 ± 376,82	122,00	2097,00
Cu	1.296	8,49 ± 2,09	4,60	14,50
Zn	1.279	38,63 ± 10,30	21,00	78,00
Mn	1.276	107,44 ± 48,28	29,45	265,00
Se	159	0,34 ± 0,59	0,01	3,00

Die folgende Tabelle 15 zeigt den Vergleich der Probenergebnisse der Spurenelemente mit den Empfehlungen der GfE. Die Empfehlungen beziehen sich ebenfalls auf eine Kuh mit 760 kg Lebendmasse und einer durchschnittlichen Milchleistung von 15 kg in der Laktation.

Der Orientierungswert für die einzelnen Spurenelemente wird nur selten erreicht. Einzig der Eisengehalt wird bei allen untersuchten Proben erreicht. Eine annähernd große Deckung des Bedarfs wird bei Mangan in 89,58 % der Proben erfüllt. Die Bedarfsdeckung von Selen ist in 36,48 % aller Probenergebnisse gegeben. Der Bedarf an Kupfer und Zink erreicht nur in 22,69 % bzw. 12,67 % der Fälle den Orientierungswert.

Tabelle 15: Vergleich der Ergebnisse mit der Empfehlung (Spurenelemente)

	Empfehlung bei 15kg Milch (mg/kg TM)	Anzahl über Empfehlung absolut	Anzahl über Empfehlung relativ
Fe	50	919	100,00%
Cu	10	294	22,69%
Zn	50	162	12,67%
Mn	50	1.143	89,58%
Se	0,2	58	36,48%

5.2 Ergebnisse der einzelnen Jahre

5.2.1 Ergebnisse Weender-Analyse

Tabelle 16 verdeutlicht, wie sehr die einzelnen Parameter der Weender-Analyse in den untersuchten Jahren schwanken. Hierbei fallen zuerst die sehr geringen Schwankungen für die Energiegehalte ME und NEL auf, welche nur 0,1 MJ betragen. Die Gehaltsunterschiede bei Rohprotein und Rohfaser sind gering und belaufen sich zwischen den einzelnen Jahren auf 5 g/kg TM und 10 g/kg TM. Die Differenz der Trockenmassegehalte ist zwischen 2015 und 2017 ebenfalls gering, jedoch fällt das Jahr 2014 mit einem deutlich geringeren Gehalt auf. Der Größte Unterschied zwischen zwei untersuchten Jahren tritt bei der Rohasche von 2015 zu 2017 auf. Hier beträgt die Differenz 11 g/kg TM. Dies hat seine Ursache im erhöhten Gehalt von 2017. Die drei Vorjahre weisen nur marginale Unterschiede auf. Insgesamt weist das Jahr 2016 die höchsten Gehalte bei TM, Rohfaser und ADF. Im Jahr 2015 enthielten die analysierten Proben die höchsten Gehalte an Rohprotein, ME und NEL. Gleichzeitig sind die Werte für Rohasche, Rohfaser und ADF im Jahr 2015 am geringsten. Trockenmasse- und Rohproteingehalte sind 2014 am geringsten.

Tabelle 16: Übersicht Ergebnisse einzelner Jahre der Weender-Analyse in g/kg TM bzw. MJ

	2014	2015	2016	2017
Trockenmasse	336	364	365	360
Rohasche	95	92	95	103
Rohprotein	146	151	150	148
Rohfaser	260	254	264	257
ADF	279	266	285	275
ME	9,9	10,0	9,9	9,9
NEL	5,9	6,0	5,9	5,9

5.2.2 Ergebnisse Mengenelemente

Die Veränderungen der Gehalte von Mengenelementen zwischen den untersuchten Jahren werden in der nachfolgenden Tabelle 17 dargestellt. Auffällig ist, dass es erhebliche Unterschiede in der Stärke der Schwankungen der einzelnen Elemente gibt. Die Gehalte an Schwefel, Phosphor und Mangan fluktuieren in einem kleinen Bereich von 0,1 g/kg TM. Der

Unterschied im Mengenanteil von Calcium beträgt von 2014 bis 2016 ebenfalls nur 0,1 g/kg TM, während das Jahr 2017 mit 6,4 g/kg TM einen leicht erhöhten Gehalt aufweist. Der Kaliumgehalt ist insgesamt der Größte und schwankt zwischen den Jahren um bis zu 1,5 g/kg TM. Den insgesamt niedrigsten Mengenelementanteil weist Natrium auf. Während sein Gehalt 2014 etwas niedriger liegt, bleibt er von 2015 bis 2017 stabil. Die maximale Schwankung bei Chlor liegt mit 1,5 g/kg TM auf dem Niveau von Kalium, allerdings beträgt sein Gehalt nur etwa ein Drittel des Kaliums. Das Jahr 2017 weist bei den Elementen Calcium, Magnesium, Kalium und Chlor die höchsten Werte auf. 2014 ist das Jahr der niedrigsten Elementkonzentrationen für Calcium, Natrium und Chlor. Zudem ist zu beobachten, dass die Gehalte von Calcium und Chlor insgesamt stiegen oder stagnierten, aber nie sanken.

Tabelle 17: Übersicht Ergebnisse der Mengenelemente in den einzelnen Jahren in g/kg TM

	2014	2015	2016	2017
Ca	6,0	6,1	6,1	6,4
P	3,3	3,2	3,3	3,2
Mg	2,2	2,2	2,2	2,3
K	22,8	21,8	22,7	23,3
Na	1,2	1,5	1,5	1,5
Cl	6,8	7,8	7,8	8,3
S	2,6	2,5	2,5	2,5

5.2.3 Ergebnisse Spurenelemente

Die Veränderungen der Spurenelementgehalte in den untersuchten Jahren werden im Folgenden thematisiert. Der Kupfergehalt ist insgesamt der niedrigste aller Spurenelemente und bewegt sich in den einzelnen Jahren um 9,0 mg/kg TM. Besonders auffällig ist der Abfall vom Jahr 2016 zum Jahr 2017 um 1,6 mg/kg TM. Die Menge an Mangan in den Proben nimmt von Jahr zu Jahr zu, insgesamt um über 20 mg/kg TM. Der Zinkgehalt weist keine großen Unterschiede auf, er schwankt um einen Mittelwert von 40 mg/kg TM. Den mit Abstand größten Anteil aller Spurenelemente hat Eisen. Seine Konzentration nimmt von Jahr zu Jahr zu, insgesamt um etwa 180 mg/kg TM. Der Selengehalt unterliegt starken Schwankungen. Er halbiert sich von 2015 zu 2016, verdoppelt sich jedoch zum Jahr 2017 wieder. Für 2014 liegen keine Selenwerte vor. Während das Jahr 2017 die höchsten Werte für Mangan und Eisen

enthält, sind die Werte für Kupfer und Selen in diesem Jahr am niedrigsten. Zugleich ist im Jahr 2014 der Zinkgehalt der höchste aller Jahre, während der Wert für Eisen und Mangan 2017 am höchsten ist. 2016 ist die Kupferkonzentration am höchsten und Zink weist die niedrigste Konzentration aller Jahre auf. Im Jahr 2014 wurden keine Selengehalt ermittelt. Die Selenkonzentration ist im Jahr 2016 um die Hälfte eingebrochen, hat sich jedoch im folgenden Jahr wieder nahezu auf den Wert von 2015 erhöht.

Tabelle 18: Ergebnisse der Spurenelemente der einzelnen Jahre in mg/kg TM

	2014	2015	2016	2017
Fe	465,9	504,5	624,6	644,7
Cu	9,3	9,0	9,7	8,1
Zn	44,4	40,7	37,1	38,7
Mn	96,8	101,6	115,9	117,3
Se	-	0,48	0,22	0,44

5.3 Mineralstoffversorgung in Abhängigkeit vom Rohfasergehalt

5.3.1 Mineralstoffgehalt auf intensiven Weiden

Tabelle 19 stellt dar, dass die mittlere aufgenommene Menge bei allen Mengenelementen ausreicht, um den Tagesbedarf zu decken. Bei Phosphor und Natrium sind die Differenzen am geringsten.

Tabelle 19: Mengenelementversorgung bei $x_F \leq 240$ g/kg TM

	n	MW	Min (g/kg TM)	Max (g/kg TM)	Futteraufnahme Mineralstoffe (g/d) ¹⁾	Tagesbedarf Mineralstoffe (g) ²⁾
Ca	2.646	6,15	1,60	21,93	86	68
P	2.646	3,41	1,06	30,56	48	43
Mg	2.378	2,25	0,78	25,52	31	23
K	2.405	24,33	4,00	132,27	341	159
Na	2.396	1,49	0,02	8,93	21	19
Cl	1.386	7,54	0,20	53,80	106	43
S	1.022	2,54	1,00	8,93	36	29

1) bei 14 kg TM Futteraufnahme, säugend

2) bei 15 kg Milch

Die Versorgung mit den Spurenelementen Kupfer und Zink reicht bei einer intensiven Weidenutzung nicht zur Bedarfsdeckung aus. Es mangelt im Durchschnitt an 15 mg Kupfer und 133 mg Zink je kg TM. Die Aufnahmen von Mangan und Eisen übersteigt den Tagesbedarf um das Doppelte bzw. Vierzehnfache. Die Futteraufnahme von Selen liegt mit 5 mg/d 2,2 mg über dem Tagesbedarf.

Tabelle 20: Spurenelementversorgung bei $x_F \leq 240$ g/kg TM

	n	MW	Min (mg/kg TM)	Max (mg/kg TM)	Futteraufnahme Mineralstoffe (mg/d) ¹⁾	Tagesbedarf Mineralstoffe (mg) ²⁾
Cu	317	8,90	3,39	33,40	125	140
Mn	312	110,19	8,00	468,47	1.543	700
Zn	313	40,48	17,41	114,82	567	700
Fe	215	724,97	63,00	3.618,55	10.150	700
Se	24	0,32	0,01	3,60	5	2,8

1) bei 14 kg TM Futteraufnahme, säugend

2) bei 14 kg TM Futteraufnahme

5.3.2 Mineralstoffgehalt auf semi-intensiven Weiden

In Tabelle 21 ist zu erkennen, dass bei höherem Rohfasergehalt die Futterraufnahmen der Mengenelemente Phosphor und Natrium nicht mehr den Tagesbedarf decken. Das Defizit beträgt 4 g bzw. 1 g. Die mittleren Aufnahmen von Calcium, Magnesium und Schwefel reichen für die Bedarfsdeckung aus, die Toleranz ist mit 7 g bzw. 5 g und 2 g geringer als bei einem niedrigeren Rohfasergehalt (vgl. Tabelle 19). Die Elemente Kalium und Chlor decken den Tagesbedarf völlig.

Tabelle 21: Mengenelementversorgung bei xF 241 - 280 g/kg TM

	n	MW	Min (g/kg TM)	Max (g/kg TM)	Futterraufnahme Mineralstoffe (g/d) ¹⁾	Tagesbedarf Mineralstoffe (g) ²⁾
Ca	5.772	6,25	1,75	22,11	75	68
P	5.769	3,29	0,63	12,88	39	43
Mg	5.205	2,30	0,60	9,21	28	23
K	5.273	22,44	2,34	61,00	269	159
Na	5.236	1,54	0,02	21,55	18	19
Cl	3.111	8,08	0,18	39,80	97	43
S	2.467	2,58	1,06	22,05	31	29

1) bei 12 kg TM Futterraufnahme, säugend

2) bei 15 kg Milch

Der Mangel der Spurenelemente Kupfer und Zink hat sich, wie in Tabelle 22 ersichtlich, im Vergleich zur Gruppe mit niedrigeren xF-Gehalten (vgl. Tabelle 20) verstärkt. Das Defizit bei Kupfer beträgt nun 37 mg. Das Zinkdefizit hat sich ebenfalls erhöht, es beträgt 218 mg. Der Bedarf an Mangan und Selen wird im Mittel um das Doppelte übertroffen, Eisen um das Zehnfache.

Tabelle 22: Spurenelementversorgung bei xF 241 - 280 g/kg TM

	n	MW	Min (mg/kg TM)	Max (mg/kg TM)	Futteraufnahme Mineralstoffe (mg/d) ¹⁾	Tagesbedarf Mineralstoffe (mg) ²⁾
Cu	742	8,59	1,80	29,79	103	140
Mn	728	109,03	3,78	663,00	1.308	700
Zn	730	40,13	11,00	170,36	482	700
Fe	538	580,98	65,00	2.858,00	6.972	700
Se	85	0,41	0,00	3,76	5	2,8

1) bei 12 kg TM Futteraufnahme, säugend

2) bei 14 kg TM Futteraufnahme

5.3.3 Mineralstoffversorgung auf extensiven Weiden

Tabelle 23 zeigt auf, dass bei Rohfasergehalten über 280 g/kg TM die Futtermittelaufnahme der Elemente Calcium, Phosphor, Magnesium, Natrium und Schwefel den Tagesbedarf nicht mehr decken. Die größte Differenz in absoluten Zahlen tritt bei Phosphor mit einem Defizit von 12 g auf. Das größte relative Defizit gibt es bei Natrium. Die Elemente Kalium und Chlor decken ihren Bedarf deutlich.

Tabelle 23: Mengenelementversorgung bei xF \geq 281 g/kg TM

	n	MW	Min (g/kg TM)	Max (g/kg TM)	Futtermittelaufnahme Mineralstoffe (g/d) ¹⁾	Tagesbedarf Mineralstoffe (g) ²⁾
Ca	2218	6,00	0,05	20,77	60	68
P	2218	3,08	0,82	9,54	31	43
Mg	2010	2,09	0,43	4,83	21	23
K	2039	21,54	5,03	48,00	215	159
Na	2028	1,22	0,00	22,21	12	19
Cl	1192	7,99	0,50	34,30	80	43
S	971	2,40	0,70	5,50	24	29

1) bei 10 kg TM Futtermittelaufnahme, säugend

2) bei 15 kg Milch

In Tabelle 24 wird deutlich, dass sich die Defizite der Elemente Kupfer und Zink im Vergleich zu Tabelle 22 weiter vergrößert haben. Die Differenzen zwischen Futtermittelaufnahme und Tagesbedarf liegen zwischen 56 mg/kg TM bzw. 320 mg/kg TM. Die Überschreitung des Tagesbedarfs durch die Futtermittelaufnahme beträgt bei Mangan und Selen weiterhin das Doppelte sowie bei Eisen etwa das Achtfache.

Tabelle 24: Spurenelementversorgung bei $x_F \geq 281$ g/kg TM

	n	MW	Min (mg/kg TM)	Max (mg/kg TM)	Futteraufnahme Mineralstoffe (mg/d) ¹⁾	Tagesbedarf Mineralstoffe (mg) ²⁾
Cu	240	8,40	2,60	19,70	84	140
Mn	239	116,63	4,83	411,97	1166	700
Zn	239	37,98	13,00	173,50	380	700
Fe	164	553,14	86,37	2938,00	5531	700
Se	42	0,43	0,00	3,30	4	2,8

1) bei 10 kg TM Futteraufnahme, säugend

2) bei 14 kg TM Futteraufnahme

6 Diskussion

6.1 Weender-Analyse

Die durchschnittliche Trockenmasse aller 13.000 untersuchten extensiven Grassilagen liegt bei 354 ± 77 g/kg TM. Die Empfehlung für einen 2. Schnitt liegt im Bereich zwischen 300 und 400 g/kg TM. So kann im Allgemeinen von einer idealen Trockenmasse ausgegangen werden. Die Durchschnitte der einzelnen Jahre weisen zwar eine gewisse Schwankung auf, aber auch diese liegen mit 336 g/kg TM im Minimum und 365 g/kg TM im Maximum weit von den angeratenen Grenzwerten entfernt. Tabelle 11 zeigt, dass die Mittelwerte nicht sehr aussagekräftig sind. Je ein Viertel aller Trockenmassen liegt unter bzw. über dem empfohlenen Bereich. Die niedrigste aller Trockenmassen liegt bei 208 g/kg TM und damit weit unterhalb der Empfehlung während die höchste Trockenmasse 578 g/kg TM erreicht. Diese Werte deuten darauf hin, dass eine termingerechte Mahd für die angestrebte Konservierung nicht immer möglich ist. Des Weiteren können unzureichende bzw. zu lange Trocknungszeiten Ursache dafür sein. (JEROCH et al., 2008) Da etwa die Hälfte aller Silagen betroffen ist, können so erhebliche Qualitätsmängel bei der Konservierung auftreten.

Der Rohaschegehalt der geprüften Proben liegt im Mittel bei 95 ± 19 g/kg TM. Auch in den einzelnen Jahren befindet sich der Mittelwert auf diesem Niveau. Jedoch wird im Jahr 2017 der Grenzwert von 100 g/kg TM mit einem Mittelwert von 103 g/kg TM überschritten. Höchstwerte von 160 g/kg TM deuten bereits an, was die Ergebnisse in Tabelle 11 zeigen: ca. 35 % aller Proben weisen einen Rohaschegehalt über dem anzustrebenden Wert auf. Obwohl die botanische Zusammensetzung auf extensiven Weiden mehr Leguminosen und vor allem Kräuter aufweist, welche einen höheren Mineralstoffanteil haben (TERÖRDE, 1997), ist ein so hoher Rohaschegehalt auf Grund dessen nicht nachzuvollziehen. Nach JEROCH et al. (2008) weisen solche erhöhten Werte auf eine unsachgemäße Ernte oder Lagerung hin.

Weniger problematisch stellen sich die Gehalte von Rohprotein und Rohfaser dar. Die Mittelwerte beider Parameter liegen zentral im Empfehlungsbereich. Zudem zeigen die Mittelwerte der einzelnen Jahre, dass die Parameter stabil auf einem Niveau bleiben. Mit 78 % bzw. 86 % liegt der Großteil aller Werte innerhalb des empfohlenen Bereichs. Jedoch zeigen die Minima und Maxima, welche jeweils 20 g unter bzw. über den Grenzwerten liegen, dass auch hier Defizite bei der Ernte oder der Ermittlung des passenden Schnittzeitpunktes auftreten. Da sich die Durchschnittswerte der Rohfasergehalte um 260 g/kg TM bewegen und damit über dem Empfehlungsbereich für den ersten Schnitt liegen, welcher sich bei 220 – 250 g/kg TM befindet, ist zu erkennen, dass die extensiv erwirtschafteten Grassilagen zu einem späteren Entwicklungszeitpunkt geschnitten werden. In dieser Arbeit kann auf Grund

unvollständiger Daten keine Einschätzung über den Einfluss der Schnitthäufigkeit bzw. -anzahl auf die verschiedenen Parameter gegeben werden.

Die Säure-Detergenzien-Faser (ADF), welche den schwer verdaulichen Anteil der Faser ausmacht, liegt im Mittel bei 278 ± 32 g/kg TM. Im Durchschnitt der einzelnen Jahre ergeben sich nur geringe Schwankungen von 19 g/kg TM. Auffällig sind die Extremwerte, welche über 50 g/kg TM von den jeweiligen Grenzwerten abweichen. Hier spielen vor allen die Extremwerte, die über dem Grenzwert von 300 g/kg TM liegen eine Rolle, da diese 25 % aller Proben umfassen. Dies ist ins besondere dahingehend von Bedeutung, da mit zunehmendem ADF die Verdaulichkeit des Faseranteils sinkt.

Der metabolische Energiegehalt einer Grassilage sollte mindestens 10 MJ ab dem zweiten Schnitt betragen. Da eine Differenzierung nach der Schnittanzahl anhand der Daten nicht möglich war, wurden alle Schnitte erfasst. Somit ist der Anteil des zweiten Schnitts und aller Folgenden wesentlich höher, als der Anteil des ersten Schnitts. Analog verhält es sich mit der Netto-Energie-Laktation. Der Zielwert liegt hier bei $\geq 6,0$ MJ NEL. Die Mittelwerte beider Energieparameter liegen mit 9,9 MJ ME bzw. 5,9 MJ NEL knapp unterhalb der empfohlenen Mindestenergiegehalte. Diese Werte sind in allen untersuchten Jahren äußerst stabil. Im Jahr 2015 erreichten beide Energieparameter im Durchschnitt sogar ihren angeratenen Wert. Insgesamt erreichten jedoch nicht einmal die Hälfte aller Proben den Mindestgehalt. Somit ist bei der Hälfte der Tiere von einem wenn auch zum Teil nur geringen Energiemangel auszugehen.

6.2 Mengenelemente

Calcium ist der häufigste Mineralstoff im Körper. Seine Bedeutung für die Tierernährung werden dahingehend deutlich, da es mit über 10.500 analysierten Proben das am häufigsten untersuchte Element ist. Die Untersuchungen der extensiven Grassilagen ergaben einen mittleren Gehalt von $6,01 \pm 1,76$ g/kg TM. Damit liegt der Mittelwert 1,5 g/kg über dem Bedarf von 4,5 g/kg TM bei einer Milchleistung von 15 kg. (GRUBER-TABELLE, 2017) Über mehrere Jahre ist der Wert recht stabil, nur das Jahr 2017 weist mit 6,4 g/kg TM einen leicht höheren Durchschnittswert auf. Das Minimum von 2,93 g/kg TM zeigt, dass es in einigen Fällen zu einem zu Teil deutlichen Mangel kommen kann. Jedoch liegen 81,20 % aller Calciumwerte über der Empfehlung, weshalb es wohl nur in Einzelfällen zu einem langfristigen und damit ernsthaften Mangel kommen würde. Eine größere Bedeutung kann ein Calciumüberschuss darstellen. Darauf lässt das hohe Maximum von 12,23 g/kg TM schließen, welcher damit das Doppelte des Durchschnittswertes und annähernd das Dreifache der Empfehlung erreicht.

Neben Calcium ist Phosphor der wichtigste und am häufigsten untersuchte Mineralstoff aller Futtermittelproben. Die ebenfalls über 10.500 analysierten Proben ergaben einen Mittelwert von $3,25 \pm 0,51$ g/kg TM. Dieser Wert erweist sich im untersuchten Zeitraum als sehr stabil, schwankt er doch nur zwischen 3,2 und 3,3 g/kg TM. Die Empfehlung für 15 kg Milchleistung liegt bei 2,8 g/kg TM. (GRUBER-TABELLE, 2017) Dieser angeratene Wert wird von 79,18 % aller Probenergebnisse mindestens erreicht. Sowohl die geringe Standardabweichung als auch die Extremwerte lassen nicht auf einen erheblichen Mangel oder einen Überschuss schließen.

Ein im Untersuchungszeitraum ebenfalls sehr beständig vorkommender Mineralstoff ist das Magnesium. Der Mittelwert beträgt $2,20 \pm 0,55$ g/kg TM. Damit wird die Empfehlung vom 1,5 g/kg TM zu annähernd 50 % übertroffen. Mit 90,48 % aller Werte über dem Empfehlungswert ist die Wahrscheinlichkeit, dass ein ganzjähriger Magnesiummangel austritt eher gering. Da das Minimum mit 1,1 g/kg unterhalb des Zielwerts liegt, ist ein Mangel zumindest möglich. Ein Magnesiummangel tritt vor allem bei jungem Weidegras auf. Der erste Schnitt für die Konservierung erfolgt jedoch erst in einem späteren Wachstumsstadium. Somit kann mit der Untersuchung der Konservate keine Auskunft über ein mögliches Auftreten eines Magnesiummangels Auskunft geben. Eine Supplementierung mit Magnesium, vor allem zu Beginn der Weideperiode, ist deshalb weiterhin angeraten.

Kalium ist mit durchschnittlich $22,63 \pm 5,00$ g/kg TM das in den untersuchten Grassilageproben mengenmäßig am häufigsten vorkommende Element. Innerhalb der untersuchten Jahre ist nur eine sehr geringe Schwankung der Durchschnitte festzustellen. Auffällig ist, dass der ermittelte Durchschnitt den Empfehlungswert von 10 g/kg TM um mehr als das doppelte übersteigt. Selbst das Minimum von 9,94 g/kg TM liegt nur knapp unter diesem Wert. Dass ein Kaliummangel keine Rolle spielt, wird zudem dadurch verdeutlicht, dass 99,75 % aller Werte die Empfehlung überschreiten. Bei Kalium ist vielmehr ein Überschuss von Bedeutung, was der Maximalwert von 36,04 g/kg TM und damit mehr als das 3,5-fache der Empfehlung bezeugt. Da das einwertige Kaliumkation ein antagonistisches Verhältnis zum zweiwertigen Magnesiumkation darstellt, kann es bei einem Überschuss an Kalium die Magnesiumaufnahme beeinträchtigen, womit es eine Weidetetanie begünstigen kann.

Mit über 9.600 analysierten Proben wurde Natrium in etwa genauso häufig untersucht wie Magnesium und Kalium. Dabei wurde mit einem Mittelwert von $1,34 \pm 1,04$ g/kg TM der geringste Wert aller Mengenelemente festgestellt. Dieser Wert liegt damit nur knapp über der Empfehlung von 1,3 g/kg TM bei 15 kg Milchleistung. (GRUBER-TABELLE, 2017) Im Untersuchungszeitraum ist der Natriumgehalt recht stabil, er liegt von 2015 bis 2017 bei 1,5 g/kg TM. Nur im Jahr 2014 ist der Gehalt mit 1,2 g/kg TM etwas geringer. Dass die Versorgung mit Natrium ein Problem darstellen kann, zeigt Tabelle 13. Nur 41,46 % aller Proben erreichen mindestens den Zielwert. Zudem zeigt das Minimum mit 0,08 g/kg TM, dass es Proben gibt, in

denen nahezu kein Natrium enthalten ist. Dieser mangelhaften Versorgung über das Grobfuttermittel ist zwingend mit einer Supplementierung entgegen zu wirken. Dass es auch zu hohen Überschüssen kommen kann, zeigt der Maximalwert, welcher mit 4,8 g/kg TM mehr als das 3,5-fache der Empfehlung beträgt. Da Kalium als ebenfalls einwertiges Kation die Aufnahme von Natrium beeinträchtigen kann, wirkt sich ein hoher Kaliumgehalt im Futtermittel zusätzlich negativ aus.

Eine weniger bedeutende Rolle unter den Mineralstoffen, wenn es um die Häufigkeit der Analyse geht, nimmt Chlor ein. Mit über 5.600 untersuchten Proben wurde der Gehalt nur etwa halb so oft ermittelt wie der von Calcium oder Phosphor. Gründe dafür können ein geringeres Interesse der Mutterkuhhalter an diesem Element sein, da ein Mangel nach Literaturangaben (KIRCHGESSNER, 2004) sehr unwahrscheinlich ist, zum anderen bieten die landwirtschaftlichen Untersuchungsanstalten eine Mengenbestimmung der Elemente Chlor und Schwefel zum Teil nur im Zuge einer DCAB-Bestimmung an, welche für Mutterkuhhalter eine eher untergeordnete Stellung einnimmt. Der durch diese Untersuchung ermittelte Durchschnittsgehalt von Chlor in extensiven Grassilagen beträgt $7,62 \pm 4,12$ g/kg TM. Dieser Wert schwankt zwischen den einzelnen Jahren in geringem Maß. 2014 betrug der Mittelwert 6,8 g/kg TM, während er 2017 8,3 g/kg TM erreichte. Alle Werte liegen um ein Vielfaches über der Empfehlung von 2,8 g/kg TM. Dass 90,86 % aller Proben den Zielwert überschreiten, bestätigt die Behauptung der Literatur, wonach ein Mangel unter Normalbedingungen nicht auftritt. Ein Problem kann in einigen Fällen ein Chloridüberschuss darstellen. Das Maximum aller Proben beträgt 19,60 g/kg TM und liegt damit um das Siebenfache über dem Empfehlungswert. Durch ein Überangebot an Chloridionen kann es zu einem Anionenüberschuss kommen, welcher eine verstärkte Aufnahme von Natrium und Kalium zur Folge hat. (KIRCHGESSNER, 2004)

Mit nur 4.400 untersuchten Proben ist der Schwefelgehalt am seltensten ermittelt wurden. Die Gründe dafür wurden bereits bei Chlor erläutert. Insgesamt beträgt der Schwefelgehalt $2,48 \pm 0,57$ g/kg TM. Über den gesamten untersuchten Zeitraum bleibt der Durchschnittsgehalt auf diesem Niveau und erweist sich somit als sehr stabil. Der Zielwert von 2,0 g/kg TM bei 15 kg Milchleistung (GRUBER-TABELLE, 2017) wird von 77,98 % aller Proben erreicht. Dies und der Minimalwert von 1,4 g/kg TM zeigen, dass Mängel auftreten können, jedoch mengenmäßig nicht gravierend sind. Von entscheidender Bedeutung ist, dass Schwefel vor allem in den beiden essenziellen Aminosäuren Cystein und Methionin vorkommt, weshalb schon eine geringe Unterversorgung zu Leistungsdepressionen führen kann. Daher ist auf eine ausreichende Schwefelsupplementierung zu achten, wenn eine Versorgung über die Proteinzufuhr als unzureichend erachtet wird.

6.3 Spurenelemente

Alle Spurenelemente wurden insgesamt seltener untersucht als Mengenelemente. Mit fast 1.300 Probenergebnisse sind Kupfer, Mangan und Zink am häufigsten bestimmt worden. Es folgt Eisen mit 919 Ergebnissen. Der Selengehalt wurde sogar nur in 159 Proben ermittelt. Diverse weitere Spurenelemente wie Molybdän, Cobalt und Jod wurde ebenfalls bei einigen Proben bestimmt. Insgesamt kamen jedoch nicht mehr als 30 verwendbare Ergebnisse in allen vier Jahren zusammen, weshalb diese nicht als repräsentativ gelten und daher nicht verwendet werden.

Das mengenmäßig häufigste in Grassilagen vorkommende Spurenelement ist Eisen. Es weist in den analysierten Silageproben einen mittleren Gehalt von $579,70 \pm 376,82$ mg/kg TM auf. Im Zeitraum von 2014 bis 2017 treten erhebliche Unterschiede bei den jährlichen Durchschnitten auf. Auffällig ist außerdem, dass der Durchschnittswert von Jahr zu Jahr zunimmt. Empfohlen werden 50 mg/kg TM. Dieser Grenzwert wird von allen Proben überschritten. Ein Eisenmangel ist daher auszuschließen. Dass der Mittelwert das Elffache, der Maximalwert sogar das 42-fache der Empfehlung beträgt, macht Eisen zu einem erheblichen Problem, insbesondere auf Grund seiner antagonistischen Wirkung auf die Spurenelemente Kupfer, Mangan und Zink, sowie auf Phosphor. Zudem existieren gesetzliche Höchstgehalt für Spurenelemente. Bei Eisen liegt der Höchstwert bei 750 mg/kg TM. Etwa 25 % aller Probenergebnisse weisen einen Eisengehalt jenseits dieser Grenze auf. Damit verstoßen die betroffenen Mutterkuhhalter gegen die EU-Verordnung 1831/2003. Vor diesem Hintergrund ist die Ergänzung eines Mineralfutters mit Eisen kontraproduktiv zu bewerten.

Der durchschnittliche Kupfergehalt aller Grassilageproben beträgt $8,49 \pm 2,09$ mg/kg TM. Im untersuchten Zeitraum schwankte der Durchschnittsmenge zwischen 8,1 und 9,7 mg/kg TM. Dabei ist zu beobachten, dass der mittlere Gehalt in Jahr 2016 von 9,7 mg/kg TM auf 8,1 mg/kg TM im darauffolgenden Jahr 2017 absinkt. Der Zielwert pro kg TM beträgt 10 mg. Dieser Wert wird nur in 22,69 % der Proben erreicht. Ein Kupfermangel ist ohne Supplementierung die Folge. Bei gleichzeitig hohen Mengen Eisen, Calcium und Schwefel ist mit einem Sekundärmangel zu rechnen. Dieser Aspekt wird dadurch gestützt, dass das Jahr mit dem höchsten Eisengehalt in der Grassilage auch das Jahr mit dem niedrigsten Kupfergehalt ist. Der vorgeschriebene Höchstgehalt von Kupfer beträgt 35 mg/kg TM. Dieser Wert wird in keiner Probe erreicht. Grundsätzlich ist ein Kupferzusatz im Mineralfutter zu empfehlen. Dabei sollte die Kupferverfügbarkeit im Boden hinzugezogen werden, da der Kupfergehalt der Pflanze vom Boden abhängt. (KIRCHGESSNER, 2004)

Zink weist bei den analysierten Proben einen Mittelwert von $38,63 \pm 10,30$ mg/kg TM auf. Zwischen den betrachteten Jahren 2014 und 2017 sind nur geringe Schwankungen der

Mittelwerte aufgetreten. Die Empfehlung bei einer Milchleistung von 15 kg liegt bei 50 mg/kg TM. (GRUBER-TABELLE, 2017) Dieser Wert wird nur von 12,67 % aller Ergebnisse erreicht, wodurch Zink das Element mit der geringsten Bedarfsdeckung ist. Hierbei werden die Hinweise in Literatur von KIRCHGESSNER (2004) und JEROCH et al. (2008) bestätigt, dass auch dieses Grundfuttermittel arm an Zink ist. Eine Ergänzung durch ein Mineralfutter ist somit unerlässlich.

Das zweithäufigste Spurenelement nach Eisen ist Mangan. Es kommt im Mittel mit $107,44 \pm 48,28$ mg/kg TM in den untersuchten Grassilagen vor. Dieser im Vergleich zu den anderen Spurenelementen höhere Wert bestätigt Literaturangaben von JEROCH et al. (2008), wonach Grasaufwuchs die wichtigste Manganquelle darstellt. Die Mittel der einzelnen Jahre weichen vom ermittelten Gesamtdurchschnitt um 10 mg/kg TM ab. Auffällig dabei ist, dass der mittlere Mangangehalt in jedem Jahr leicht zunimmt. Alle Mittelwerte liegen deutlich über der Empfehlung von 50 mg/kg TM. Der Maximalwert von 265,00 mg/kg TM beträgt mehr als das Fünffache dieser Empfehlung, insgesamt 89,58 % aller Manganwerte liegen darüber. Für Mangan existiert ebenfalls ein Höchstgehalt, welcher 150 mg/kg TM in Alleinfuttermitteln beträgt. Diese Grenze wird von 18 % aller Werte überschritten. Eine Gefahr durch einen Überschuss besteht nach Literaturangaben nicht, da die Homöostase die Aufnahme begrenzen und die Exkretion beschleunigen kann. (KIRCHGESSNER, 2004) Die Manganversorgung ist nur in wenigen Fällen als unzureichend anzusehen, dadurch ist eine zusätzliche Supplementierung nur betriebsspezifisch notwendig.

Die Bestimmung des Spurenelements Selen spielt erst seit einigen Jahren eine Rolle, da man ihm lange Zeit nur eine toxische Wirkung zuschrieb. Erst seit einigen Jahren wird Selen explizit in extensiven Anweilksilagen bestimmt. Darauf weist zum einen die geringe Gesamtanzahl von 159 der auf Selen untersuchten Proben, zum anderen die steigende Zahl der Ermittlungen von Jahr zu Jahr hin. Während 2014 bei keiner Probe die Menge an Selen bestimmt wurde, waren es 2017 schon 113 Proben. Hierbei ist zu beachten, dass 2015 nur 10 Proben auf Selen untersucht wurden, wodurch die hieraus abgeleiteten Werte nicht als repräsentativ angesehen werden dürfen. Aus allen Proben ergibt sich ein Mittelwert von $0,34 \pm 0,59$ mg/kg TM. Dieser unterliegt von 2015 bis 2017 einer Schwankung von ca. 0,1 mg/kg TM. Alle Durchschnittswerte und mehr als Drittel aller Selenwerte liegen über der Empfehlung von 0,2 mg/kg TM. Die gesetzlich vorgeschriebene Höchstmenge beträgt lediglich 0,5 mg/kg TM. Dieser Grenzwert wird von 16 % der Ergebnisse überschritten. Die Ursache dafür sind einige extrem hohe Inhaltsmengen, die mit dem Maximalwert von 3,0 mg/kg TM das 15-fache des Zielwertes erreichen. Langfristig können sich durch eine überhöhte Selenzufuhr Probleme ergeben, auch wenn toxische Erscheinung bei Wiederkäuern erst bei 4 bis 5 mg/kg TM auftreten. (JEROCH et al., 2008) Um Probleme zu vermeiden sollten die Aufwüchse stets auf den Selengehalt

untersucht werden. Eine Supplementierung auf Flächen mit Selenmangel ist weiterhin unersetzlich.

6.4 Applikationsmöglichkeiten

Die Möglichkeiten der Applikation von Mineralstoffen sind vielfältig. Jede Methode besitzt ihre Vor- und Nachteile, welche betriebsspezifisch wirksam werden. Aus den ermittelten Ergebnissen kann keine universal verwendbare Zusammensetzung eines Mineralfutters für Mutterkühe auf Weiden im ostdeutschen Raum erstellt werden. Dennoch lässt sich aus ihnen ableiten, auf welche Mineralstoffe wertgelegt werden sollte. Neben dem Mengenelement Natrium sind vor allem die Spurenelemente Kupfer, Zink und Selen unabdingbar. Die Ergebnisse decken sich mit den Angaben von Hampel (2014), bezüglich des Natriums, und den Erkenntnissen von HOCHBERG (2013) bezüglich der drei Spurenelemente. In einigen Fällen ist auf die Calcium- und Phosphorgehalte zu achten. Auch wenn der Magnesiumgehalt in den meisten Proben ausreichend ist, sollte eine Ergänzung zur Vermeidung von Mangelsituationen bei Weidebeginn bzw. zu jedem neuen Aufwuchs erfolgen. (GOLZE, 1997; WEIß, 2011) Auf eine Supplementierung mit Kalium kann im Allgemeinen verzichtet werden. Der Eisengehalt stellt in vielen beprobten Silagen auf Grund der zum Teil extrem hohen Werte ein Problem dar, weshalb eine Ergänzung nicht sinnvoll ist. Da die wenigsten Mineralfuttermischungen eisenhaltige Verbindungen aufweisen, wird das Problem durch diese nicht intensiviert.

6.5 Mineralstoffversorgung in Abhängigkeit vom Rohfasergehalt

Auf intensiv bewirtschafteten Weiden werden im Durchschnitt keine Mangelsituationen durch Mengenelemente hervorgerufen. Die Richtwerte der Elemente Phosphor und Natrium werden jedoch nur in geringem Maße erfüllt. (vgl. Diagramm 1) Die Supplementierung von Spurenelementen ist bereits bei einer intensiven Bewirtschaftung notwendig. Das betrifft insbesondere die Elemente Kupfer und Zink. Hier liegt der durchschnittliche Versorgungsgrad bei 89 % bzw. 81 %.

Da es standortspezifische Differenzen der Mineralstoffgehalte geben kann, ist es ratsam, nicht nur die bereits mangelnden Elemente zu supplementieren, sondern auch diejenigen Elemente, deren Empfehlungen nur geringfügig überschritten werden.

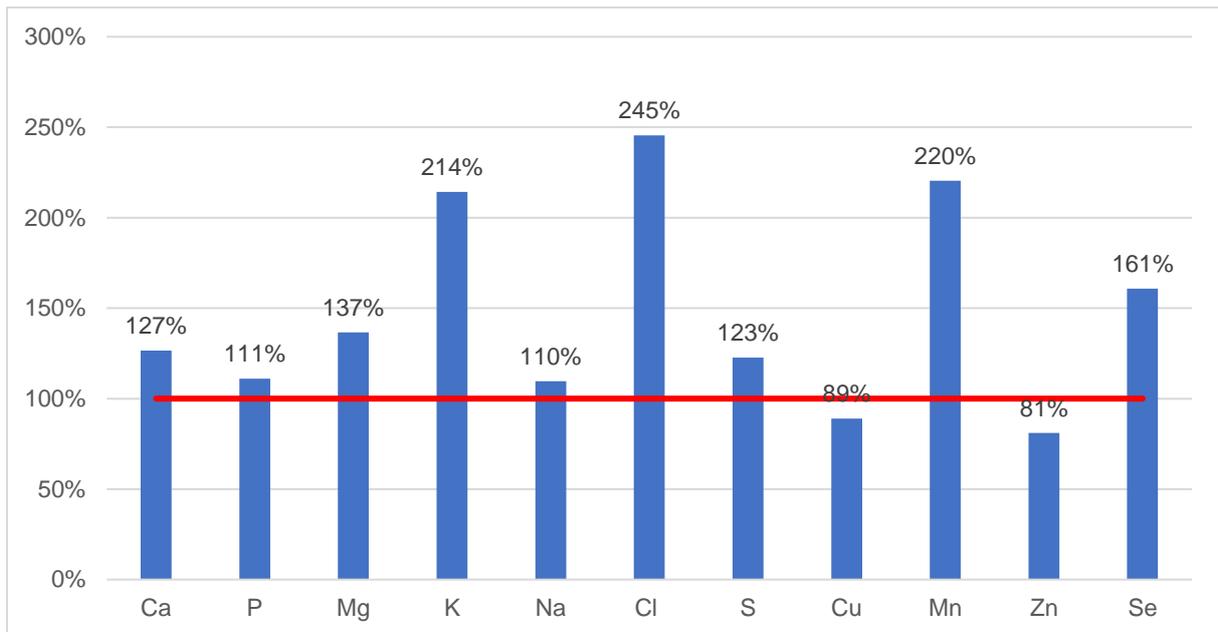


Abbildung 1: Mineralstoffversorgung bei $x_F < 240$ g/kg TM

Die im Bereich der intensiven Bewirtschaftung bereits angedeutete knapp ausreichende Versorgung mit Phosphor und Natrium, ist bei den Durchschnittswerten der semi-intensiven Bewirtschaftung unterhalb der Empfehlungswerte gefallen. Auch wenn diese Werte mit 92 % bzw. 97 % nur einen geringen Mangel erkennen lassen, ist die Tendenz sinkender Mineralstoffgehalte deutlich zu erkennen. (vgl. Diagramm 2) Ebenfalls ersichtlich ist die fallende Tendenz der Elemente Calcium und Schwefel, dessen Versorgungsgrad nur 10 % bzw. 7 % über den Richtwerten liegen. Eine präventive Supplementierung ist somit nicht nur auf Mangelstandorten zu empfehlen. Die Versorgungslücke der Spurelemente Kupfer und Zink hat sich vergrößert. Auf eine Supplementierung ist hier mit zunehmender Notwendigkeit zu achten.

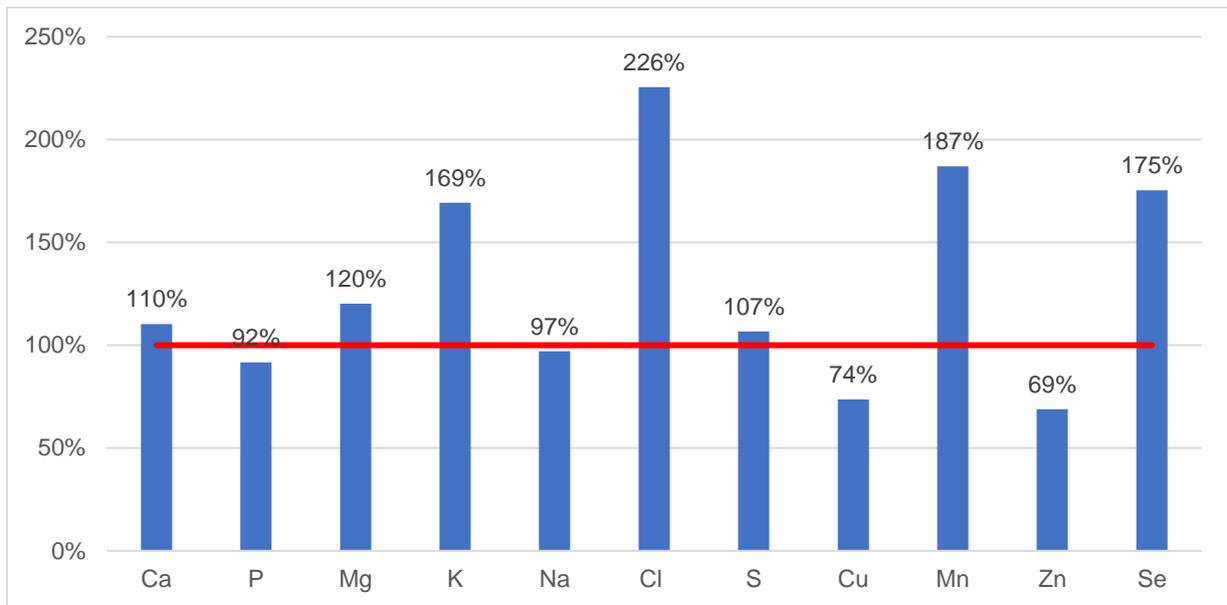


Abbildung 2: Mineralstoffversorgung bei xF 240 - 280 g/kg TM

Auf extensiven Weideflächen ergeben sich im Mittel mehrheitlich Mangelsituationen unterschiedlicher Ausprägung. Die Defizite der Elemente Phosphor und Natrium haben deutlich zugenommen. Zudem sind die Werte für Calcium, Magnesium und Schwefel ebenfalls unter die Empfehlungsmenge gefallen. Eine Supplementierung ist daher auch hier erforderlich geworden. Die Situation bei den Spurenelementen stellt sich noch schwieriger dar. Die Gehalte an Kupfer und Zink erreichen im Durchschnitt mit 60 % bzw. 54 % nur knapp über die Hälfte der Empfehlungsmenge.

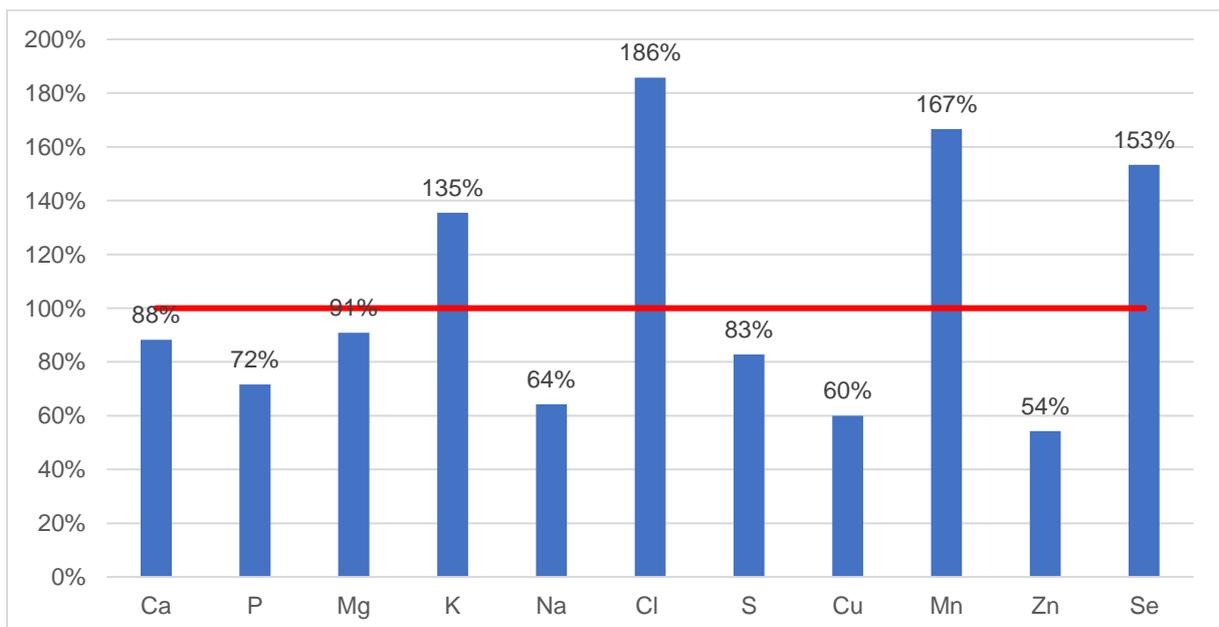


Abbildung 3: Mineralstoffversorgung bei xF > 280 g/kg TM

Insgesamt offenbaren die Ergebnisse zwei Kernaussagen bezüglich der Extensivierung. Einerseits steigen die Defizite an Mineralstoffen bei steigendem Rohfasergehalt mit exponentieller Tendenz an, so dass mit zunehmendem Extensivierungsgrad der Weidefläche eine deutlich höhere Supplementierung erforderlich wird. Andererseits nimmt die Anzahl der defizitären Elemente zu. Das hat zur Folge, dass auf intensiv genutzten Weiden nur die Ergänzung der Spurenelemente Zink und Kupfer unerlässlich sind, während auf extensiven Weiden die Mengenelemente Calcium, Phosphor, Magnesium, Natrium und Schwefel hinzukommen.

Auffällig ist, dass der Selengehalt unabhängig vom Rohfasergehalt immer deutlich über der Versorgungsempfehlung liegt. Die Selenwerte weisen jedoch den Nachteil auf, dass wenige extrem hohe Werte die Durchschnittswerte verzerren, obwohl bereits 2,5 % der höchsten Werte vernachlässigt werden. Damit ist der reale Selengehalt deutlich niedriger anzusetzen. Eine Supplementierung ist damit unabhängig von der Art der Weideführung zu empfehlen.

7 Schlussfolgerungen

Aus den Ergebnissen der vorliegenden Untersuchung können die folgenden Schlussfolgerungen festgehalten werden:

- In der Gesamtbetrachtung entsprechen die Parameter der Weender-Analyse nur in wenigen Fällen den Empfehlungen offizieller Stellen. Der Rohfasergehalt ist mit ca. 85 % im empfohlenen Bereich im Besonderen zu nennen. Auffallend schlecht schneiden die Parameter Trockenmasse und die Energiegehalte in NEL und ME ab, welche zu über 50 % außerhalb des empfohlenen Bereichs liegen.
- In der Gesamtheit erreicht die Versorgung mit Mengenelementen über 80 % der Empfehlung. Nur das Element Natrium ist mit 41 % deutlich im Defizit.
- Die vollständige Betrachtung der Spurenelemente zeigt, dass Kupfer, Zink und Selen einem beträchtlichen Defizit unterliegen. Eisen zeigt zum Teil bedenklich hohe Werte, die in jedem Fall über der Empfehlung liegen.
- Über die betrachteten Jahre zeigen die Parameter der Weender-Analyse und der Mengenelemente nur geringe Schwankungen, während einige Spurenelemente zum Teil starken Differenzen unterliegen. Dies betrifft Eisen, Kupfer, Mangan und Selen.
- Mit steigendem Rohfasergehalt sinkt die Aufnahme von Mineralstoffen durch das Futter. Während bei der als intensiv bezeichneten Variante nur die Elemente Kupfer und Zink zu ergänzen sind, erhöht sich die Anzahl der defizitären Elemente sowie die Höhe des Defizits. Nur die Elemente Kalium, Eisen und Mangan sind stets ausreichend vorhanden.
- Die Durchschnittsergebnisse des Elements Selen sind vorsichtig zu bewerten. Einige extrem hohe Werte verzerren das Bild und lassen die Daten als ausreichend erscheinen. Die große Mehrzahl der Werte ist dagegen auf einem Niveau, welches eine Supplementierung erfordert.

8 Zusammenfassung

Da sich die Mutterkuhhaltung als extensives Produktionsverfahren durch eine Grobfuttermittelsversorgung mittels Beweidung einer Grünlandfläche auszeichnet, ist die Versorgung mit allen essenziellen Mineralstoffen durch den Auswuchs von großer Bedeutung. Auf Grund verschiedener Einflussfaktoren kann es zu Defiziten in der Versorgung kommen. Diese aufzuzeigen ist das Anliegen dieser Untersuchung. Hierzu wurden die Analyseergebnisse für extensive Grassilage aus den Jahren 2014 bis 2017 genutzt, welche von drei landwirtschaftlichen Analyselaboren zur Verfügung gestellt wurden und das gesamte ostdeutsche Bundesgebiet abdecken. Diese Silagen können stellvertretend für Weideaufwüchse in der Mutterkuhhaltung herangezogen werden. Die untersuchten Parameter wurden in die drei Kategorien Weender-Analyse, Mengen-, und Spurenelemente eingeteilt. Es wurden die drei Aspekte Gesamtauswertung aller Jahre, Ergebnisse der einzelnen Jahre und der Einfluss des Rohfasergehalts betrachtet. Allgemein herrscht auf einem Großteil der Weideflächen in Ostdeutschland ein Mangel an Natrium, Kupfer, Zink und Selen. Dagegen weist Eisen in nahezu allen Proben einen bedenklich hohen Wert auf. Die einzelnen Jahre des untersuchten Zeitraums weisen für die Parameter der Weender-Analyse und der Mengenelemente kaum nennenswerte Schwankungen auf. Wohingegen die Spurenelemente Eisen, Kupfer, Mangan und Selen zu Teil erheblich schwanken können. Der Einfluss der Rohfaser auf die Mineralstoffaufnahme sollte in der Praxis beachtet werden. Mit zunehmender Extensivierung der Weidefläche sinkt die Futteraufnahme, womit auch eine geringere Mineralfutteraufnahme verbunden ist. Während auf der intensiveren Variante lediglich Kupfer und Zink zu supplementieren sind, müssen auf extensiven Flächen alle Mengen- und Spurenelemente außer Kalium, Eisen und Mangan ergänzt werden. Für die praktische Umsetzung ist daher der Extensivierungsgrad der eigenen Flächen abzuschätzen und die Mineralstoffsupplementierung anzupassen. Zudem ist zu beachten, dass die benötigte Mineralstoffmenge pro Tier ebenfalls zunimmt. Letztendlich ist jedoch eine individuelle Untersuchung der einzelnen Fläche erforderlich, um die ideale Zusammensetzung des Mineralfutters zu ermitteln.

9 Literaturverzeichnis

BRÄNDLE, S. und KRIEG, K., 2007: Mutterkuhreport Baden-Württemberg 2007. Landesanstalt für Entwicklung der Landwirtschaft und der ländlichen Räume (LEL) und Bildungs- und Wissenszentrum Aulendorf (LVVG) 2007. Download am 12.11.2018.

<https://www.landwirtschaft-bw.info/pb/MLR.LEL-SG,Lru/Startseite/Unsere+Themen/Mutterkuhreport>

BÜRGISSER, M. und KUNZ, P., 2013: Wie viel fressen Mutterkühe wirklich?, Magazin die Mutterkuh Ausgabe 02/13; Download am 29.10.2018

https://www.mutterkuh.ch/content/1/Downloads/Produzenten-Infos/Fachinfos/Fuetterung/2013_2_wieviel_fressen_Mutterkuehe_wirklich_d.pdf

COPPOCK, C. E., Everett, R.W., Merrill, W.G., 1972: Effect of ration on free-choice consumption of calcium-phosphorus supplements by dairy cattle. Journal of Dairy Science: 55, S. 245-256; Gefunden in HOCHBERG, siehe dort

DESTATIS, 2018: Statistisches Bundesamt: Land und Forstwirtschaft, Fischerei – Viehbestand (Stand Mai 2018)

DLG, 2009: S. Brändle, G. Heckenberger, J. Martin, A. Meyer, H. Scholz, S. Steinberger: DLG-Fütterungsempfehlung: Empfehlungen zur Fütterung von Mutterkühen und deren Nachzucht. 2009 Schriftdokument durch Prof. Dr. Scholz am 01.10.2018 Digital: Download am 29.10.2018

EXNER, U. 2009: Senkung von Kälberverlusten durch bessere Spurenelementversorgung bei Milchkuh- und Mutterkuhherden. Vortrag LKV MV, Güstrow, 2009 abgerufen 29.10.2018

https://www.lkv-mv.de/formulare/ft27_5.pdf

GOLZE, M., Balliet, U., Baltzer, J., Görner, C., Pohl, G., Stockinger C., Triphaus, H., Zens, H., 1997: Extensive Rinderhaltung; Fleischrinder – Mutterkühe, 1. Auflage

GROPPEL, B., 2000: Mineralstoffe, Vitamine, Leistungsförderer – Bedeutung, Stoffwechsel, Bedarf, Einsatz. Rekasen Mineralfutter und Futteradditive GmbH 1. Auflage

GRUBER-TABELLE, 2017: Gruber Tabelle zur Fütterung der Milchkühe, Zuchtrinder, Schafe, Ziegen; Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft; 42. Auflage, September 2017

HAMPEL, G., 2014: Fleischrinderzucht und Mutterkuhhaltung. 5. Auflage

HOCHBERG, H., Baumgärtel, T., Zopf, D., Schaeffer, H., 2013: Qualitätsgrundfutter vom Grünland für das Milchvieh und ausreichende Nährstoffversorgung der Fleischrinder; Teilbericht: Untersuchungen zur Versorgung der Mutterkühe mit Nähr-, Mineralstoffen und Spurenelementen auf extensiv genutzten Grünflächen unterschiedlicher Naturräume Thüringens. Download am 14.08.2018.
<https://www.thueringen.de/th9/till/nutztierhaltung/rinder/mutterkuehe/index.aspx>

JEROCH, H., Droschner, W., Smon, O., 2008: Ernährung landwirtschaftlicher Nutztiere. 2. Auflage

KÄDING, H., Schalitz, G. Leipnitz, W., 1993: Veränderungen der Gehalte an pflanzlichen Inhaltsstoffen durch extensive Bewirtschaftung von Niedermooren. Das wirtschaftseigene Futter 39, aus TERÖRDE (1997)

KIRCHGESSNER, M., 2004: Tierernährung, 11. Auflage (2004)

KTBL, 2004: Hubert Redelberger et al.: Management-Handbuch für die ökologische Landwirtschaft, KTBL-Schrift 426, Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V., 2004

KUNZ, H.-J., 2007: Erfolgreich Füttern - Mineralstoffversorgung für Bullen, Jungvieh, Mutterkühe und Kälber, Landpost Schleswig-Holstein, September 2007. Download: 02.08.2018

LUFA-Nord-West, 2018: Zielwerte für Gras- Und Maissilagen des Dienstleistungslabor der Landwirtschaftskammer Niedersachsen. Abgerufen am 29.10.2018. <https://www.lufa-nord-west.de/index.cfm/action/downloadcenter.html>

Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen, 2018: Nur beste Grassilagen bereiten. Download am 29.10.2018
<http://www.landwirtschaftskammer.de/landwirtschaft/tierproduktion/rinderhaltung/fuetterung/archiv/grassilagen-bereiten.htm>

ROFFEIS, M., Freier, E., Münch, K., Runnwerth, G., 2006: Untersuchungen zu Produktionsvoraussetzungen und Leistungen in Brandenburger Mutterkuhbeständen; Abschlussbericht, Abgerufen: 24.04.2018
https://lelf.brandenburg.de/media_fast/4055/0311_v1.pdf

SCHOLZ, H., Kühne, P., Stufenbiel, R., West, A., Heckenberger, G., Knape, C., Berkau, H., Andert, G., 2018: Wie Rohfaser die Leistung von Mutterkühen beeinflusst. Fleischrinder Journal 2/18

STOLZ, L., 2014: Mutterkuhhaltung in Deutschland – Status quo und Zukunftsperspektiven im europäischen Kontext. Masterarbeit, Universität Hohenheim (2014)

TERÖRDE, H., 1997: Untersuchungen zur Nähr- und Mineralstoffversorgung von Mutterkuhherden auf ausgesuchten Standorten in Mecklenburg-Vorpommern. Inaugural-Dissertation Veterinärmedizin, Freie Universität Berlin (1997)

WEIß, J., Pabst, W., Granz, S., 2011: Tierproduktion, 14. Auflage, S. 155ff., 2011

WIEDNER, G., 2009: Befundinterpretation – was kann man aus einer Futtermittelanalyse herauslesen? Tierärztetagung Raumberg-Gumpenstein HBLFA (2009) Download: 25.09.2018

Selbstständigkeitserklärung

Ich versichere, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig verfasst, in gleicher oder ähnlicher Fassung noch nicht in einem anderen Studiengang als Prüfungsleistung vorgelegt und keine anderen als die angegebenen Hilfsmittel und Quellen (einschließlich der angegebenen oder beschriebenen Software) benutzt habe.

Bernburg, den 13. Mai 2019