

Aus dem Institut für Nutztierwissenschaften
Universität Hohenheim
Fachgebiet: Tierernährung
Prof. Dr. Markus Rodehutsord

**Untersuchungen zur Körperzusammensetzung von
Fleckviehkühen und Validierung verschiedener Methoden
der Schätzung des Körperfettgehaltes**

Dissertation
Zur Erlangung des Grades eines Doktors
der Agrarwissenschaften

vorgelegt

der Fakultät Agrarwissenschaften

von

Dipl.-Ing. agr. Mariana Schneider (geb. Steyer)
Geboren in Pöbneck

2019

Datum der mündlichen Prüfung:

17. Mai 2019

Dekan:

Prof. Dr. Ralf T. Vögele

Berichterstatter, 1. Prüfer:

Prof. Dr. Markus Rodehutscord

Mitberichterstatter, 2. Prüfer:

Prof. Dr. Wilhelm Windisch

Weitere Berichter, bzw. Prüfer:

Prof. Dr. Ludwig E. Hölzle

Meiner Familie

Inhaltsverzeichnis

Tabellen	6
Abbildungen	8
Verzeichnis der Abkürzungen	12
1. Einleitung	14
2. Literaturübersicht	15
3. Aufgabenstellung.....	19
4. Material und Methoden	21
4.1 Tiermaterial und –haltung.....	21
4.2 Rationsgestaltung und Fütterung	21
4.3 Datenerhebung zur Berechnung der Energiesalden	23
4.4 Methoden zur Schätzung des Körperfettgehaltes	23
4.4.1 Body Condition Score	24
4.4.2 Rückenfettdicke.....	24
4.4.3 Muskeldicke	25
4.4.4 Bioelektrische Impedanzanalyse	26
4.4.5 Hautfaltendicke	30
4.4.6 Leptinkonzentration.....	31
4.4.7 Fettzellgröße.....	32
4.5 Bestimmung des Körperfettgehaltes mittels Ganzkörperanalyse.....	33
4.5.1 Schlachtung und Zerlegung der Tiere	33
4.5.2 Aufbereitung der Körperfraktionen.....	34
4.6 Analytik.....	35
4.7 Berechnungen.....	36
4.7.1 Berechnung der Energiesalden.....	36
4.7.2 Körperzusammensetzung der Kühe.....	36
4.8 Statistik.....	37
5. Ergebnisse	39
5.1 Grobgewebliche und chemische Zusammensetzung der Schlachtkühe	39
5.2 Schätzung des Körperfettgehaltes	49
5.2.1 Lebendmasse	49
5.2.2 Body Condition Score	49

5.2.3	Rückenfettdicke.....	50
5.2.4	Muskeldicke	52
5.2.5	Intramuskulärer Fettgehalt	54
5.2.6	Bioelektrische Impedanzanalyse	55
5.2.7	Hautfaltendicke	59
5.2.8	Fettzellgröße.....	61
5.2.9	Leptinkonzentration im Blut	64
5.3	<i>Überprüfung der ermittelten Schätzgleichungen mit Hilfe der Daten der Aufstallungsphase</i>	<i>65</i>
6.	Diskussion.....	67
6.1	<i>Methodendiskussion</i>	<i>67</i>
6.2	<i>Grobgewebliche und chemische Zusammensetzung der Schlachtkühe.....</i>	<i>70</i>
6.2.1	Leerkörperroh fettgehalt.....	70
6.2.2	Leerkörperrohproteingehalt.....	80
6.2.3	Leerkörperrohaschegehalt	82
6.2.4	Mineralstoffe	83
6.3	<i>Schätzung des Körperfettgehalts</i>	<i>87</i>
6.3.1	Rückenfettdicke.....	87
6.3.2	Body Condition Score	90
6.3.3	Muskeldicke	93
6.3.4	Intramuskulärer Fettgehalt	95
6.3.5	Bioelektrische Impedanzanalyse	95
6.3.6	Hautfaltendicke	97
6.3.7	Fettzellgröße.....	99
6.3.8	Leptinkonzentration im Blut	100
6.4	<i>Überprüfung der ermittelten Schätzgleichungen mit Hilfe der Daten der Aufstallungsphase</i>	<i>103</i>
6.5	<i>Methodenvergleich.....</i>	<i>104</i>
7.	Schlussfolgerungen	107
8.	Zusammenfassung.....	109
9.	Summary	111
10.	Literaturverzeichnis.....	113
11.	Anhang	124

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Zusammenfassung wesentlicher Kenndaten der 30 Kühe am Tag der Schlachtung.....	21
Tabelle 2: Exemplarische Zusammensetzung und kalkulierter Energie- und Rohproteingehalt der Teilmischung.....	22
Tabelle 3: Zusammensetzung, Energie- und Rohproteingehalt der zugekauften Kraftfuttermischung	23
Tabelle 4: Beprobungsschema der im Versuch eingesetzten Futtermittel.....	23
Tabelle 5: Beschreibung der erfassten Maße im Rahmen der Bioelektrischen Impedanzanalyse ...	26
Tabelle 6: Beschreibung der Elektrodenplatzierung der verschiedenen Messpunkte der Bioelektrischen Impedanzanalyse	28
Tabelle 7: Beschreibung der Messpunkte für die Erfassung der Hautfaltendicke.....	30
Tabelle 8: Lebend- und Leerkörpermasse (LKM) der 30 untersuchten Kühe sowie die chemische Zusammensetzung der Leerkörper	39
Tabelle 9: Gewichte und chemische Zusammensetzung der Schlachtkörperfraktionen (MW \pm s) der 30 Kühe	42
Tabelle 10: Konzentration (in der TM) und gesamte Masse an Mengen- und Spurenelementen in den untersuchten Körperfraktionen	46
Tabelle 11: Konzentration (in der TM) und gesamte Masse an Mengen- und Spurenelementen im Leerkörper (n = 30)	48
Tabelle 12: Ergebnisse der erfassten Messstrecken (cm).....	55
Tabelle 13: Resistanz (R) und Reaktanz (X_C) der Messpunkte bei den Frequenzen 5 und 50 kHz (Ω , MW \pm s).....	55
Tabelle 14: Zusammenstellung der Mittelwerte (MW, Ω) und Variationskoeffizienten (V_k , %) der Wiederholbarkeitsmessung von Resistanz (R) und Reaktanz (X_C) bei den Frequenzen 5 und 50 kHz (2 Kühe, je 10 wiederholte Messungen)	56
Tabelle 15: Übersicht über die jeweils besten erzielten korrigierten Bestimmtheitsmaße (R^2_{kor}) der multiplen Regressionsanalyse für die Messpunkte A bis E auf die Zielgröße Leerkörperrohffettgehalt (kg) für die Parameter MSK/R^* (cm^2/Ω) bei 5 bzw. 50 kHz, Lebendmasse (LM, kg), LM^2 und Temperatur (T, $^{\circ}\text{C}$).....	57
Tabelle 16: Zusammenstellung der Variationskoeffizienten (V_k , %) der Wiederholbarkeitsmessungen der Bioelektrischen Impedanzanalyse (2 Kühe, je 10 wiederholte Messungen).....	59
Tabelle 17: Ergebnisse der Messung der Hautfaltendicke (mm) an den 11 Messpunkten (n = 30).	59
Tabelle 18: Zusammenstellung der Mittelwerte (MW) und Variationskoeffizienten (V_k) der Wiederholbarkeitsmessungen der Hautfaltendicke (3 Kühe, je 7-10 wiederholte Messungen).....	60

Tabelle 19: Koeffizienten der Korrelationen* (r) zwischen den erhobenen Hautfaltendicken (HFD) an den Messpunkten 4, 5, 7 und 8 und dem absoluten und relativen Leerkörperrohffettgehalt (LKXL).....	60
Tabelle 20: Korrelationskoeffizienten für die Beziehungen zwischen den Fettzellgrößen des retroperitonealen (n = 27) und des subkutanen (n = 28) Fettgewebes zum absoluten und relativen Rohffettgehalt des Leerkörpers (LK), des Nierentalgs und der Haut	64
Tabelle 21: Auswirkung der Zunahme der Rückenfettdicke (RFD) in verschiedenen Körperkonditionsbereichen auf die mittlere Veränderung des geschätzten Leerkörperrohffettgehalts (LKXL) im Literaturvergleich.....	89
Tabelle 22: Gegenüberstellung von Literaturergebnissen zur Beziehung zwischen der Veränderung von einer BCS-Note (dBCS) und dem damit verbundenen Leerkörperrohffettgehalt - relativ (LKXL _%) und absolut (LKXL _{kg}) bei Kühen.....	92
Tabelle 23: Korrelationen zwischen der Serumleptinkonzentration, dem Leerkörperrohffettgehalt (LKXL) und den XL-Gehalten der verschiedenen Schlachtkörperfraktionen	102
Tabelle 24: Reihung der geprüften Methoden zur Schätzung des absoluten bzw. relativen Leerkörperrohffettgehaltes hinsichtlich ihrer Genauigkeit (RMSE)	104

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Anforderungen an Methoden zur Schätzung der Körperzusammensetzung von Tieren (Susenbeth, 1984).....	20
Abbildung 2: Veranschaulichung der Messpunkte der Rückenfettdicke (RFD; ● RFD 1, ■ Bereich für RFD 2, ○ RFD 3; Bildquelle: Löffler, 2002).....	25
Abbildung 3: Sonografische Messung der Muskeldicke (maximale Ausdehnung des <i>Musculus longissimus dorsi</i>) auf Höhe des 3. und 4. Lendenwirbels orthogonal zur Wirbelsäule über den Querfortsätzen.....	25
Abbildung 4: Messung der Bioelektrischen Impedanz (links: Messpunkt D, rechts: Messpunkt B)27	
Abbildung 5: Platzierung der Elektroden der 6 Messpunkte für die Messung der Bioelektrischen Impedanzanalyse (○ Sensorelektrode, ● Stromelektrode; Beschreibung der Elektrodenplatzierung der einzelnen Messpunkte befindet sich in Tabelle 6; Bildquelle: Löffler, 2002)	29
Abbildung 6: Die Messpunkte der Hautfaltendicke (Eine Beschreibung der Messpunktlokalisierung befindet sich in Tabelle 7; Bildquelle: Löffler, 2002).....	31
Abbildung 7: Messung der Hautfaltendicke mittels Caliper (Messpunkt 5).....	31
Abbildung 8: Beispiel der Vermessung der Fettzellgröße an einem histologischen Schnitt (200-fache Vergrößerung; Maßstabsbalken = 200 µm)	33
Abbildung 9: Übersicht über die Aufteilung der Kühe in Gewebefraktionen (weiß hinterlegte Fraktionen: komplette Verarbeitung; hellgrau hinterlegte Fraktionen: Verarbeitung der jeweils rechten Hälfte; dunkelgrau hinterlegte Fraktion: Wasserverluste während der Verarbeitung, über Gewichtsunterschieden von Schlachtkörper, Kopf, Schwanz und Füßen ermittelt; GIT = Gastrointestinaltrakt, Organe = Innereien mit Blut ohne Leber, GIT und Nierentalg).....	34
Abbildung 10: Chemische Zusammensetzung der 30 untersuchten Kühe (▲ Wasser, ◆ XA, ° XL, ■ XP): Relativer Gehalt in Abhängigkeit der Leerkörpermasse (LKM, die Zahlen in Klammern entsprechen den Nummern der im Text angegebenen Gleichungen).....	40
Abbildung 11: Chemische Zusammensetzung der 30 untersuchten Kühe (▲ Wasser, ◆ XA, ° XL, ■ XP): Absoluter Gehalt in Abhängigkeit der Lebendmasse (LM, die Zahlen in Klammern entsprechen den Nummern der im Text angegebenen Gleichungen).....	41
Abbildung 12: Relativer Rohett- (◆) und Rohproteingehalt (●) der einzelnen Fraktionen in Abhängigkeit vom Leerkörperrohffettgehalt (LKXL, die entsprechenden Regressionsgleichungen sind im Anhang in Tabelle A-11 zu finden)	43
Abbildung 13: Relativer Anteil der bedeutendsten Fraktionen am absoluten Leerkörperrohffettgehalt (LKXL) in Abhängigkeit des relativen LKXL (GIT = Gastrointestinaltrakt).....	44
Abbildung 14: Beitrag der Fraktionen zum Leerkörpergehalt der untersuchten Mengen- und Spurenelemente (GIT = Gastrointestinaltrakt)	48

Abbildung 15: Beziehung zwischen Lebendmasse (LM) und relativem bzw. absoluten Körperrohffettgehalt (LKXL, n = 30, die Zahlen in Klammern entsprechen den Nummern der im Text angegebenen Gleichungen).....	49
Abbildung 16: Beziehung zwischen Body Condition Score (BCS) und relativem bzw. absoluten Körperfettgehalt (LKXL, n = 30, die Zahlen in Klammern entsprechen den Nummern der im Text angegebenen Gleichungen).....	50
Abbildung 17: Zusammenhang zwischen absolutem und relativen Leerkörperrohffettgehalt (LKXL) und den Rückenfettdicken (RFD) der 3 Messpunkte (n = 30, die Zahlen in Klammern entsprechen den Nummern der im Text angegebenen Gleichungen).....	52
Abbildung 18: Zusammenhang zwischen absolutem und relativen Leerkörperrohffettgehalt (LKXL) und der Muskeldicke (MD, n=30, die Zahlen in Klammern entsprechen den Nummern der im Text angegebenen Gleichungen).....	53
Abbildung 19: Zusammenhang zwischen absolutem und relativen Leerkörperrohproteingehalt (LKXP) und der Muskeldicke (MD, n=30, die Zahlen in Klammern entsprechen den Nummern der im Text angegebenen Gleichungen).....	54
Abbildung 20: Zusammenhang zwischen intramuskulärem Fettgehalt (IMF, %) und Leerkörperrohffettgehalt (LKXL, %, n = 28, die Zahl in Klammern entspricht der Nummer der im Text angegebenen Gleichung).....	54
Abbildung 21: Zusammenhang zwischen absolutem und relativen Leerkörperrohffettgehalt (LKXL) und der Summe der Hautfaltendicken (SHFD) der Messpunkte 4, 5, 7, 8 und 10 (n=30, die Zahlen in Klammern entsprechen den Nummern der im Text angegebenen Gleichungen)	61
Abbildung 22: Verschiedene histologische Schnitte der Fettgewebsbiopsien mit erkennbaren Größenunterschieden (oben links: größere Fettzellen, unten rechts: besonders kleine Fettzellen; 200 fache Vergrößerung; Maßstabsbalken = 200 μ m)	62
Abbildung 23: Zusammenhang zwischen absolutem und relativen Leerkörperrohffettgehalt (LKXL) und den Fettzellgrößen der subkutanen (FZGs, n = 28) und der retroperitonealen (FZGr, n = 27) Gewebeproben (der Wert hinter dem nicht ausgefüllten Symbol wurde als Ausreißer bewertet und bei der Datenauswertung nicht weiter berücksichtigt, die Zahlen in Klammern entsprechen den Nummern der im Text angegebenen Gleichungen).....	63
Abbildung 24: Zusammenhang zwischen absoluten und relativen Leerkörperrohffettgehalt (LKXL) und Leptinkonzentration im Blut (n = 27, die Zahlen in Klammern entsprechen den Nummern der im Text angegebenen Gleichungen).....	65
Abbildung 25: Gegenüberstellung der Energiesalden (ES) der Kühe während der Aufstallungsphase und der berechneten Veränderungen der entsprechenden Leerkörperrohffettgehalte (Δ LKXL, n = 29); links : Zeitraum der gesamten Aufstallungsphase (38 ± 12 Tage, 12 bis 65 Tage); rechts : je Aufstallungstag; A : Berechnung mittels Lebendmasse (Gleichung 10),	

B : Berechnung mittels Bioelektrischer Impedanzanalyse (Messpunkt A, Gleichung 32, die Zahlen in Klammern entsprechen den Nummern der im Text angegebenen Gleichungen) 66	
Abbildung 26: Zusammenhang zwischen analysiertem Leerkörperwassergehalt und analysiertem Leerkörperrohffettgehalt bei den 30 untersuchten Kühen ($r = -0,99$).....	68
Abbildung 27: Einordnung der in der vorliegenden Untersuchung ermittelten Leerkörperrohffettgehalte (LKXL, blau) und entsprechenden Leerkörpermassen (LKM, schwarz) in Literaturberichte für weibliche Rinder (Indikatoren: Min und Max, ■ Fleckvieh, ▲ Milchrassen, — Fleckviehkreuzungen, ● Fleischrassen, ◆ Kreuzungen aus Milch- und Fleischrassen)	71
Abbildung 28: Vergleich der Leerkörperrohffettgehalte (LKXL) der vorliegenden Untersuchung mit Literaturberichten für weibliche Rinder in Abhängigkeit von der Leerkörpermasse (LKM; Ermittlung des LKXL: GKA = Ganzkörperanalyse, D ₂ O = D ₂ O-Verdünnungsmethode, HVR = Harnstoffverteilungsraum; * Werte nach den Angaben der Autoren berechnet)....	72
Abbildung 29: Vergleich des Zusammenhangs zwischen dem Leerkörperrohffettgehalt (LKXL) der Leerkörpermasse (LKM) und dem Anteil des Rohfetts (XL) in den Knochen	75
Abbildung 30: Einordnung des Anteils Rohfett (XL) aus der Fraktion Muskeln am Leerkörperrohffettgehalt (LKXL) in Literaturangaben (* Berechnet nach den Angaben der Autoren).....	76
Abbildung 31: Einordnung des Anteils des Leerkörperrohffettgehalts (LKXL) aus der Fraktion Nierentalg (NT) in Literaturberichte (* Berechnet nach den Angaben der Autoren).....	78
Abbildung 32: Zusammenhang zwischen absolutem und relativem Leerkörperrohffettgehalt (LKXL) und der Rohfettkonzentration im Nierentalg (NT) bzw. der Nierentalgmenge (FM; ◆ LKXL kg, ● LKXL %, n = 30, die Zahlen in Klammern entsprechen den Nummern der im Text angegebenen Gleichungen).....	79
Abbildung 33: Einordnung des vorliegend ermittelten Zusammenhangs zwischen Leerkörperrohffettgehalt und der Nierentalgmenge in Literaturergebnisse (* XL kg aus Nierentalg).....	80
Abbildung 34: Einordnung der in der vorliegenden Untersuchung ermittelten Leerkörperrohproteingehalte in Literaturberichte für weibliche Rinder (Indikatoren: Min und Max, ■ Fleckvieh, ▲ Milchrassen, ● Fleischrassen, ◆ Kreuzungen aus Milch- und Fleischrassen)	81
Abbildung 35: Vergleich der Rohproteingehalte (XP) der Leerkörper der vorliegenden Untersuchung mit Literaturberichten für weibliche Rinder in Abhängigkeit von der Leerkörpermasse (LKM; Methode: GKA = Ganzkörperanalyse, D ₂ O = D ₂ O-Verdünnungsmethode, HVR = Harnstoffverteilungsraum; * Werte nach den Angaben der Autoren berechnet)	82

Abbildung 36: Vergleich der Rohaschegehalte (XP) der Leerkörper der vorliegenden Untersuchung mit Literaturberichten für weibliche Rinder in Abhängigkeit von der Leerkörpermasse (LKM; Methode: GKA = Ganzkörperanalyse, D₂O = D₂O-Verdünnungsmethode, HVR = Harnstoffverteilungsraum; * Werte nach den Angaben der Autoren berechnet) 83

Verzeichnis der Abkürzungen

BCS	Body Condition Score
BIA	Bioelektrische Impedanzanalyse
BU	Brustumfang
DLG	Deutsche Landwirtschaftsgesellschaft
FM	Frischmasse
FZG	Fettzellgröße
FZGr	Fettzellgröße retroperitoneal
FZGs	Fettzellgröße subkutan
GIT	Gastrointestinaltrakt
HFD	Hautfaltendicke
IMF	Intramuskulärer Fettgehalt
KBH	Kreuzbeinhöhe
LK	Leerkörper
LKM	Leerkörpermasse
LKXL	Leerkörperroh fettgehalt
LKXL _%	relativer Leerkörperroh fettgehalt
LKXL _{kg}	absoluter Leerkörperroh fettgehalt
LKXP	Leerkörperroh proteingehalt
LM	Lebendmasse
MAX	Maximum
MD	Muskeldicke
MIN	Minimum
MS	Messstrecke
MSK	Messstreckenkombination
MW	Mittelwert
n	Stichprobenumfang
NEL	Nettoenergie Laktation
NT	Nierentalg
r	Korrelationskoeffizient
R	Resistanz, Wirkwiderstand
R ²	Bestimmtheitsmaß
R ² _{kor}	korrigiertes Bestimmtheitsmaß
RFD	Rückenfettdicke
RMSE	Standardfehler der Schätzung
s	Standardabweichung vom Mittelwert
SHFD	Summe der Hautfaltendicken

T	Temperatur
TM	Trockenmasse
V_k	Variationskoeffizient
WRH	Widerristhöhe
XA	Rohasche
X_C	Reaktanz, Blindwiderstand
XF	Rohfaser
XL	Rohfett
XP	Rohprotein
Z	Impedanz
$\Delta LKXL$	geschätzte Veränderung des Leerkörperrohffettgehalts

1. Einleitung

Die Futteraufnahmekapazität hochleistender Milchkühe reicht nicht aus, um den Energiebedarf für die hohe Milchleistung vor allem zu Laktationsbeginn voll zu decken (Coppock, 1985). Dementsprechend befindet sich jede hochleistende Milchkuh zu Laktationsbeginn in einer negativen Energiebilanz, wobei die Dauer und Höhe dieser negativen Energiebilanz variabel ist (Butler et al., 1981). Um diese negative Energiebilanz zumindest teilweise auszugleichen, greift die Milchkuh auf ihre Körperreserven zurück, was als eine der wichtigsten Fähigkeiten der Milchkuh anzusehen ist (Schröder und Staufenberg, 2006). Als bedeutendste Energiequelle ist dabei das Körperfett anzusehen. Nach Überschreiten der Laktationsspitze sollen die abgebauten Körperreserven über das Futter bzw. die Energiezufuhr wieder aufgebaut werden. Während ein optimal ausgestaltetes Fettdepot einen leistungsstabilisierenden bzw. leistungsfördernden Faktor darstellt, kann das Körperfett unter ungünstigen Bedingungen jedoch Auslöser verschiedener Erkrankungen sein (Klawuhn und Staufenberg, 1997). Vor allem wenn die Milchkuh überfettet in die Laktation startet ist die Futteraufnahme negativ beeinträchtigt. Es muss verstärkt Körperfett mobilisiert werden, die Kuh kann u.a. an Ketose erkranken. Daraus ergibt sich, dass die Körperfettreserven im Trächtigkeits-Laktationszyklus über ein entsprechendes Fütterungscontrolling im Optimalbereich gehalten werden sollen (Spiekers et al., 2008). Durch die regelmäßige Überprüfung der Körperkondition kann der Verlust der Fettreserven kontrolliert werden und bei Überschreitungen entsprechender Zielvorgaben interveniert werden. Ebenso kann der Aufbau der Fettdepots im Laktationsverlauf überwacht werden und das Risiko des übermäßigen Verfettens minimiert werden. Für die Beurteilung der Körperkondition als Steuerungsgröße haben sich dabei in der Praxis die subjektive Erfassung des Body Condition Score (BCS) oder die sonografische Messung der Rückenfettdicke (RFD) etabliert. Im Bereich der Forschung stehen aufwändigere Verfahren wie Verdünnungs- bzw. Markermethoden zur Verfügung. Für die Rasse Fleckvieh liegen allerdings keine Daten zur Zusammensetzung der Kühe bzw. zur Eignung von Schätzmethode zur Ermittlung des Körperfettgehaltes vor. Dabei spielt diese Rasse mit einem Anteil am Gesamtrinderbestand von 28 % in Deutschland (Statistisches Bundesamt, 2018) eine nicht unbedeutende Rolle. In anderen europäischen Ländern wie beispielsweise Tschechien, Schweiz und Österreich ist die Bedeutung der Rasse noch größer. Neben Kennzahlen zum Fettgehalt der Kühe und dessen Schätzung fehlen für standortangepasste Fütterungsstrategien auch Daten zu den weiteren Gehalten an Körperinhaltsstoffen. Ziel der vorliegenden Untersuchung war daher, entsprechende Informationen für adulte Fleckviehkühe zu generieren und *in vivo* Schätzmethode für den Körperfettgehalt für die Praxis und angewandte Forschung abzuleiten. Weiterhin könnten diese Daten für die Abschätzung des Ansatzes im Zuwachs zur Ableitung der Nährstoffausscheidungen und von Empfehlungen zur Versorgung an Energie, Protein und Mineralstoffen genutzt werden.

2. Literaturübersicht

Für die Einschätzung der Körperkondition gibt es eine Vielzahl an Methoden. Als „Goldstandard“ für die Ermittlung der Körperzusammensetzung ist die Ganzkörperanalyse zu sehen. Sie beruht auf der vollständigen Zerkleinerung des Tiermaterials um es nasschemisch auf seine Bestandteile untersuchen zu können. Diese Methode ist als Referenzverfahren anzusehen, da es die Körperzusammensetzung am genauesten widerspiegelt. Diese Vorgehensweise ist insbesondere bei großen Tieren sehr aufwändig und hat den Nachteil, dass sie verfahrensbedingt nur einmal an einem Tier durchgeführt werden kann. Sollen Veränderungen in der Körperzusammensetzung nachgehalten werden, sind Vergleichsschlachtungen notwendig, für welche größere, einheitliche Tierpartien erforderlich sind. Vor diesem Hintergrund wurde eine Vielzahl an Methoden zur indirekten Schätzung des Körperfettgehaltes entwickelt und geprüft, welche sich hinsichtlich Invasivität (Tierwohl), Genauigkeit, Arbeitsaufwand und Kosten stark unterscheiden. In der Literatur wurden unterschiedliche Ansätze zur Beurteilung des Körperfettgehaltes beschrieben und angewandt, die hier nur teilweise angeführt werden können. Entsprechende Literaturübersichten finden sich bei Ellis (2000), Lister (1984), Lukaski (1987), McWilliams und Whitman (2013) und Schröder und Staufenbiel (2006).

Bei der Bewertung der Methoden ist die Zielstellung von entscheidender Bedeutung. Hier ist insbesondere zwischen praxisrelevanten (Controlling) und wissenschaftlichen Fragestellungen (Wissensgenerierung) zu unterscheiden. Verfahren, bei denen die Tiere sediert werden müssen oder bei denen das Messgerät nicht routinemäßig bis zur Stalltür verbracht werden kann, sind bei anwendungsorientierten Fragestellungen weniger praktikabel. Dazu zählen die Messung des Körpervolumens (Ellis, 2001), Densitometrie (Garrett und Hinman, 1969; Ferrell et al., 1976), Computertomografie (Borkan et al., 1985), Magnet-Resonanz-Tomografie (MRT; Mitchell et al., 2001), Dualenergie-Röntgenabsorptiometrie (DXA; Hampe, 2005), Ganzkörperleitfähigkeit (TOBEC; Scott et al., 2001) oder Neutronenaktivierungsanalyse (Cohn et al., 1974). Diese Methoden liefern zum Teil sehr genaue Ergebnisse, ihre Anwendung bleibt aber aufgrund des hohen methodischen Aufwands der Grundlagenforschung vorbehalten. Weitere Beispiele sind Verdünnungs- bzw. Markermethoden mit Deuteriumdilution (Odwongo et al., 1984; Wright und Russel, 1984b; Martin und Ehle, 1986), Harnstoff (Andrew et al., 1994; Bartle und Preston, 1986), oder Antipyrin (Wappler, 1997), bei denen ebenfalls Einschränkungen der Anwendbarkeit aufgrund hoher Kosten und apparativem Aufwand und teils geringer Genauigkeit zu diskutieren sind.

Für die Beurteilung der Körperkondition haben sich in der Praxis die Lebendmasse (LM), der BCS und die Messung der RFD mittels Ultraschall etabliert. Bei der Bewertung der Körperkondition mittels **BCS** werden bestimmte Körperregionen der Kühe per Augenschein und palpatorisch beurteilt. In Deutschland hat sich dabei das Bewertungssystem von Edmonson et al. (1989) durchgesetzt. Jilg und Weinberg (1998) haben ein für die Rasse Fleckvieh angepasstes Schema entwickelt.

Wichtige Bereiche für die Beurteilung des BCS sind die Dorn- und Querfortsätze der Lendenwirbel, der Übergang von den Querfortsätzen zur Hungergrube, der Bereich zwischen den Hüfthöckern, die Beckenausgangsgrube mit Schwanzansatz sowie die Sitzbein- und Hüfthöcker. Die Bewertung erfolgt mit Hilfe einer 5-stufigen Skala, die in weitere Einheiten von 0,25 Punkten unterteilt ist, wobei international verschiedene Skalen zum Einsatz kommen (Edmonson et al., 1989; Ferguson et al., 1994; Lowman et al., 1976; Mulvany et al., 1977; Wildman et al., 1982). Dabei handelt es sich um eine schnell erlernbare Methode, die somit ein kostengünstiges Hilfsmittel mit geringem Zeitaufwand darstellt. Edmonson et al. (1989) fanden eine hohe Übereinstimmung zwischen wiederholten BCS-Bewertungen bei einzelnen und zwischen verschiedenen Beurteilern unabhängig vom Grad der Erfahrung des Schätzers. Auch Ferguson et al. (1994) beschreiben hohe Korrelationen zwischen 0,76 und 0,86 zwischen den von verschiedenen Untersuchern ermittelten BCS-Werten, wobei eine Abhängigkeit der Schätzgenauigkeit vom Trainingszustand der Personen gegeben war. Bezüglich des Zusammenhangs zwischen dem BCS und dem Körperfettgehalt fanden Wright und Russel (1984a) mittels Ganzkörperanalyse bei Kühen verschiedener Rassen sehr hohe Bestimmtheitsmaße von 0,91 für Fleischrinder und 0,87 für Milchrinder. Weitere Autoren bestätigen den signifikanten Zusammenhang, allerdings lagen die Bestimmtheitsmaße auf einem niedrigeren Niveau zwischen 0,6 und 0,7 (Fiems et al., 2005; Otto et al., 1991; Waltner et al., 1994).

Bei der Messung der **Rückenfettdicke** wird die subkutane Fettschicht zwischen der Haut und der *Fascia trunci profunda* sonografisch erfasst. Die Funktionsweise und eine Beschreibung der Messung sind bei Schröder und Staufenbiel (2006) zusammengefasst. Staufenbiel (1997) leitete aus den Untersuchungen von Klawuhn (1992), Rieckhoff (1992) Wappler (1997) und Wiedemann (1989) 5 kg Körperfett je Änderung der RFD um einen mm ab. Die Regressionskoeffizienten aus den genannten Arbeiten, die die Veränderung des Körperfettgehalts in Bezug auf eine Änderung der RFD von 1 mm vorhersagen, variierten allerdings zwischen 2,55 und 5,89. Die entsprechenden Korrelationskoeffizienten schwankten zwischen 0,28 und 0,94. Als Einflussfaktoren für den Zusammenhang zwischen RFD und Körperfettgehalt wurden unter anderem Rasse, Laktationsnummer und Laktationsstadium aufgeführt. Außerdem scheint sich die Aussagegenauigkeit der RFD mit steigendem Fettansatz zu erhöhen (Staufenbiel et al., 1990). Weiterhin kann die Verteilung der Fettreserven im Körper individuell variieren und Kühe mit geringerer LM können trotz ähnlicher RFD einen höheren Körperfettgehalt aufweisen (Staufenbiel, 1992). Wright und Russel (1984b) bestätigten signifikante Unterschiede bei den genannten Zusammenhängen zwischen milch- und fleischbetonten Rassen. Die Autoren ermittelten eine nicht lineare Beziehung ($R^2 = 0,80$) zwischen der RFD und dem Körperfettgehalt.

Die **LM** wird in der Literatur hinsichtlich ihrer Aussagekraft zur Körperzusammensetzung stark hinterfragt. Neben dem Füllungsgrad des Gastrointestinaltrakt (GIT, abhängig von Laktationsstadium und Gesundheitsstatus) spielt auch die Veränderung der Organgewichte in Abhängigkeit des Trächtigkeitsstatus und –fortschritts eine nicht unbedeutende Rolle. Reid und Robb (1971) berich-

teten von variablen Zusammensetzungen von einem kg LM und schlussfolgerten, dass Ansatz oder Mobilisation von Körpergewebe aus 100 % Wasser bis hin zu 90 % Fett bestehen könnte. Ebenso können Wasserein- bzw. -auslagerungen die Aussagekraft der LM beeinträchtigen (Flatt et al., 1965; Moe et al., 1971). Little und McLean (1981) fanden beispielsweise keinen Zusammenhang zwischen LM und Körperfettgehalt und bezeichneten die LM als Schätzgröße für den Körperfettgehalt mit erheblichen Einschränkungen. Neben den genannten Limitierungen der Aussagekraft der LM wird auch die fehlende Berücksichtigung der Körperform der Kühe problematisiert. So können Kühe mit der gleichen LM groß und dünn oder klein und fett sein (Roche et al., 2004). Andererseits finden sich durchaus auch Berichte von höheren Korrelationen zwischen LM und Körperfettgehalt. Wright und Russel (1984b) ermittelten bei polynomischer Betrachtung ein R^2 von 0,85 (Standardfehler der Schätzung (RMSE) = 17,4 kg). Im Vergleich zu Deuteriumdilution, BCS, RFD und Körpermaßen war die LM hier der genaueste Einzelschätzer des Körperfettgehalt. Auch Ferrell und Jenkins (1984) und Waltner et al. (1994) berichten von engen Zusammenhängen zwischen LM und absoluten Körperfettgehalt. Hier wurden überwiegend ausgewachsene, nicht tragende Tiere untersucht, bei denen Veränderungen in der Lebendmasse hauptsächlich aus Fettauf- bzw. -abbau bestehen. Außerdem verbessern sich die Korrelationen zwischen LM und Körperfettgehalt mit zunehmender Laktationsnummer, da mit zunehmendem Alter der Fettanteil am LM-Zuwachs ansteigt und die LM an Aussagekraft hinsichtlich Körperfettgehalt gewinnt (Wappler, 1997). Durch Einbeziehung der LM in Regressionen zur Schätzung des Körperfettgehalts können die Genauigkeiten verbessert werden, wie beispielsweise bei der RFD (Wappler, 1997; Wright und Russel, 1984b).

Körpermaße werden in der Praxis insbesondere in der Jungviehaufzucht genutzt, um die LM der Tiere zu schätzen. Heinrichs et al. (1992) ermittelten für den Brustumfang, die Widerristhöhe, die Breite der Hüften und auch die Körperlänge signifikante Zusammenhänge zur LM von Holstein Färsen ($R^2 > 0,95$) wobei der Brustumfang die engste Korrelation aufwies. Weitere Studien bestätigen den engen Zusammenhang zwischen Brustumfang und LM bei Jungrindern (Bagg et al., 1985; Davis et al., 1961). Diese statistischen Zusammenhänge sind naheliegend, da die entsprechenden Varianzen bei wachsenden Rindern verhältnismäßig groß sind. Untersuchungen an ausgewachsenen Kühen bestätigen ebenfalls enge Zusammenhänge zwischen Brustumfang und LM (Gresham et al., 1986; Nelsen et al., 1985) und zwischen Brustumfang und dem Körperfettgehalt (Thompson et al., 1983) bzw. Schlachtkörperfettgehalt (Gresham et al., 1986). Schäff et al. (2017) ermittelten ebenfalls gute Zusammenhänge zwischen Körpermaßen und den Körperfettmengen von Kühen ($R^2 = 0,84$), während Wright und Russel (1984b) Körpermaße als ungeeignet für die Einschätzung der Körperkondition bezeichneten.

Für die Messung der **Hautfaldendicke** (HFD, Calipometrie) wird mit Daumen und Zeigefinger eine Körperfalte gegriffen und mit Hilfe von einem Caliper gemessen. Dieses zangenartige Gerät übt unabhängig von der Öffnung einen gleichmäßigen Messdruck aus (10 g/mm²). Wie auch die Messung der RFD basiert die Methode auf der Annahme, dass die Messstellen die durchschnittliche

Dicke des subkutanen Fettgewebes wiedergeben und dieses in einem konstanten Verhältnis zum Gesamtfettgehalt steht (Lukaski, 1987). Diesbezügliche Untersuchungen an Rindern liegen kaum vor. Aus dem Humanbereich gibt es Hinweise, dass entwickelte Regressionsgleichungen nicht generalisiert über verschiedene Populationen angewendet werden können (Jackson und Pollock, 1978). Daher ist auch bei Kühen von rassespezifischen Zusammenhängen auszugehen.

Eine weitere Technik zur Schätzung der Menge an Körperfett ist die Messung der **Fettzellgröße**. Das Fettdepot variiert in der Menge mit Veränderungen in der Anzahl und mittleren Größe der Adipozyten wobei Veränderungen der Fettmengen bei ausgewachsenen Wiederkäuern hauptsächlich mit Größenänderungen der Adipozyten einher gehen (Hood, 1982; Smith und McNamara, 1990). So bestehen signifikante Zusammenhänge zwischen Fettzellendurchmesser und dem Körperfettgehalt bei Kühen (Robelin, 1982; Robelin et al., 1989; Waltner et al., 1994). Die Invasivität dieser Methode, bei der eine kleine Biopsie des subkutanen Fettgewebes durchgeführt wird, ist geringer als bei Verdünnungsmethoden, die das Einführen und Aufrechterhalten von Venenkathetern erfordern. Die Gesamtkosten dieser Technik sind ebenfalls deutlich geringer (Waltner et al., 1994).

Die Bioelektrische Impedanzanalyse (**BIA**) ist eine im Humanbereich etablierte Methode zur Messung der Körperzusammensetzung. Physikalisch betrachtet wird dabei der Widerstand des Körpers gegen einen schwachen Wechselstrom gemessen und über das Volumen auf den Gesamtkörperwasser- bzw. -fettgehalt geschlossen. Eine ausführliche Beschreibung des Messprinzips ist bei Foster und Lukaski (1996), Lukaski (1996) und Dörhöfer und Pirlich (2007) zu finden. Kushner (1992) betont die Vorteile der BIA gegenüber anderen Methoden: Sie ist sicher, kostengünstig, transportabel, schnell, leicht durchführbar und erfordert nur eine minimale Schulung des Anwenders. Neben dem Einsatz beim Mensch zeigten Untersuchungen an Nutztieren ebenfalls gute Ergebnisse, wie beispielsweise an Schweinen (Marchello et al., 1999; Swantek et al., 1992; Swantek et al., 1999), den Schlachtkörpern von Lämmern (Berg und Marchello, 1994; Jenkins et al., 1988) und an Rindern (Marchello und Slinger, 1994; Thomson et al., 1997; Zollinger et al., 2010). Studien an laktierenden Kühen wurden bisher kaum durchgeführt. Schäff et al. (2017) schätzten die Menge des Fettdepots bei Charolais x Holstein Friesian Kreuzungskühen in der Früh-laktation mittels Bioelektrischer Impedanz mit einem Bestimmtheitsmaß von bis zu 0,99.

3. Aufgabenstellung

Die oben aufgeführten Methoden haben den Vorteil, dass der Körperfettgehalt am lebenden Tier erfasst werden kann. Grundlage dafür ist eine Validierung der Methoden an Referenzdaten der Zielspezies. Aufgrund der zu erwartenden rassespezifischen Variation im Körperfettgehalt (Bellmann et al., 2004; Kempster, 1981; Wright und Russel, 1984a, b) sollte die entsprechende Evaluierung der gewählten Methode möglichst an der zu beurteilenden Rasse durchgeführt werden. Während für Holstein-Kühe ein relativ umfangreiches Datenmaterial vorliegt, ist sowohl die absolute Höhe und Bandbreite des Körperfettgehaltes als auch dessen Beziehung zu Körperkonditionskennzahlen für Fleckvieh kaum evaluiert (Spiekers et al., 2008). Dies gilt insbesondere für die moderne milchbetonte Fleckviehkuh. Kennzahlen zur chemischen Zusammensetzung von weiblichem Fleckvieh berichten lediglich Laurenz et al. (1992, mittels D_2O -Verdünnungsmethode) für ausgewachsene Kühe und Buckley et al. (1990) für Färsen. Da eine entsprechende Datengrundlage für eine erfolgreiche Milchviehfütterung aus oben genannten Gründen jedoch unbedingt erforderlich ist, sollten in vorliegender Untersuchung mit Hilfe der Schlachtung und anschließenden Ganzkörperanalyse zunächst grundlegende Daten zur Zusammensetzung von Fleckviehkühen gewonnen werden, insbesondere zur Höhe des Körperfettgehaltes aber auch zu den weiteren Rohnährstoffen sowie den Mineralstoffen. Anhand dieser Daten sollte dann die Eignung unterschiedlicher *in vivo* Methoden als Hilfsmittel zur Einschätzung der Höhe der Körperfettreserven von Fleckviehkühen evaluiert werden. Die Auswahl der entsprechenden Methoden erfolgte in Anlehnung an die nach Susenbeth (1984) zusammengefassten Anforderungen an Methoden (Abbildung 1). Dabei sollte der Schwerpunkt auf angewandte Fragestellungen, also ein möglicher Einsatz in der Praxis gelegt werden. Die Prüfung der in der Praxis etablierten Methoden LM, BCS und RFD war daher am naheliegendsten. Die Methoden Muskeldicke (MD) und HFD entsprechen den von Susenbeth (1984, Abbildung 1) genannten Anforderungen weitestgehend und wurden daher ebenfalls ausgewählt. Die BIA ist hinsichtlich ihrer Präzision vielversprechend, bei zumindest für die angewandte Forschung hinnehmbarem Aufwand. Der intramuskuläre Fettgehalt (IMF) kann zwar bisher nur post mortem ermittelt werden, dafür ist die Probenahme am Schlachtkörper simpel und routinemäßig durchführbar, weshalb auch diese Methode geprüft werden sollte. Die Methoden der Bestimmung der Fettzellgröße (FZG) und der Leptinkonzentration sind in der Handhabung deutlich anspruchsvoller und daher weniger für praktische Zwecke geeignet. Nichtsdestotrotz könnten sie ein in der angewandten Forschung nützliches Tool darstellen und sollten daher evaluiert werden. Von der Validierung von Densitometrie-, Verdünnungs- bzw. Markermethoden wurde hingegen abgesehen, da der finanzielle bzw. apparative Aufwand als zu hoch eingeschätzt wurde. Von der Evaluierung von Körpermaßen zur Schätzung der Körperzusammensetzung wurde ebenfalls abgesehen, da sie in engem Zusammenhang zur LM der Tiere stehen und der Rahmen der Arbeit abgegrenzt werden musste.

Die Eignung einer Methode wird bestimmt von:

- der Genauigkeit,
- dem Bereich der Gültigkeit,
- dem Umfang der Beeinträchtigung der Tiere durch die Behandlung,
- der Verringerung des Verkaufserlöses von Schlachttieren,
- Schwierigkeiten im Umgang mit radioaktiven Stoffen,
- dem Investitionsaufwand und den laufenden Kosten,
- dem Arbeitsaufwand für die laufenden Untersuchungen und die Wartung der technischen Einrichtung,
- der Einfachheit bzw. der Möglichkeit der Übertragung der Arbeiten auf Personal ohne hohe fachliche Qualifikation bei Durchführung routinemäßiger Untersuchungen,
- und der Schnelligkeit, d.h. des Zeitraums von der Behandlung des Tieres bis zum Ergebnis.

Abbildung 1: Anforderungen an Methoden zur Schätzung der Körperzusammensetzung von Tieren (Susenbeth, 1984)

Um mit der Anwendung der verschiedenen zu validierenden Methoden besser vertraut zu werden und entsprechende Daten zu erheben, wurde der Schlachtung der Kühe eine 6-wöchige Testphase vorangestellt zu deren Beginn und Ende die jeweiligen nicht-invasiven Methoden angewandt wurden (Aufstallungsphase). In dieser Zeit erfolgte die Erhebung aller Kennzahlen zur Ermittlung der tierindividuellen Energiesalden um zu prüfen, inwieweit die Differenzen im Fettgehalt zwischen zwei Messungen die in diesem Zeitraum erhobenen Energiesalden bestätigen.

4. Material und Methoden

4.1 Tiermaterial und –haltung

Für den Versuch standen 30 nicht trächtige Fleckviehkühe zur Verfügung. Hiervon kamen 28 abgehende Kühe aus den Milchviehherden der Versuchsbetriebe der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL, Lehr-, Versuchs- und Fachzentrum für Milchvieh- und Rinderhaltung Achselchwang, Lehr-, Versuchs- und Fachzentrum für Milchviehhaltung Almesbach, Versuchsstation Grub). Zusätzlich wurden zwei besonders magere Tiere zugekauft. Zu den Abgangsgründen zählten Milchleistung (8 Tiere), Abort bzw. Verkalben (7 Tiere), Unfruchtbarkeit (5 Tiere), Melkbarkeit (4 Tiere), Fundamente (4 Tiere) und hohe Zellzahlen (2 Tiere). Die Kühe wurden gezielt ausgewählt, um eine weite Bandbreite an Körperkonditionen abzudecken. Als Maß für die Körperkondition diente dabei der BCS (siehe 4.4.1). Um einen möglichen Einfluss des Wachstums von Jungkühen auf die Körperzusammensetzung zu minimieren, wurden ausschließlich Tiere mit zwei oder mehr Laktationen ausgewählt. In Tabelle 1 sind die wesentlichen Kenndaten der Kühe zusammengefasst. Die tierindividuellen Daten hierzu sind dem Anhang zu entnehmen (Tabelle A-1).

Tabelle 1: Zusammenfassung wesentlicher Kenndaten der 30 Kühe am Tag der Schlachtung

Kenngroße	MW \pm s	Min	Max
Laktationsnummer	3,3 \pm 1,8	2	8
Laktationstag*	196 \pm 128	52	524
Milchleistung (kg)**	8.014 \pm 1.215	4.592	10.615
Alter (Jahre)	5,7 \pm 1,9	3,6	11,7
Anteil Fleckvieh (%)***	96,2 \pm 3,8	84	100
Lebendmasse (kg)****	742 \pm 101	416	869
BCS	3,73 \pm 0,74	1,75	5,00

* 22 laktierende Kühe, ** mittlere Lebensjahresleistung (LKV-Daten, n = 26), *** Genanteil (LKV Bayern), **** Stallgewicht

Mit Ausnahme von einer Kuh, welche aufgrund von Fundamentproblemen direkt geschlachtet wurde, wurden die Tiere der LfL ca. 6 Wochen vor dem geplanten Schlachtermin in einem zum Versuchsbetrieb (Grub) gehörenden Anbindestall aufgestellt. Hier konnten bis zu 4 Tiere gleichzeitig gehalten werden. Mit Hilfe von Trennwänden auf dem Futtertisch wurde die einzeltierbezogene Erfassung der Futteraufnahme realisiert. Die Tiere wurden zweimal täglich gemolken. Die beiden Zukaufstiere wurden aus Gründen des Seuchenschutzes auf einem landwirtschaftlichen Betrieb in der Nähe aufgestellt. Hier standen zwei Einzelboxen mit Stroheinstreu zur Verfügung. Hinsichtlich der Datenerhebung bestanden keine Unterschiede zu den Tieren im Versuchsbetrieb.

4.2 Rationsgestaltung und Fütterung

Um die Variation der Körperkondition der Tiere weiter zu erhöhen, wurden die Kühe in der Aufstallungsphase energetisch differenziert gefüttert. Fette Tiere (BCS > 3,5) erhielten die Futtervorlage *ad libitum* (n = 16), während magere Tiere (BCS < 3,5) unterversorgt wurden (n = 13; Ziel: -10

bis -15 MJ Nettoenergie Laktation (NEL)/Tag). Je nach geplanter Energieversorgung erhielten die Kühe Stroh und Mineralfutter oder rationiert die Teilmischung der Herde des Versuchsbetriebs, welche auf 25 kg Milch/Tag ausgelegt war. Zusätzlich wurden bis zu 2,5 kg pro Tag einer zugekauften Kraftfuttermischung vorgelegt. Die extern aufgestellten Zukaufstiere erhielten Heu (*ad libitum*). Da sich die Aufstallungsphase insgesamt über ein Jahr erstreckte und sich die Ration der Hauptherde des Betriebes änderte, kamen mehrere Teilmischrationen und Kraftfutterchargen zum Einsatz, welche in Tabelle 2 und Tabelle 3 exemplarisch beschrieben sind.

Die Kühe hatten freien Zugang zu Wasser. Die Futtervorlage erfolgte einmal täglich (morgens). Die tierindividuelle Bemessung der Futtermenge erfolgte dabei wöchentlich auf Basis der kalkulierten Energiesalden (GfE, 2001, siehe 4.7.1), wobei für den Energiegehalt der Milch pauschal 3,3 MJ NEL/kg angenommen wurden, da die Ergebnisse der Milchinhaltsstoffe nur zeitverzögert zur Verfügung standen.

Tabelle 2: Exemplarische Zusammensetzung und kalkulierter Energie- und Rohproteingehalt der Teilmischung

Futtermittel	% in der Frischmasse
Maissilage	53,3
Grassilage	29,1
Maiskornsilage	6,5
Heu	1,5
Stroh (Gerste)	1,2
Rapskuchen (8 % XL)	2,1
Sojapresskuchen	1,7
Weizen	1,5
Sojaextraktionsschrot (42 % XP)	1,3
Weizentrockenschlempe	1,3
Mineralfutter*	0,5
Energie (MJ NEL/kg TM)	7,0
Rohprotein (g/kg TM)	156
nutzbares Rohprotein (g/kg TM)	156

*Mineralfutter Rind (63,5 %), Kohlensaurer Kalk (31,7 %) und Viehsalz (4,8 %)

Tabelle 3: Zusammensetzung, Energie- und Rohproteingehalt der zugekauften Kraftfuttermischung

Futtermittel	% i. d. Frischmasse
Gerste (zweizeilig)	29,0
Weizen	28,0
Rapsextraktionsschrot	15,0
Sojaextraktionsschrot (44 % XP)	15,0
Körnermais	10,0
Kohlensaurer Kalk	1,5
Mineralfutter Rind (20 % Ca, 5 % P)	1,0
Viehsalz	0,5
Energie (MJ NEL/kg TM)	7,9
Rohprotein (g/kg TM)	220
nutzbares Rohprotein (g/kg TM)	191

4.3 Datenerhebung zur Berechnung der Energiesalden

Die Erfassung der tierindividuellen Futteraufnahme erfolgte täglich über die Berücksichtigung der gemessenen Futterein- und -rückwaage. Die eingesetzten Futtermittel (Teilmischrationen, Stroh, Heu, Kraftfutter) wurden im Futtermittellabor in Grub auf ihren Gehalt an Trockenmasse (TM) und Rohnährstoffen (Rohprotein (XP), Rohfaser (XF), Rohasche (XA), Rohfett (XL)) untersucht. Das entsprechende Beprobungsschema ist in Tabelle 4 zusammengefasst.

Tabelle 4: Beprobungsschema der im Versuch eingesetzten Futtermittel

Futtermittel	TM-Gehalt	Rohnährstoffe
Teilmischration	2 x pro Woche	Mischprobe (1 Woche)
Stroh	1 x pro Woche	Mischprobe (4 Wochen)
Heu	1 x pro Woche	Mischprobe (4 Wochen)
Kraftfutter	1 x pro Charge	1 x pro Charge

Zur Bestimmung der *in vivo*-Verdaulichkeit der eingesetzten Teilmischrationen und Kraftfutterchargen wurden Verdauungsversuche nach den Leitlinien der Gesellschaft für Ernährungsphysiologie (GfE, 1991) durchgeführt. Dabei kamen jeweils fünf Hammel der Rasse Merinofleischschaf zum Einsatz. Die Verdaulichkeitswerte von Heu und Stroh wurden den Futterwerttabellen für Wiederkäuer (DLG, 1997), den analysierten Rohnährstoffen entsprechend, entnommen. Die Erfassung der Milchleistung erfolgte bei allen Melkungen mittels LactoCorder®. Einmal pro Woche wurden vom Abendmelk und dem darauf folgenden Morgengemelk entsprechende Proben für die Ermittlung der Milchinhaltsstoffe gezogen. Die Erfassung der Lebendmasse erfolgte im wöchentlichen Rhythmus vor der Futtervorlage sowie am Tag der Schlachtung.

4.4 Methoden zur Schätzung des Körperfettgehaltes

Die im Folgenden beschriebenen nicht invasiven Methoden (4.4.1 bis 4.4.5) zur Schätzung des Lehrkörperrohffettgehaltes (LKXL) wurden mindestens zu Beginn der Aufstallungsphase und vor der

Schlachtung angewandt. Die entsprechenden Erhebungen wurden alle am selben Tag nach der Morgenmelkung und vor der Futtervorlage durchgeführt. Die für die invasiven Methoden erforderliche Probenahme erfolgte lediglich am Tag der Schlachtung (Leptin, Fettzellgröße).

4.4.1 Body Condition Score

Die Bewertung der Körperkondition mittels BCS erfolgte mit Hilfe einer 5-stufigen Skala nach den Angaben von Edmonson et al. (1989) und Jilg und Weinberg (1998). Ein Team von zwei nicht wechselnden Personen beurteilte die Tiere dabei visuell und palpatorisch in Viertelnotenschritten. Die Messung erfolgte während der Aufstallungsphase wöchentlich und am Tag der Schlachtung der Tiere.

4.4.2 Rückenfettdicke

Für die Messung der Rückenfettdicke wurde ein transportables B-Modus Ultraschallgerät (5 - 7,5 MHz, Tringa Linear Vet, Esaote Europe BV, Maastricht, Niederlande) mit einer Endolinsonde verwendet. Als Kontaktmittel diente verdünnter Alkohol (70 prozentig). Dabei wurde der Schallkopf zum Schutz vor der auf Dauer schädigenden Wirkung des Alkohols mit einem mit Ultraschallgel gefüllten Finger eines Einweglaborhandschuhs (Vinyl) überzogen. Da eine separate Vermessung der Hautstärke (5 bis 6 mm) nur unpräzise möglich ist und die Hautstärken zwischen den Tieren kaum schwanken (Schneider et al., 2005), wurde die gesamte Strecke von der Hautoberfläche bis zur *Fascia profunda* ultrasonografisch ausgemessen und in mm RFD angegeben. Die Messungen erfolgten stets auf der rechten Körperhälfte. Insgesamt wurden drei Messpunkte geprüft (Abbildung 2):

RFD 1 befand sich in Anlehnung an Schröder und Staufenbiel (2006) zwischen dem caudalen Viertel und Fünftel auf der Verbindungslinie zwischen dem dorsalen Teil des Sitzbeinhöckers (*Tubercosxae*) und der Mitte des Hüftbeinhöckers (*Tuber ischiadicum*). Der Messpunkt wurde exakt ausgemessen und anschließend unterhalb des Schallkopfaufsatzes mit einer kleinen Rasur markiert. Dadurch wurde die genaue Wiederfindbarkeit der Messstelle garantiert, ohne die Messung durch das Entfernen des Haarkleides zu beeinflussen.

RFD 2 lag ebenfalls in Anlehnung an Schröder und Staufenbiel (2006) cranial eine Handbreite vom Sitzbeinhöcker entfernt, wobei in der Vertikalen nach der maximalen Fettauflage gesucht wurde.

RFD 3 wurde in Anlehnung an Bruckmaier et al. (1998b) auf Höhe des 3. und 4. Lendenwirbels orthogonal zur Wirbelsäule über den Querfortsätzen (*Processus transversi*) gemessen.

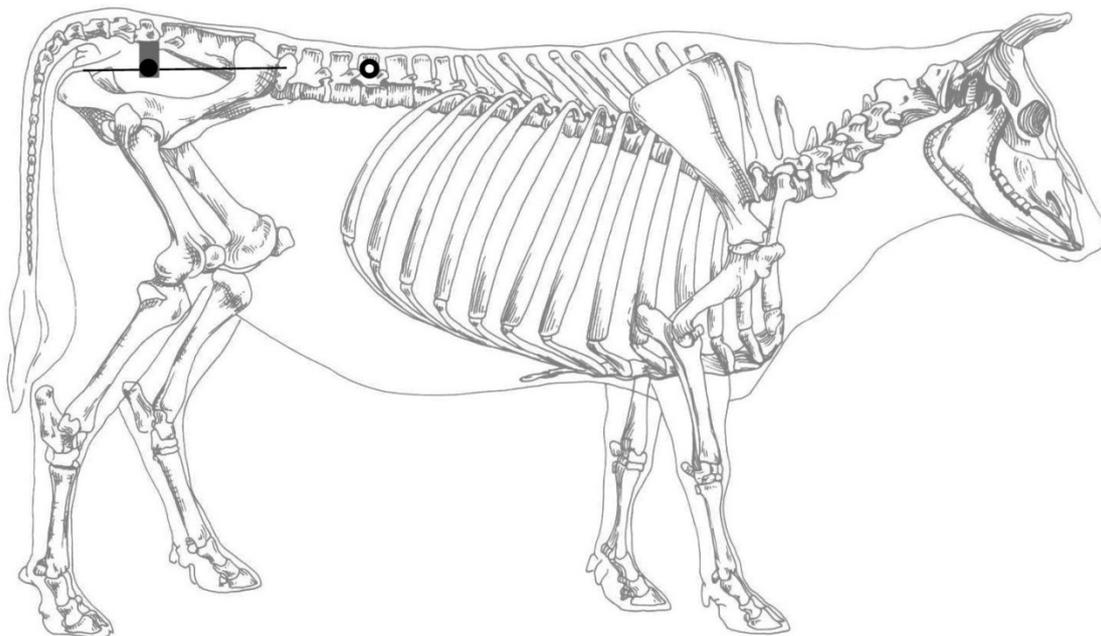


Abbildung 2: Veranschaulichung der Messpunkte der Rückenfettdicke (RFD; ● RFD 1, ■ Bereich für RFD 2, ○ RFD 3; Bildquelle: Löffler, 2002)

4.4.3 Muskeldicke

Die Vermessung der Muskeldicke (MD) erfolgte mit dem oben genannten Ultraschallgerät (4.4.2) am Messpunkt RFD 3 über den Querfortsätzen orthogonal zur Wirbelsäule zu Versuchsbeginn und vor der Schlachtung. Dabei wurde in Anlehnung an Bruckmaier et al. (1998a) die maximale Ausdehnung des *Musculus longissimus dorsi* gewählt. Die Stärke der Haut und die des Unterhautfettgewebes wurden mit eingeschlossen (Abbildung 3).

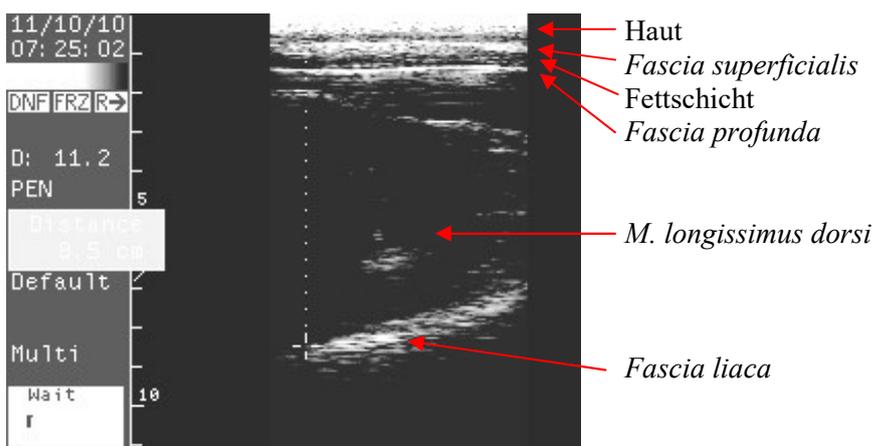


Abbildung 3: Sonografische Messung der Muskeldicke (maximale Ausdehnung des *Musculus longissimus dorsi*) auf Höhe des 3. und 4. Lendenwirbels orthogonal zur Wirbelsäule über den Querfortsätzen

4.4.4 Bioelektrische Impedanzanalyse

Physikalisch betrachtet wird bei der Bioelektrischen Impedanzanalyse (BIA) der Widerstand des Körpers gegen einen schwachen Wechselstrom gemessen und über das Volumen auf den Gesamtkörperwasser- bzw. -fettgehalt geschlossen. Die Erfassung des Volumens erfolgt dabei indirekt über die Vermessung des Körpers in Verbindung mit der LM. Für die BIA wurde ein Multifrequenz-Impedanzanalysator (BIA 2000 M, Data Input GmbH, Frankfurt/Main) verwendet. Laut Herstellerangaben verfügt das Gerät über einen Messbereich von 0 bis 1.300 Ω bei einer Messgenauigkeit von $\pm 2\%$. Das Gerät erzeugt über zwei Elektrodenpaare (tetrapolar) ein schwaches Stromfeld im Körper und misst die Resistanz (Wirkwiderstand, R), den Widerstand des elektrolythaltigen Gesamtkörperwassers, sowie die Reaktanz (Blindwiderstand, X_C), als Maß für die Kondensatoreigenschaft der Zellmembranen. Die Impedanz (Z) errechnet sich dann aus der geometrischen Addition der beiden Teilwiderstände ($Z = \sqrt{R^2 + X_C^2}$). Der Wassergehalt errechnet sich nach mathematisch-physikalischen Grundlagen dann aus Körperlänge²/Impedanz. In der vorliegenden Untersuchung wurde die Körperlänge um weitere Messstrecken ergänzt (siehe Tabelle 5), um eine durch die Annäherung an die tatsächliche Messstrecke (MS) mögliche Verbesserung der Schätzgenauigkeit prüfen zu können.

Tabelle 5: Beschreibung der erfassten Maße im Rahmen der Bioelektrischen Impedanzanalyse

Messstrecke (MS)	Lokalisation
MS I	Strecke zwischen den Sensorelektroden von Messpunkt A
MS II	Parallel zur Kuh gedachte Strecke vom Bug bis zum Ende der Kuh
MS III	Strecke zwischen den Sensorelektroden von Messpunkt C
MS IV	Strecke zwischen den Sensorelektroden von Messpunkt D
WRH	Widerristhöhe
KBH	Kreuzbeinhöhe
BU	Brustumfang
Euter	Euter: gedachte Verbindungslinie zwischen den cranialen Elektroden (Querschnitt durch das Euter)

Die Messungen wurde im Anschluss an die morgendliche Melkung durchgeführt (Abbildung 4). Die Tiere hatten dabei Zugang zu Tränkwasser, bekamen aber vor der Messung noch kein Futter vorgelegt. Da die Fixierung mit Metallgittern und die Beschaffenheit des Untergrunds keinen Einfluss auf die BIA haben (Thompson et al., 1997), wurde die Messung direkt am Kuhplatz im Anbindestall durchgeführt und die Tiere im Fressfanggitter arretiert. Ein Kontakt zwischen Stalleinrichtung und Kuh innerhalb der Messstrecken wurde allerdings ausgeschlossen. Insgesamt wurden sechs verschiedene Elektrodenplatzierungen (Messpunkte A bis F) geprüft, welche mit Ausnahme der Elektroden am Euter alle auf der rechten Körperhälfte lagen. Zwei Messpunkte wurden dabei

aus der Literatur übernommen (Berg und Marchello, 1994; Thompson et al., 1997). Eine Beschreibung der Elektrodenplatzierung der einzelnen Messpunkte ist Tabelle 6 zu entnehmen. In Abbildung 5 sind die entsprechenden Elektrodenplatzierungen zusätzlich graphisch dargestellt. Die Messung der BIA erfolgte wöchentlich an allen Messpunkten, mit Ausnahme von Messpunkt F (Euter), welcher nur am Schlachttag erfasst wurde. Mit dem letztgenannten Messpunkt sollte lediglich der Euterfettgehalt ermittelt werden, um zu prüfen inwieweit mittels BIA auch die Euterverfettung geschätzt werden kann. Die einzelnen Messpunkte wurden vor der Messung rasiert und mit einem Papiertuch trocken gerieben. Um den Kontakt zwischen Elektrode (Einweg-Ag/AgCl- Elektroden, Bianostic AT®) und Haut zu optimieren, wurde eine dünne Schicht EKG-Elektrodengel (P.J. Dahlhausen & Co.GmbH, Köln) aufgetragen. Die Messungen wurden an allen Messpunkten mit zwei Frequenzen (5 und 50 kHz) durchgeführt. Neben den Teilwiderständen wurde der vom Gerät angegebene Gesamtwiderstand als geräteinterne Kontrolle überprüft. Außerdem erfolgte die Überprüfung der Übergangswiderstände (Ziel < 300 Ω) zwischen den Elektroden und der Körperoberfläche, um die Verfälschung der Messwerte durch eine fehlerhafte Elektrodenqualität oder –platzierung oder mangelnde Extremitätendurchblutung ausschließen zu können.



Abbildung 4: Messung der Bioelektrischen Impedanz (links: Messpunkt D, rechts: Messpunkt B)

Tabelle 6: Beschreibung der Elektrodenplatzierung der verschiedenen Messpunkte der Bioelektrischen Impedanzanalyse

Messpunkt	Elektrodenpaar	Elektrodenplatzierung
A	Cranial	Stromelektrode: in mittlerer Höhe des Rumpfes, 2 cm caudal der Schulterblattgräte (<i>Spina scapulae</i>) Sensorelektrode: 10 cm caudal der Stromelektrode
	Caudal	Stromelektrode: 5 cm cranial vom Ende der Kuh auf Höhe des cranialen Elektrodenpaars Sensorelektrode: 15 cm cranial vom Ende der Kuh auf Höhe des cranialen Elektrodenpaars
B	Cranial und caudal	Stromelektroden: jeweils außen an der Vorder- und Hintergliedmaße 8 cm über den Afterklauen Sensorelektroden: jeweils 10 cm über den Stromelektroden
C	Cranial	In Anlehnung an Thompson et al. (1997): Sensorelektrode: an der dorsalen Spitze des Schulterblattes 1 cm rechts der Wirbelsäule Stromelektrode: senkrecht (10 cm) ventral der Sensorelektrode
	Caudal	Stromelektrode: rechts der Afterfalte Sensorelektrode: 10 cm ventral der Stromelektrode auf dem Sitzbeinhöcker
D	Cranial	In Anlehnung an Berg und Marchello (1994): (alle Elektroden 1 cm rechts der dorsalen Mittellinie) Stromelektrode: 10 cm caudal des letzten Halswirbels Sensorelektrode: 20 cm caudal des letzten Halswirbels
	Caudal	Stromelektrode: 5 cm cranial des Kreuzbeins Sensorelektrode: 15 cm cranial des Kreuzbeins
E	Cranial	Stromelektrode: caudal auf dem großen Höcker des Oberarmbeins (<i>Humerus</i>) Sensorelektrode: 10 cm dorsal der Stromelektrode
	Caudal	Sensorelektrode: auf der Hälfte der Strecke zwischen der Unterkante des Sitzbeinhockers und dem Mittelpunkt des Fersenbeins Stromelektrode: 10 cm dorsal der Stromelektrode
F	Rechtsseitig	Stromelektrode: vertikal auf der halben Euterhöhe, horizontal auf Höhe der cranialen Zitze Sensorelektrode: vertikal auf der halben Euterhöhe, horizontal auf Höhe der caudalen Zitze
	Linksseitig	Stromelektrode: vertikal auf der halben Euterhöhe, horizontal auf Höhe der caudalen Zitze Sensorelektrode: vertikal auf der halben Euterhöhe, horizontal auf Höhe der cranialen Zitze

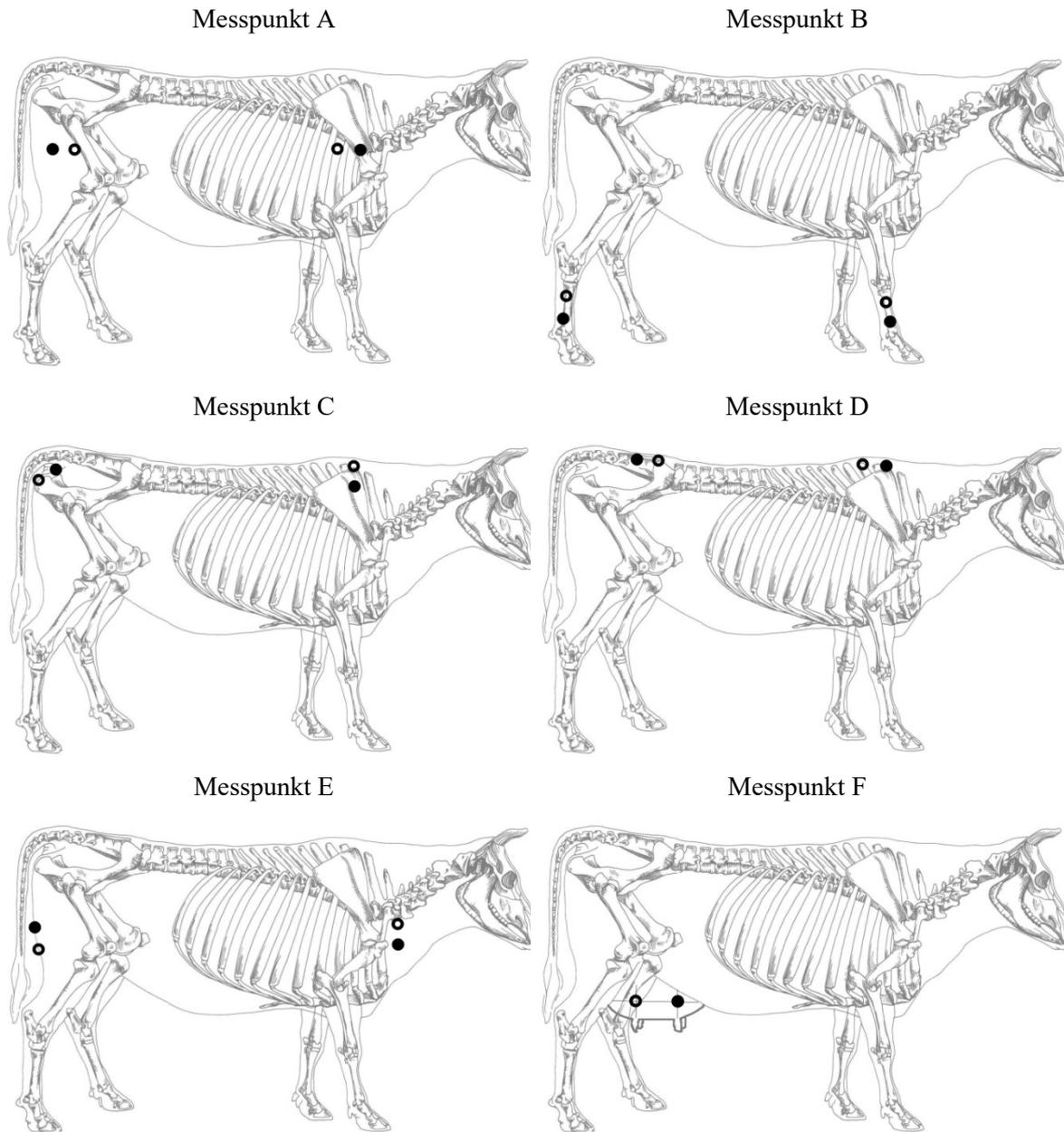


Abbildung 5: Platzierung der Elektroden der 6 Messpunkte für die Messung der Bioelektrischen Impedanzanalyse (○ Sensorelektrode, ● Stromelektrode; Beschreibung der Elektrodenplatzierung der einzelnen Messpunkte befindet sich in Tabelle 6; Bildquelle: Löffler, 2002)

Da die Ergebnisse vom Volumen des Körpers abhängen welches nicht zu erfassen war, erfolgte eine indirekte Beschreibung dieser Größe mit Hilfe verschiedener Messstrecken per Maßband (Tabelle 5) und der Lebendmasse (LM). Die elektrische Leitfähigkeit von Materialien ist temperaturabhängig und besonders die Extremitäten und obere Gewebeschichten von Körpern können je nach Außentemperatur geringere Temperaturen als der Rumpf aufweisen. Um diesen Faktor bei der Auswertung berücksichtigen zu können, wurde zusätzlich die Temperatur protokolliert. Da die Messung der Oberflächentemperatur der Tiere keine zufriedenstellenden Ergebnisse lieferte, wurde alternativ die Raumtemperatur auf Höhe des Stallbodens mit einem digitalen Stabthermometer aufgezeichnet.

An einem zufällig gewählten Tag während der Aufstallungsphase wurden zusätzliche Messungen durchgeführt, um die Wiederholbarkeit der Methode erfassen zu können. Dazu wurden die Werte für R und X_C an den Messpunkten A bis E an 2 Kühen in 10 direkt aufeinanderfolgenden Wiederholungen gemessen.

4.4.5 Hautfaltendicke

Insgesamt wurden elf Messpunkte gewählt, welche sich entweder auf der rechten Körperseite oder medial befanden. Eine Übersicht der Messpunkte befindet sich in Tabelle 7 sowie in Abbildung 6. Für die Messung der Hautfaltendicke wurde zwischen Daumen und Zeigefinger eine vertikale Hautfalte angehoben und diese mit einem Caliper (Skinfold Caliper, SAEHAN Corporation, Masan, Korea) vermessen (Abbildung 7). Dabei übten die beiden Messarme des Calipers unabhängig von der Dicke der zu messenden Schicht einen konstanten Druck auf das Gewebe aus (10 g/mm²). Die vom Hersteller angegebene Messgenauigkeit beträgt ± 1 mm.

Für die Prüfung der Wiederholbarkeit der Methode wurde die Messung an allen 11 Messpunkten an einer Kuh in 7 Wiederholungen und an zwei weiteren Tieren in jeweils 10 Wiederholungen durchgeführt.

Tabelle 7: Beschreibung der Messpunkte für die Erfassung der Hautfaltendicke

Messpunkt	Lokalisation
1	Kaudal über der Mitte des Sitzbeinhöckers (<i>Tuber ischiadicum</i>)
2	Auf der halben Distanz zwischen dem Sitzbeinhöcker und dem Mittelpunkt des Fersenbeins (<i>Calcaneus</i>)
3	10 cm senkrecht oberhalb von Messpunkt Nr. 2 auf der Verbindungslinie zwischen Sitzbeinhöcker und Fersenbein
4	Die Mitte der Hautfalte am Übergang zwischen Hinterlauf und Bauch (Schenkelfalte)
5	Auf dem Schnittpunkt der 13. Rippe und dem Lot ausgehend von der Hälfte der Strecke zwischen dem Mittelpunkt des Hüfthöckers (<i>Tuber coxae</i>) und dem letzten Brustwirbel (<i>Vertebrae thoracicae</i>)
6	Die Mitte der Hautfalte am Übergang zwischen Vorderlauf und Bauch (Achselfalte)
7	Auf der Hälfte der Verbindungslinie zwischen dem Mittelpunkt des Ellenbogenhöckers (<i>Tuber olecrani</i>) und der dorsalen Spitze des Schulterblattes (<i>Scapula</i>).
8	Auf der Hälfte der Strecke zwischen der dorsalen Spitze des Schulterblattes (<i>Scapula</i>) und dem caudalen Ansatz der Ohrmuschel (<i>Auricula auris</i>), senkrecht über der Wirbelsäule
9	Auf der Hälfte der Verbindungslinie zwischen den Messpunkten 8 und 10
10	Die Halsfalte (Wamme) senkrecht unterhalb von Messpunkt Nr. 8
11	Die Halsfalte (Wamme) zwischen den Vordergliedmaßen

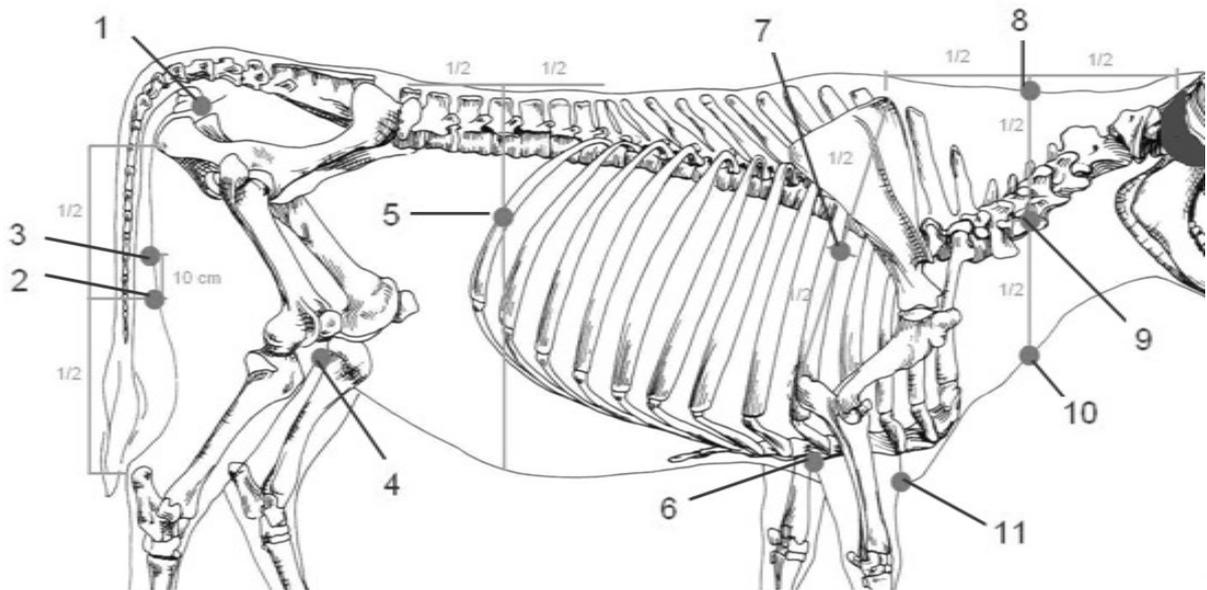


Abbildung 6: Die Messpunkte der Hautfaltendicke (Eine Beschreibung der Messpunktlokalisation befindet sich in Tabelle 7; Bildquelle: Löffler, 2002)



Abbildung 7: Messung der Hautfaltendicke mittels Caliper (Messpunkt 5)

4.4.6 Leptinkonzentration

Im Rahmen der Schlachtung wurde nach dem Halsbruststich zum Entbluten der Kühe Blut aufgefangen und unverzüglich in Blutröhrchen (S-Monovette Serum, Sarstedt AG & Co., Nürnberg) überführt. Anschließend wurden die Proben 13 min. bei 1.800 g und 18 °C zentrifugiert. Das überstehende Serum wurde abpipettiert und bei -80 °C gelagert. Die Analyse der Leptinkonzentrationen

erfolgte im Institut für Tierwissenschaften, Abteilung Physiologie und Hygiene der Universität Bonn mittels double antibody enzyme immunoassay wie bei Sauerwein et al. (2004) beschrieben.

4.4.7 Fettzellgröße

Für die Ermittlung der Fettzellgrößen wurde den Schlachtkörpern (28 Tiere) eine subkutane (FZGs) und eine viscerale (FZGr) Fettgewebeprobe entnommen. Für die subkutane Probe wurde nach dem Ablösen der Haut vom Schlachtkörper auf Höhe des RFD-Messpunktes RFD 1 (siehe 4.4.2) anhaftendes subkutanes Fett gewonnen. Als viscerale Probe wurde Nierentalg verwendet (retroperitoneal). Beide Proben wurden in Kryoröhrchen überführt, mit flüssigem Stickstoff schockgefrostet und anschließend bei -80 °C gelagert.

Die Vermessung der Fettzellgröße wurde im Institut für Tierwissenschaften, Abteilung Physiologie und Hygiene der Universität Bonn durchgeführt. Dazu wurden die Proben in einem Kryostat (Leica CM3050 S, Leica Microsystems, Wetzlar, Deutschland) in $14\text{ }\mu\text{m}$ dicke Gewebescheiben geschnitten und anschließend auf Objektträger (Superfrost Plus, Menzel, Braunschweig, Deutschland) überführt. Für die Fettextraktion wurden die Proben für vier Stunden in eine Methanol-Chloroform-Lösung (1:1) verbracht. Anschließend wurden die Gewebeschnitte eine Stunde getrocknet, fünf Minuten mit 1x Phosphat-gepufferter Kochsalzlösung rehydriert und mit destilliertem Wasser abgespült. Die Schnitte wurden mit Mayer's Hämalaun (Merck, Darmstadt) gebläut (10 Minuten) und mit Kaisers Glyceringelatine (Merck, Darmstadt) fixiert. Die gefärbten Gewebeschnitte wurden bei 200-facher Vergrößerung unter einem Lichtmikroskop (Leica DMR, Leica Microsystems, Wetzlar, Deutschland) mit einer Digitalkamera (KY-F7U, Hachioji Plant of Victor Company of Japan, Ltd., Yokohoma, Japan) fotografiert. Die Vermessung der Fettzellgrößen erfolgte im Anschluss mit Hilfe eines Computerprogramms (DISKUS Software, 4. Version, Hilgers, Königswinter, Deutschland). Dazu wurden je Probe 100 zufällig ausgewählte Fettzellen vermessen (μm^2) und die Flächen anschließend gemittelt (Abbildung 8). Die Auswertung der Fettzellgrößen wurde dabei von derselben Person durchgeführt.

Zur Bestimmung der Wiederholbarkeit der Messung wurden einzelne Fettzellen von 5 verschiedenen Kühen in 2 bis 4 Wiederholungen vermessen. Dabei kamen 3 Proben aus dem subkutanen und 12 aus dem visceralen Fettgewebe.

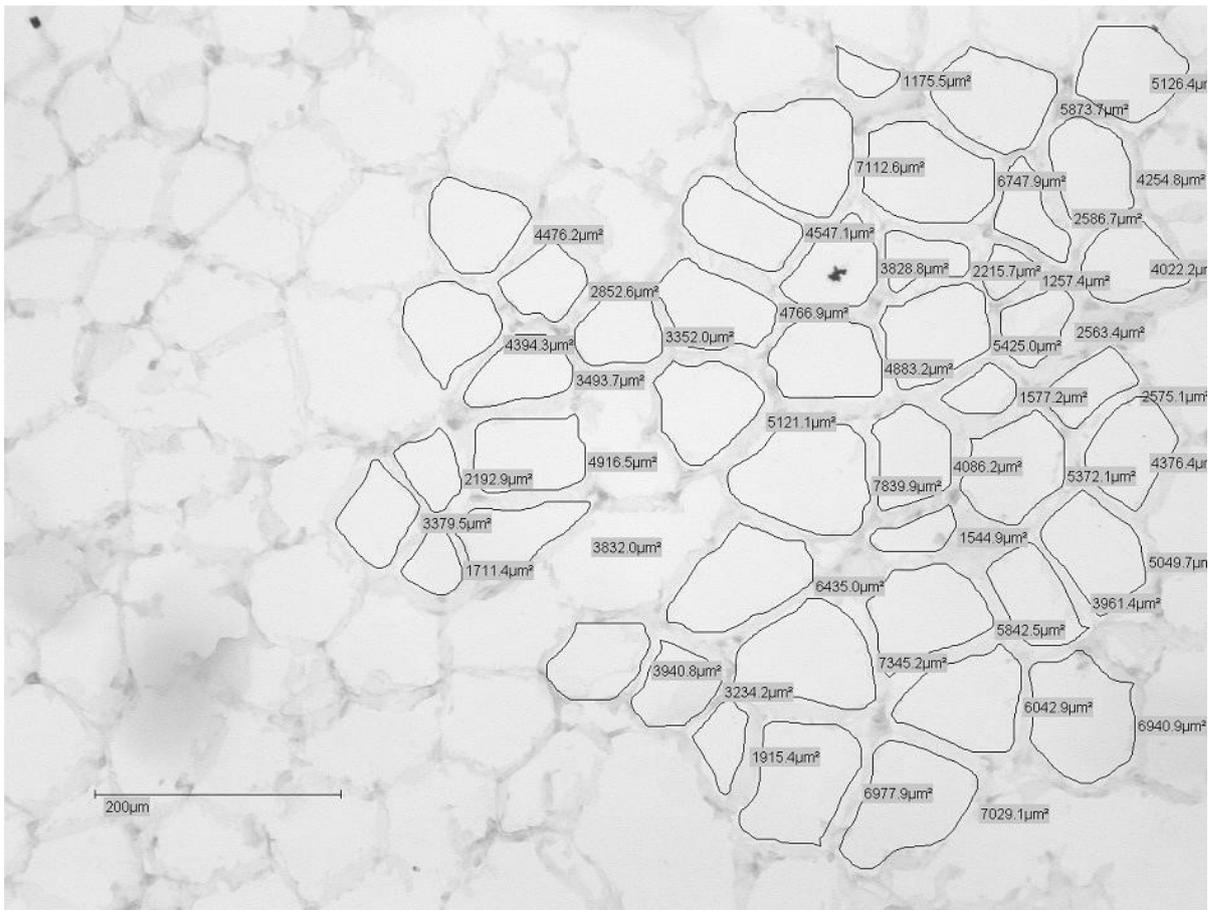


Abbildung 8: Beispiel der Vermessung der Fettzellgröße an einem histologischen Schnitt (200-fache Vergrößerung; Maßstabsbalken = 200 µm)

4.5 Bestimmung des Körperfettgehaltes mittels Ganzkörperanalyse

Am Tag der Schlachtung wurden die Kühe nach der morgendlichen Melkung und der Erhebung der Daten der verschiedenen Messmethoden zur Schätzung des Körperfettgehaltes zum Versuchsschlachthaus der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft in Grub verbracht und bis zur Schlachtung für etwa 4 Stunden in Einzelboxen untergebracht. Am Schlachttag wurde kein Futter vorgelegt.

4.5.1 Schlachtung und Zerlegung der Tiere

Die Kühe wurden gemäß kommerziellen Standardpraktiken mit einem Bolzenschussapparat betäubt, gewogen und anschließend ausgeblutet, wobei das Blut quantitativ aufgefangen wurde. Während der Schlachtung wurden die Tierkörper zerlegt, verwogen und in separaten Fraktionen weiterbearbeitet. Am Schlachttag umfassten die Fraktionen das Euter, den Gastrointestinaltrakt (GIT), die Leber inklusive Gallenblase (im Folgenden als Leber bezeichnet), den Nierentalg separat und die übrigen Innereien zusammen mit dem Blut (im Folgenden als Organe bezeichnet). Der GIT wurde verwogen, anschließend geleert, gespült und abermals verwogen. Die Haut wurde mit einer praxisüblichen Häutungsmaschine vom Schlachtkörper getrennt, so dass sich technisch bedingt Teile des Unterhautfettes sowohl am Schlachtkörper als auch an der Haut befanden. Nach dem Verwiegen

wurde die Haut mittig entlang der Dorsallinie in zwei Hälften geteilt. Die rechte Hälfte wurde abermals verwogen und bis zur weiteren Verarbeitung bei -18 °C gelagert. Der Schlachtkörper und der Kopf wurden möglichst genau halbiert und die Füße unterhalb der Karpalgelenke abgetrennt. Die jeweils rechten Hälften bzw. Körperteile wurden zusammen mit dem Schwanz nach der Erfassung des Warmgewichts bis zur weiteren Bearbeitung bei 4 °C gelagert.

Am Tag nach der Schlachtung wurden die Körperteile vor der weiteren Verarbeitung erneut gewogen (Kaltgewicht), um Wasserverluste als Gewichtsunterschiede erfassen zu können. Auf Höhe der 9. Rippe wurde für die Bestimmung des intramuskulären Fettgehaltes (IMF) eine Probe aus dem *Musculus longissimus dorsi* entnommen, welche bis zur Verarbeitung bei -18 °C gelagert wurde. Die verbleibenden Körperteile wurden anschließend wie folgt zerlegt: Muskeln mit anhaftendem Gewebe (im Folgenden als Muskeln bezeichnet), Weichgewebe des Schwanzes und Knochen. Die Knochen wurden zu faustgroßen Stücken zersägt und bis zur weiteren Aufarbeitung bei -18 °C aufbewahrt. Abbildung 9 veranschaulicht die Aufteilung der Körperbestandteile der Kühe für die weitere Aufbereitung.

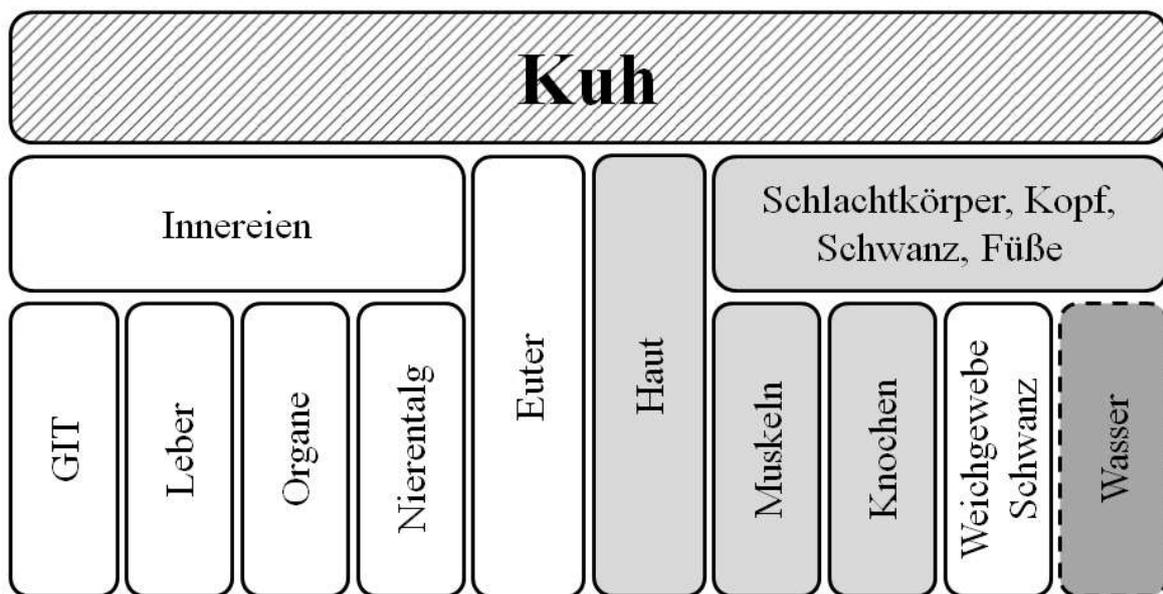


Abbildung 9: Übersicht über die Aufteilung der Kühe in Gewebefractionen (weiß hinterlegte Fraktionen: komplette Verarbeitung; hellgrau hinterlegte Fraktionen: Verarbeitung der jeweils rechten Hälfte; dunkelgrau hinterlegte Fraktion: Wasserverluste während der Verarbeitung, über Gewichtsunterschiede von Schlachtkörper, Kopf, Schwanz und Füßen ermittelt; GIT = Gastrointestinaltrakt, Organe = Innereien mit Blut ohne Leber, GIT und Nierentalg)

4.5.2 Aufbereitung der Körperfraktionen

Alle weichen Gewebeteile wurden mit Hilfe eines Fleischwolfs (EW 114, K+G Wetter, Biedenkopf-Breidenstein) mit einer Lochscheibe von 1 mm Lochdurchmesser zerkleinert. Um eine bessere Homogenisierung des Materials zu erreichen, wurden die Fraktionen ein zweites Mal bei einem

Lochdurchmesser der Scheibe von 3 mm durch den Fleischwolf gedreht. Die Haut wurde mit Hilfe eines Kutters (LAD 35a, Sachsenwerk Niedersiedlitz-Dresden) zerkleinert und die Knochen mit einer Knochenmühle (P 46, Siepmann GmbH, Herdecke) vermahlen. Dabei wurden die Knochenspäne des Schwanzes vermischt, verwogen und anteilig unter die Knochenspäne der rechten Körperhälfte gemischt.

Nach der Zerkleinerung wurden alle Chargen sorgfältig mit einem Betonrührer gemischt und beprobt. Für die chemische Analyse wurden die Proben der weichen Gewebefractionen (Euter, GIT, Leber, Nierentalg, Organe, Muskeln, Weichgewebe des Schwanzes) mit einer Industriemoulinette bei 6.000 U/min im Intervallbetrieb vermust. Die Knochenproben wurden mit flüssigem Stickstoff behandelt und anschließend mit Hilfe einer Mühle feinst vermahlen. Die weitere Zerkleinerung der gekutterten Hautproben erfolgte mittels Kernbohrer. Hier wurden jeweils 5 bis 6 Löcher in die tiefgefrorene Probe gebohrt und der entstandene Abrieb für die chemische Analyse homogenisiert.

4.6 Analytik

Milchinhaltstoffe

Die Analyse der Milchinhaltstoffe wurde vom Milchprüfing Bayern e.V. (im Zentrallabor Wolnzach) durchgeführt. Die Messung von Milchfett, -eiweiß, -lactose und -harnstoff erfolgte entsprechend den Routineverfahren der Milchleistungsprüfung mittels Infrarotspektroskopie (Milko-Scan FT 6.000, Foss Electric, Hillerød, Denmark).

Trockenmasse

Die Ermittlung des Trockenmassegehalts der Futter- und Gewebeproben erfolgte in einem Umluft-trockenschrank. Die Proben wurden bei 65 °C über 24 h bis zur Gewichtskonstanz vorgetrocknet und anschließend bei 105 °C für 4 h nachgetrocknet. Die Berechnung des Trockenmassegehalts erfolgte aus dem Verhältnis von Einwaage und Rückwaage.

Weender Rohnährstoffe

Für die chemische Analyse der Rohnährstoffe Rohprotein (XP), Rohasche (XA), Rohfaser (XF) und Rohfett (XL) wurden die Futterproben bei 65 °C über 24 h getrocknet, anschließend vermahlen und zu Mischproben zusammengefasst (Tabelle 4). Die Analyse der Rohnährstoffe erfolgte entsprechend den Vorschriften der Weender Futtermittelanalyse nach den VDLUFA-Methoden (VDLUFA, 2012) im Zentrallabor der LfL in Grub. Der Rohproteingehalt wurde mittels DUMAS-Verbrennungsmethode ermittelt. Dabei erfolgt eine oxidative Verbrennung der Proben bei 1.000 °C, wodurch die Stickoxide zu N₂ reduziert werden. Die Quantifizierung der N-Menge erfolgt mittels Leitfähigkeitsdetektion. Die quantitative Erfassung des Rohfettanteils erfolgte durch Extraktion mit Petrolether nach Säurehydrolyse (4N HCl) in einer Soxhlet-Apparatur. Die Bestim-

mung der Rohasche erfolgte mittels Veraschung bei 550 °C im Muffelofen. Für die Bestimmung der Rohfaser wurden die Proben mit mit siedender Schwefelsäure und Kalilauge behandelt und der Rückstand verascht.

Die Untersuchung der Gehalte an XP, XA und XL der Gewebeprouben erfolgte analog zur Vorgehensweise bei den Futterproben. Die Berechnung des XP-Gehaltes aus der N-Bestimmung erfolgte für alle Fraktionen mit dem Faktor 6,25.

Mengen- und Spurenelemente

Die Untersuchung der Mineralstoffe erfolgte in der Abteilung Qualitätssicherung und Untersuchungswesen (AQU) der LfL in Freising. Für die Analyse der Mengen- und Spurenelemente wurden die Gewebeprouben nach Zusatz einer Mischung aus Salzsäure und Wasserstoffperoxid unter Druck im Mikrowellenofen aufgeschlossen (Methode 10.8.1.2; VDLUFA, 2012) und die Elemente mittels Plasmaemissionsspektrometrie (ICP-OES) analysiert (Methode 10.8.2; VDLUFA, 2012). Dabei wurden die Konzentrationen der Mengenelemente Ca, K, Mg und S sowie die der Spurenelemente Cu, Fe und Zn untersucht. Das Element P wurde photometrisch bestimmt (Methode 10.6.1; VDLUFA, 2012).

4.7 Berechnungen

4.7.1 Berechnung der Energiesalden

Die Berechnung des Energiegehalts der Rationen erfolgte unter Einbeziehung der analysierten Rohnährstoffe und deren Verdaulichkeiten (siehe 4.3) anhand der Schätzgleichungen der GfE (2001). Die Kalkulation der täglichen Energieaufnahme erfolgte anschließend unter Verwendung des ermittelten Energiegehalts der Rationen bzw. des Kraftfutters sowie der tierindividuellen Fut-
teraufnahme. Der tägliche Energiebedarf errechnete sich aus Erhaltungsbedarf und Bedarf für Milchbildung (GfE, 2001). Letzterer wurde nach den Ausführungen des Ausschusses für Bedarfsnormen mit Hilfe der analysierten Milchinhaltsstoffe und einem Zuschlag von 0,1 MJ NEL/kg Milch berechnet, um den Rückgang der Verdaulichkeit mit steigendem Ernährungsniveau zu berücksichtigen. Ein Bedarf für Gravidität bzw. Energieansatz im Euter wurde nicht berücksichtigt, da keins der Tiere trächtig war. Die täglichen Energiesalden der Tiere errechneten sich anschließend aus der Differenz zwischen Energieaufnahme und dem kumulierten Energiebedarf.

4.7.2 Körperzusammensetzung der Kühe

Für die Berechnung der Körperzusammensetzung der Kühe wurden die Inhaltsstoffe der verarbeiteten Fraktionen aufsummiert (GIT, Leber, Organe, Nierentalg, Euter und Weichgewebe Schwanz). Die Konzentration der Inhaltsstoffe der rechten Hauthälfte wurde jeweils auf das gesamte Hautgewicht bezogen und zu den oben genannten Fraktionen addiert. Die Analysenergebnisse der Frak-

tionen Muskeln und Knochen wurden auf die Gewichte der entsprechenden Schlachtkörperhälften bezogen und zu den oben genannten Fraktionen addiert. Der ermittelte Wasserverlust der Schlachtkörperhälften wurde ebenfalls bei der Berechnung der Körperzusammensetzung berücksichtigt.

Die bei der Schlachtung entstandenen Verluste ergaben sich aus der Differenz zwischen dem Gewicht der aufsummierten Fraktionen plus Inhalt des GIT und dem der Blase und der kurz vor der Schlachtung erfassten Lebendmasse der Kühe. Bei der Berechnung der absoluten Körperzusammensetzung (kg) wurde angenommen, dass die Zusammensetzung der Verluste (XL, XP, Wasser und XA) der des analysierten Materials entspricht.

Das Gewicht der Leerkörper (LK) wurde definiert als Gesamtkörpermasse abzüglich Inhalt des GIT und der Harnblase.

4.8 Statistik

Die statistische Auswertung der Daten erfolgte mit dem Programmpaket SAS (Version 9.2, SAS Institut, Cary, NC, USA). Um die Ergebnisse der verschiedenen Methoden vergleichen zu können, wurde die Variable BCS trotz ihres diskreten ordinalskalierten Charakters als stetiges proportional-skaliertes Merkmal verrechnet.

Die Regressionsanalysen wurden unter Verwendung der PROC REG (lineare und polynomische Modelle) und PROC NLIN (exponentielle und logarithmische Modelle) Prozedur durchgeführt. Die Zielgröße war dabei hauptsächlich der in der Ganzkörperanalyse ermittelte Rohfettgehalt (kg oder %) der Kühe. Zur Beurteilung der Güte der linearen und polynomischen Regressionsmodelle dienten das Bestimmtheitsmaß (R^2) und der Standardfehler der Schätzung (RMSE). Dabei werden von PROC NLIN keine R^2 ausgewiesen, da diese Werte > 0 annehmen können. Bei Verwendung von Regressionen mit mehr als einem Regressor wurde das korrigierte Bestimmtheitsmaß (R^2_{korrt}) verwendet:

$$R^2_{\text{korrt}} = 1 - (1 - R^2) \times \frac{n-1}{n-p-1}$$

mit n = Anzahl der Beobachtungen und p = Anzahl der unabhängigen Variablen

Der Standardfehler der Schätzung (RMSE) wurde wie folgt abgeleitet:

$$RMSE = \sqrt{\sum \text{der Abweichungsquadrate} / n - k}$$

mit n = Anzahl der Beobachtungen und k = Anzahl der geschätzten Funktionsparameter

Korrelationskoeffizienten (r) zwischen Variablen wurden mit Hilfe der PROC CORR Prozedur berechnet (Pearsonscher Korrelationskoeffizient).

Als Maß für die Wiederholbarkeit von Messungen wurde der Variationskoeffizient (V_k) herangezogen:

$$V_k(\%) = \frac{s}{MW} \times 100$$

Als Signifikanzniveau für die Regressionsanalysen und Schätzung der Korrelationskoeffizienten wurde $\alpha = 0,05$ gewählt.

Um zu prüfen, inwieweit Energiesalden mit den untersuchten Schätzmethoden nachgehalten werden können, wurden die Ergebnisse der für die Schätzung des Körperfettgehaltes ermittelten Gleichungen der nicht-invasiven Methoden im Anschluss den Daten der Aufstallungsphase gegenübergestellt. Dazu wurde der absolute Leerkörperrohffettgehalt ($LKXL_{kg}$) der Kühe zu Beginn der Aufstallungsphase und zum Zeitpunkt der Schlachtung mit der jeweils genauesten Regressionsgleichung (Gütemaß: korrigiertes Bestimmtheitsmaß R^2_{kor} bzw. RMSE, siehe 4.8) der einzelnen Methoden geschätzt. Anschließend wurden die tierindividuellen Differenzen der ermittelten $LKXL_{kg}$ den aufsummierten täglichen Energiesalden zwischen den entsprechenden Messterminen gegenübergestellt.

5. Ergebnisse

5.1 Grobgewebliche und chemische Zusammensetzung der Schlachtkühe

Der aus der Gewichts Differenz zwischen vollem und leerem GIT errechnete Inhalt des GIT betrug im Mittel $81,8 \pm 18,8$ kg mit einem Schwankungsbereich von 60 bis 152 kg. Dabei konnte kein signifikanter Zusammenhang zwischen dem Inhalt des GIT und der Leerkörpermasse ermittelt werden ($p = 0,0690$).

Eine Übersicht über die LM und Leerkörpermasse (LKM) sowie die chemische Zusammensetzung der Leerkörper ist in Tabelle 8 gegeben. Die jeweiligen Einzelwerte der Tiere sind im Anhang (Tabelle A-2) aufgeführt. Entsprechend des Versuchsplans wurde eine große Varianz in der LM und der LKM erreicht. Die Mittelwerte (MW) lagen bei 736 ± 101 kg und 654 ± 106 kg. Der relative Leerkörperrohffettgehalt (LKXL_%) der Kühe lag im Mittel bei $17,1 \pm 5,9$ % mit Extremwerten von 2,3 % bis 28,9 %. Korrespondierend schwankte der Wassergehalt der Tiere zwischen 51 und 72 %. Demgegenüber war die Variation im XP- und XA-Gehalt zwischen den Kühen vergleichsweise niedrig (16 bis 21 % bzw. 4 bis 6 %).

Tabelle 8: Lebend- und Leerkörpermasse (LKM) der 30 untersuchten Kühe sowie die chemische Zusammensetzung der Leerkörper

Kenngroße	Einheit	MW	s	Min	Max
Lebendmasse	kg	736	101	414	865
Leerkörpermasse	kg	654	106	340	804
Rohfett	% LKM	17,1	5,9	2,3	28,9
	kg	117	52	10	231
Rohprotein	% LKM	18,6	1,0	16,4	20,9
	kg	121	16	71	149
Rohwasser	% LKM	59,7	4,7	50,7	71,7
	kg	386	45	226	449
Rohasche	% LKM	4,7	0,4	3,8	5,6
	kg	30	4	16	41

Abbildung 10 veranschaulicht die Beziehung zwischen der Veränderung der Körperzusammensetzung und der LKM. Für den LKXL_% und den Leerkörperwassergehalt (%) konnte jeweils ein enger Zusammenhang zur LKM ermittelt werden ($R^2 = 0,72$ bzw. $0,69$). Trotz der geringen Spannweite der Messwerte ergab sich auch für den Leerkörperrohproteingehalt (LKXP, %) ein relativ enger Zusammenhang zur LKM ($R^2 = 0,66$). Beim XA-Gehalt der Leerkörper (%) konnten hingegen nur 33 % der Variation der Ergebnisse durch die LKM erklärt werden ($p = 0,0008$). Die Abhängigkeit

der Gehalte der einzelnen Bestandteile des Leerkörpers von der LKM kann für das vorliegende Tiermaterial mit folgenden Gleichungen beschrieben werden (n = 30):

$$\text{Wasser (\%)} = -0,0000575 \text{ LKM}^2 \text{ (kg)} + 0,03204 \text{ LKM (kg)} + 63,9315 \quad (1)$$

$$R^2_{\text{korr}} = 0,69; \text{RMSE} = 2,62 \%; \text{P} < 0,0001$$

$$\text{XL (\%)} = 0,00006325 \text{ LKM}^2 \text{ (kg)} - 0,02869 \text{ LKM (kg)} + 8,0741 \quad (2)$$

$$R^2_{\text{korr}} = 0,72; \text{RMSE} = 3,14 \%; \text{P} < 0,0001$$

$$\text{XP (\%)} = -0,0080 \text{ LKM (kg)} + 23,8096 \quad (3)$$

$$R^2 = 0,66; \text{RMSE} = 0,61 \%; \text{P} < 0,0001$$

$$\text{XA (\%)} = -0,0023 \text{ LKM (kg)} + 6,1347 \quad (4)$$

$$R^2 = 0,33; \text{RMSE} = 0,34 \%; \text{P} = 0,0008$$

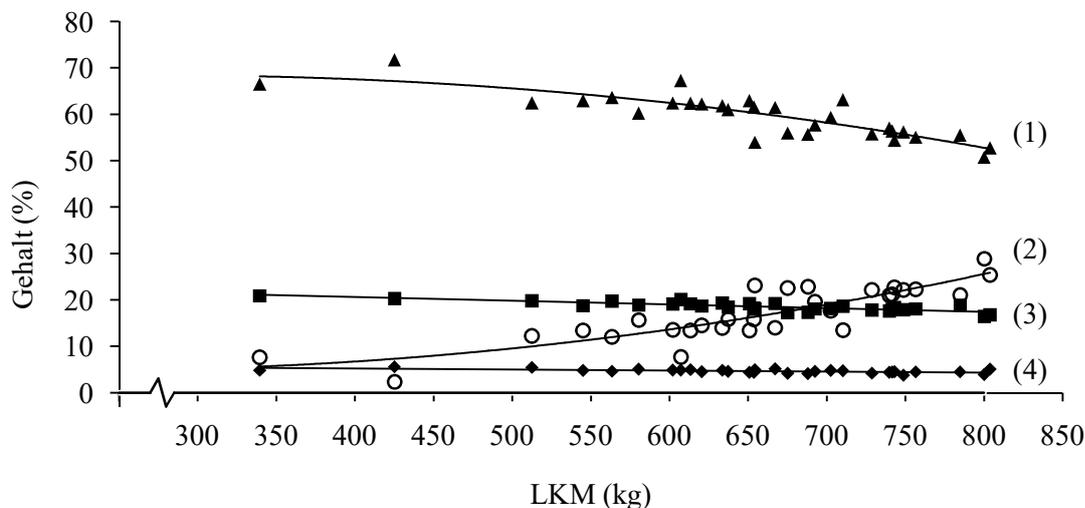


Abbildung 10: Chemische Zusammensetzung der 30 untersuchten Kühe (\blacktriangle Wasser, \blacklozenge XA, \circ XL, \blacksquare XP): Relativer Gehalt in Abhängigkeit der Leerkörpermasse (LKM, die Zahlen in Klammern entsprechen den Nummern der im Text angegebenen Gleichungen)

Die Zusammensetzung der LM in Abhängigkeit der LM ist in Abbildung 11 dargestellt. Bei den entsprechenden Regressionen ergaben sich folgende Gleichungen:

$$\text{Wasser (kg)} = 0,4066 \text{ LM (kg)} + 87,2109 \quad (5)$$

$$R^2 = 0,84; \text{RMSE} = 18,5 \text{ kg}; \text{P} < 0,0001$$

$$\text{XL (kg)} = 0,4422 \text{ LM (kg)} - 208,79 \quad (6)$$

$$R^2 = 0,73; \text{RMSE} = 27,8 \text{ kg}; \text{P} < 0,0001$$

$$\text{XP (kg)} = 0,1467 \text{ LM (kg)} + 12,7431 \quad (7)$$

$$R^2 = 0,90; \text{RMSE} = 5,0 \text{ kg}; \text{P} < 0,0001$$

$$\text{XA (kg)} = 0,0354 \text{ LM (kg)} + 4,1699 \quad (8)$$

$$R^2 = 0,71; \text{RMSE} = 2,3 \text{ kg}; \text{P} < 0,0001$$

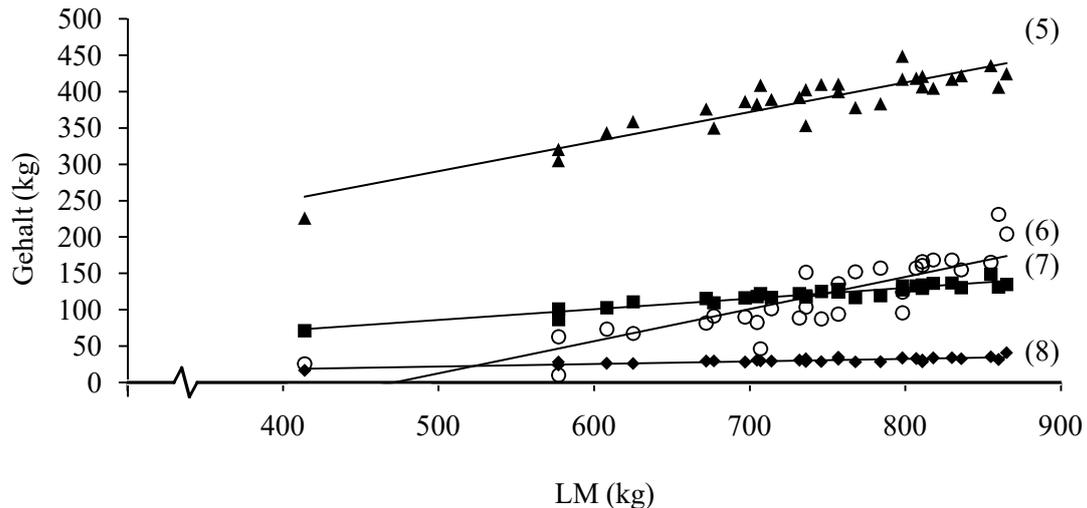


Abbildung 11: Chemische Zusammensetzung der 30 untersuchten Kühe (▲ Wasser, ◆ XA, ○ XL, ■ XP): Absoluter Gehalt in Abhängigkeit der Lebendmasse (LM, die Zahlen in Klammern entsprechen den Nummern der im Text angegebenen Gleichungen)

Aus den Anstiegen der Regressionen in Abbildung 11 ergab sich eine Zusammensetzung von einem kg LM-Änderung von 442 g XL, 147 g XP, 407 g Wasser und 35 g XA. Da die Summe der Regressionskoeffizienten (1.031 g) nicht genau einem kg entspricht, wurden sie anteilig auf ein kg LM korrigiert. Dabei ergaben sich folgende Gehalte in einem kg LM-Änderung: 429 g XL, 142 g XP, 394 g Wasser und 34 g XA.

Zusammensetzung der Schlachtkörperfraktionen

In Tabelle 9 sind die Mittelwerte der Teilgewichte der einzelnen Schlachtkörperfraktionen und deren chemische Zusammensetzung zusammengefasst, Einzelwerte finden sich im Anhang (Tabelle A-3 bis Tabelle A-10). Die mengenmäßig bedeutendste Fraktion waren die Muskeln, welche mehr als die Hälfte der gesamten LKM ausmachten. Der XL-Gehalt der Muskeln schwankte zwischen 1,4 und 29,2 %. Die Fraktion Weichgewebe Schwanz ist mit 1,2 kg fast vernachlässigbar. Sie wurde methodisch bedingt separat erfasst und verrechnet, spielte aber bei der Zusammensetzung der Kühe eine untergeordnete Rolle. Analog zum Leerkörper waren innerhalb der Fraktionen erhebliche Schwankungen im XL-Gehalt zu verzeichnen, während die XP- und XA-Konzentrationen vergleichsweise stabil waren.

Tabelle 9: Gewichte und chemische Zusammensetzung der Schlachtkörperfraktionen (MW \pm s) der 30 Kühe

Fraktion	Gewicht (kg)	XL (%)	XP (%)	Wasser (%)	XA (%)
GIT	60,8 \pm 13,7	28,5 \pm 12,4	11,1 \pm 1,8	59,6 \pm 10,6	0,8 \pm 0,3
Euter	23,8 \pm 9,1	13,3 \pm 6,4	10,7 \pm 1,3	74,9 \pm 6,5	1,1 \pm 0,4
Muskeln	342,4 \pm 68,5	17,2 \pm 6,3	19,3 \pm 1,2	62,7 \pm 5,1	0,9 \pm 0,1
Leber	10,6 \pm 2,0	4,8 \pm 0,8	20,8 \pm 0,9	72,9 \pm 1,1	1,5 \pm 0,1
Nierentalg	9,9 \pm 6,8	75,8 \pm 17,8	4,7 \pm 2,2	19,4 \pm 15,7	0,2 \pm 0,2
Haut	58,4 \pm 7,4	7,4 \pm 3,6	30,8 \pm 1,9	61,2 \pm 2,3	0,7 \pm 0,1
Knochen	70,2 \pm 5,9	18,4 \pm 3,2	20,1 \pm 0,8	26,0 \pm 4,5	35,5 \pm 3,4
Weichgewebe Schwanz	1,2 \pm 0,3	16,2 \pm 7,8	21,3 \pm 2,3	61,6 \pm 5,9	0,8 \pm 0,1
Organe	55,0 \pm 8,2	7,2 \pm 2,6	16,6 \pm 0,8	75,4 \pm 3,0	0,8 \pm 0,1

Abbildung 12 zeigt die XL- und XP-Gehalte der einzelnen Fraktionen in Abhängigkeit des LKXL_%, da die Zusammenhänge zum LKXL auf Basis relativer Gehalte unabhängig von Mengen darstellbar sind. Die entsprechenden Ergebnisse der Regressionsanalyse finden sich im Anhang (Tabelle A-11). Der XP-Gehalt war in der Haut am höchsten (30,8 %). Der XP-Gehalt der Fraktionen GIT, Nierentalg, Haut und Muskeln sank tendenziell mit zunehmender Verfettung, während bei den übrigen Fraktionen kein Zusammenhang zum Leerkörperfettgehalt erkennbar war. Beim XL-Gehalt der Fraktionen GIT, Muskeln und Organe lag ein linearer Zusammenhang zum LKXL_% vor, während der Anstieg des XL-Gehalts des Nierentalgs mit zunehmender Verfettung abnahm. Bei den Fraktionen Leber und Knochen gab es offensichtlich keinen Zusammenhang zwischen XL-Gehalt der entsprechenden Fraktion und dem der LK, wobei bei den Knochen erhebliche Schwankungen im XL-Gehalt zu verzeichnen waren. Besonders auffällig war die mit 6,4 % extrem niedrige XL-Konzentration des Knochengewebes der magersten Kuh, welche offenbar bereits Fett aus den Knochen mobilisiert hatte. Bei besonders mageren Tieren zeigte sich kein Zusammenhang zwischen dem XL-Gehalt der Haut und dem LKXL_%. Die XL-Konzentration der Haut schwankte in einem vernachlässigbaren Bereich von 1 und 3 %. Ab einem LKXL_% von über 10 % konnte jedoch ein linearer Anstieg des Haut-XL-Gehaltes beobachtet werden. Konträr dazu war bei der Fraktion Euter bei den mageren Kühen ein linearer Zusammenhang zum LKXL_% zu erkennen, der aber ab einem Anteil ca. 20 % nicht mehr ersichtlich war. Die höchste mittlere XL-Konzentration wurde mit 76 % im Nierentalg ermittelt, wobei eine hohe Varianz zu verzeichnen war. Der Nierentalg-XL-Gehalt der fettesten Kuh lag bei 92 %, während der Nierentalg der magersten Kuh neben XL (4,2 %) hauptsächlich aus Wasser (83,1 %) und XP (12,1 %) bestand.

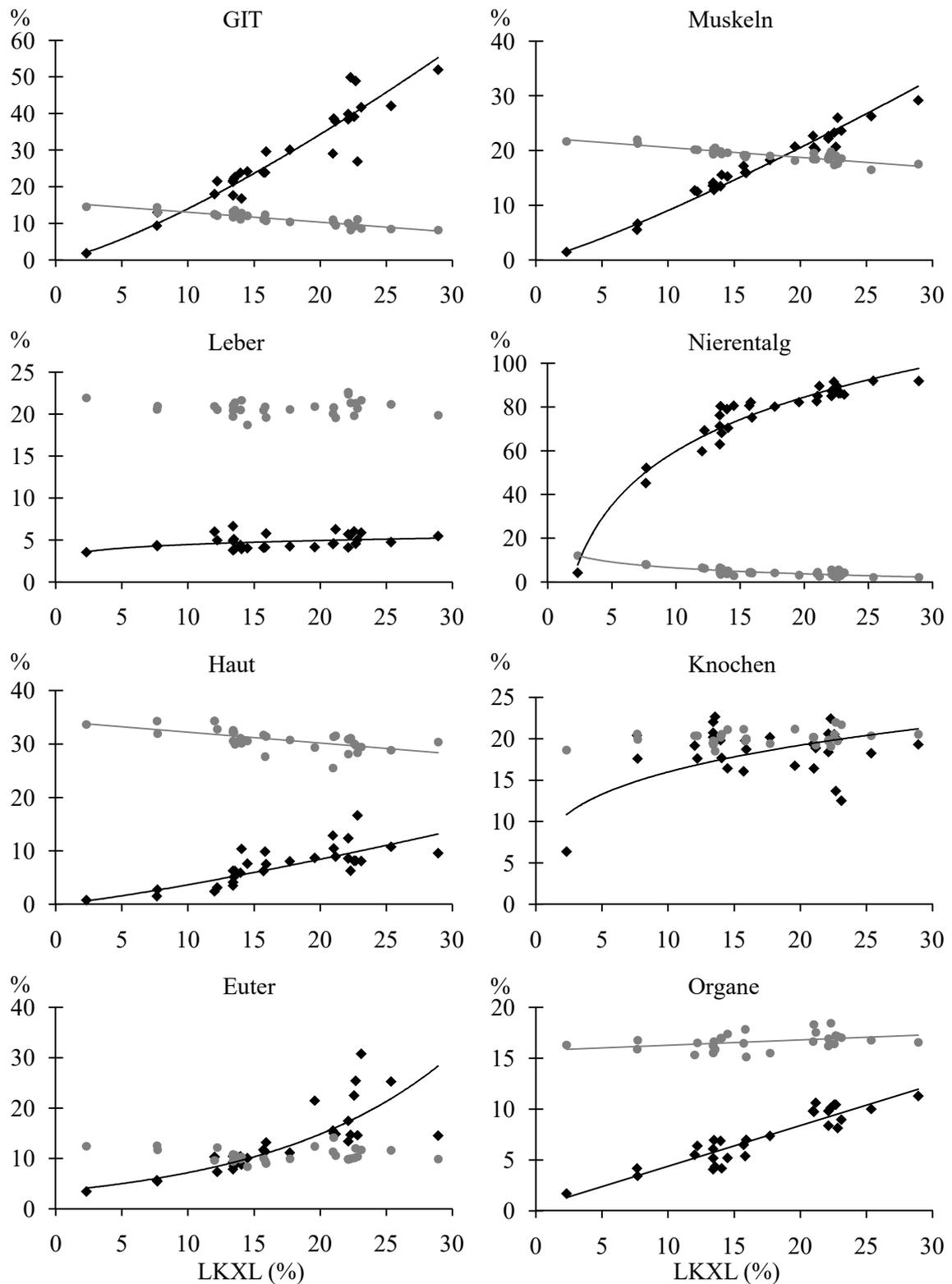


Abbildung 12: Relativer Rohfett- (◆) und Rohproteingehalt (●) der einzelnen Fraktionen in Abhängigkeit vom Leerkörperrohffettgehalt (LKXL, die entsprechenden Regressionsgleichungen sind im Anhang in Tabelle A-11 zu finden)

Der Wassergehalt der Fraktionen war wie beim gesamten LK umgekehrt proportional zum XL-Gehalt. Nennenswerte XA-Gehalte konnten erwartungsgemäß nur in den Knochen (35,5 %) gefunden werden.

Abbildung 13 veranschaulicht den Beitrag der bedeutendsten Körperfraktionen zum XL-Gehalt des LK in Abhängigkeit des LKXL_%. Die Fraktion Muskeln lieferte den größten Anteil des LKXL, gefolgt vom GIT und den Knochen. Im Mittel stammten 52,0 % ($\pm 7,1$ %), 15,1 % ($\pm 3,8$ %) und 14,5 % ($\pm 9,5$ %) des LKXL aus diesen Geweben. Diese Anteile am LKXL_% sind allerdings nicht ausschließlich durch hohe relative XL-Gehalte der genannten Fraktionen bedingt, sondern begründen sich auch durch deren hohe Teilgewichte (Tabelle 9).

Der Anteil des XL aus der Haut blieb bei steigendem LKXL relativ gleich ($3,8 \pm 1,3$ %). Dies deutet auf eine gleichmäßige Zuordnung des Unterhautfettgewebes auf die Fraktion Fleisch bei der methodisch bedingten Aufteilung (Häutungsmaschine).

Die höchste mittlere XL-Konzentration wurde im Nierentalg gefunden. Da es sich massenmäßig um die kleinste Fraktion handelte (Tabelle 9), lag der Anteil am LKXL nur bei $6,0 \pm 2,8$ %. Mit ansteigendem LKXL konnte auch eine Zunahme des Fettanteils aus Muskeln, GIT und Nierentalg beobachtet werden (Abbildung 13). Der Anteil aus den Knochen reduzierte sich aufgrund der konstanten Zusammensetzung dieses Gewebes. Der Beitrag der Organe zum LKXL_% blieb trotz des steigendem relativen Fettgehalts bei zunehmender Verfettung konstant ($3,7 \pm 1,1$ %).

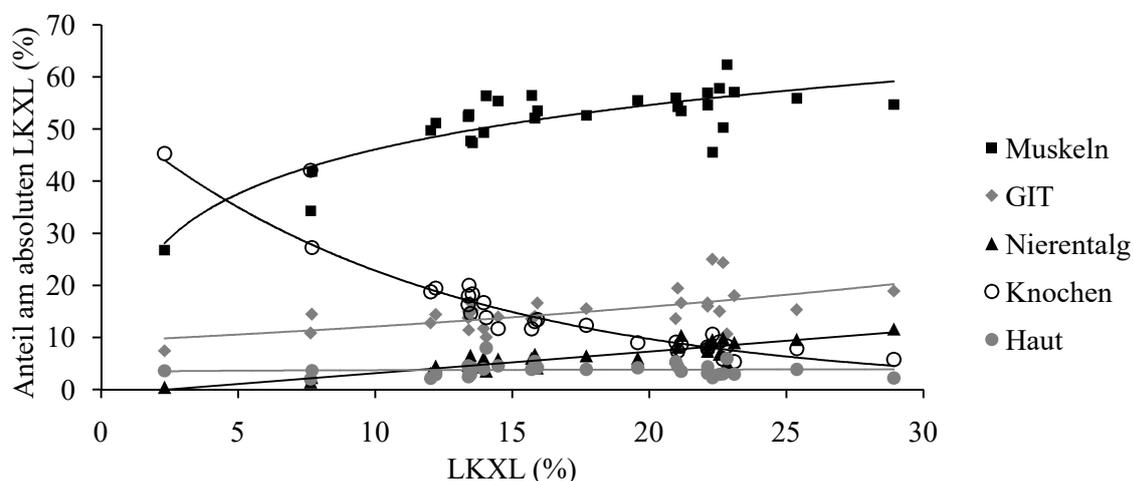


Abbildung 13: Relativer Anteil der bedeutendsten Fraktionen am absoluten Leerkörperrohffettgehalt (LKXL) in Abhängigkeit des relativen LKXL (GIT = Gastrointestinaltrakt)

Mengen- und Spurenelemente

In Tabelle 10 sind die Gehalte an Ca, P, K, Mg, S, Cu, Fe und Zn sowie die gesamte Masse dieser Mengen- und Spurenelemente der einzelnen Fraktionen dargestellt. Die entsprechenden Ergebnisse der Einzeltiere finden sich im Anhang (Tabelle A-3 bis Tabelle A-10). Auf die Präsentation der Zu-

sammensetzung der Schwanzabschnitte wird verzichtet, da die Konzentrationen der Mineralstoffe der der Fraktion Muskeln entsprach. Für eine bessere Einordnung der Ergebnisse in die internationale Literatur erfolgt die Darstellung der Ergebnisse in g je kg TM. Die höchsten Konzentrationen von Ca, P und Mg wurden erwartungsgemäß in den Knochen gefunden (176, 86 bzw. 2,7 g/kg TM). Der Beitrag zum Gesamtbestand der entsprechenden Elemente im Leerkörper betrug entsprechend 98, 85 bzw. 59 % (Abbildung 14). Die größten K-Konzentrationen konnten in der Leber (11,3 g/kg TM) und den Muskeln (8,0 g/kg TM) ermittelt werden. Insgesamt befand sich 76 % des Gesamt-K-Bestandes in der Fraktion Muskeln. Nennenswerte S-Konzentrationen fanden sich in den Fraktionen Leber (9,5 g/kg TM), Organe (6,5 g/kg TM), Haut (inkl. Haare, 5,9 g/kg TM) und Muskeln (5,2 g/kg TM). Letztere Fraktion macht aufgrund ihres hohen Anteils am LK insgesamt 59 % des Gesamt-S aus. Bei den untersuchten Spurenelementen trugen die Fraktionen Muskeln (Cu, Fe, Zn), Leber (Cu) und Organe (Fe) den größten Teil zum Gesamtbestand im LK bei (Abbildung 14). Auffällig sind hier die hohen Cu-Konzentrationen in der Leber (439 mg/kg TM) und die hohen Fe-Konzentrationen in der Fraktion Organe (1.159 mg/kg TM). Im Vergleich mit den anderen Fraktionen wies der Nierentalg niedrige Konzentrationen auf. Im Euter fanden sich nennenswerte Konzentrationen an K, S und Zn.

Tabelle 10: Konzentration (in der TM) und gesamte Masse an Mengen- und Spurenelementen in den untersuchten Körperfraktionen

		Konzentration			Masse			
	Einheit	MW	s	Spanne	Einheit	MW	s	Spanne
Muskeln								
Ca	g/kg	0,38	0,09	0,23-0,55	g/Tier	47,8	14,8	21,2-91,3
P	g/kg	4,39	0,92	2,84-6,87	g/Tier	542	94,8	267-680
K	g/kg	7,96	1,77	5,27-13,0	g/Tier	978	163	507-1.223
Mg	g/kg	0,55	0,10	0,35-0,83	g/Tier	68,0	12,8	31,2-86,4
S	g/kg	5,18	0,96	3,50-7,98	g/Tier	645	126	283-843
Cu	mg/kg	9,75	2,07	6,34-14,7	mg/Tier	1.234	334	419-1.853
Fe	mg/kg	130	30,1	84,5-206	mg/Tier	15.744	3.154	6.453-21.255
Zn	mg/kg	116	22,6	81,6-171	mg/Tier	14.579	3.731	5.893-22.777
Knochen								
Ca	g/kg	176	15,0	134-208	g/Tier	9.197	1.480	4.762-12.927
P	g/kg	86,5	7,04	66,4-101	g/Tier	4.508	710	2.365-6.336
K	g/kg	0,77	0,15	0,57-1,14	g/Tier	39,8	7,2	28,8-61,1
Mg	g/kg	2,73	0,36	2,27-3,76	g/Tier	142	28,5	81,6-233
S	g/kg	1,83	0,32	1,24-2,89	g/Tier	93,8	10,1	77,9-111
Cu	mg/kg	3,61	1,07	1,03-6,31	mg/Tier	184	48,5	70,2-298
Fe	mg/kg	93,9	44,1	40,7-211	mg/Tier	4.892	2.397	2.202-1.1130
Zn	mg/kg	77,5	10,2	60,0-104	mg/Tier	4.038	780	2.464-5.877
Gastrointestinaltrakt								
Ca	g/kg	2,06	1,64	0,33-8,08	g/Tier	44,5	30,0	8,67-143
P	g/kg	3,12	1,54	1,17-8,10	g/Tier	66,3	15,7	36,5-108
K	g/kg	3,96	1,94	1,58-10,9	g/Tier	83,9	15,3	52,5-114
Mg	g/kg	0,44	0,25	0,11-1,30	g/Tier	9,75	5,03	3,43-27,0
S	g/kg	2,95	1,38	0,96-8,21	g/Tier	64,1	18,2	32,1-127
Cu	mg/kg	6,60	4,17	2,17-22,5	mg/Tier	148	71,6	39,1-287
Fe	mg/kg	399	291	85,7-1.586	mg/Tier	8.426	4.344	2.453-19.721
Zn	mg/kg	49,0	21,5	15,7-121	mg/Tier	1.089	407	512-2.218
Organe								
Ca	g/kg	0,75	0,42	0,26-2,41	g/Tier	9,88	5,21	4,52-30,2
P	g/kg	2,89	0,45	1,99-3,76	g/Tier	38,15	4,77	24,6-46,3
K	g/kg	4,13	0,68	2,89-5,78	g/Tier	54,9	9,81	34,2-80,5
Mg	g/kg	0,31	0,05	0,18-0,43	g/Tier	4,12	0,72	2,55-5,40
S	g/kg	6,52	1,11	2,29-8,36	g/Tier	87,3	18,4	32,4-119
Cu	mg/kg	15,4	4,99	4,7-24,5	mg/Tier	206	70,0	70,7-344
Fe	mg/kg	1.159	319	79,6-1.566	mg/Tier	15.710	5.268	1.220-23.643
Zn	mg/kg	42,8	14,8	27,2-94,2	mg/Tier	579	257	283-1.626

Fortsetzung Tabelle 10

	Konzentration			Einheit	Masse			
	Einheit	MW	s		Spanne	MW	s	Spanne
Haut								
Ca	g/kg	1,04	0,53	0,45-2,67	g/Tier	24,1	14,8	9,30-79,7
P	g/kg	1,20	0,29	0,68-1,72	g/Tier	27,4	8,22	11,6-50,6
K	g/kg	2,55	0,63	1,62-4,16	g/Tier	58,7	19,2	24,6-106
Mg	g/kg	0,40	0,23	0,18-1,14	g/Tier	9,40	6,43	2,68-34,0
S	g/kg	5,94	0,66	4,26-7,36	g/Tier	135	26,9	77,2-199
Cu	mg/kg	9,37	2,23	4,34-14,6	mg/Tier	214	64,9	94,3-359
Fe	mg/kg	117	47,1	60,8-251	mg/Tier	2.689	1.220	1.254-5.304
Zn	mg/kg	44,8	10,9	22,8-67,3	mg/Tier	1.032	347	453-2.010
Leber								
Ca	g/kg	0,31	0,08	0,20-0,51	g/Tier	0,88	0,26	0,27-1,34
P	g/kg	12,5	0,51	11,3-13,3	g/Tier	35,9	7,41	14,2-50,9
K	g/kg	11,3	0,64	10,1-12,6	g/Tier	32,2	5,62	14,9-43,6
Mg	g/kg	0,73	0,03	0,67-0,80	g/Tier	2,11	0,40	0,83-2,81
S	g/kg	9,52	0,52	8,43-11,4	g/Tier	27,4	5,60	9,95-35,8
Cu	mg/kg	439	153	113-876	mg/Tier	1.258	415	134-2.191
Fe	mg/kg	351	106	235-727	mg/Tier	967	172	714-1.342
Zn	mg/kg	150	55,2	112-389	mg/Tier	422	126	148-719
Nierentalg								
Ca	g/kg	0,13	0,27	0,01-1,49	g/Tier	0,53	0,37	0,09-1,54
P	g/kg	0,45	0,57	0,12-3,27	g/Tier	2,10	0,91	0,33-4,08
K	g/kg	0,54	0,67	0,13-3,77	g/Tier	2,43	1,05	0,53-4,69
Mg	g/kg	0,04	0,06	0,01-0,32	g/Tier	0,21	0,12	0,03-0,58
S	g/kg	0,59	0,84	0,14-4,84	g/Tier	2,90	1,97	0,42-9,48
Cu	mg/kg	2,39	1,51	0,74-7,12	mg/Tier	18,5	17,8	1,08-70,6
Fe	mg/kg	21,1	28,5	5,31-166	mg/Tier	110	66,8	13,3-300
Zn	mg/kg	9,06	9,98	2,12-53,4	mg/Tier	57,9	75,7	4,15-328
Euter								
Ca	g/kg	7,05	6,40	0,31-22,5	g/Tier	38,6	34,3	1,36-147
P	g/kg	8,92	4,82	2,10-20,1	g/Tier	49,8	29,5	9,19-134
K	g/kg	6,48	2,18	2,39-10,0	g/Tier	36,9	16,8	9,88-64,5
Mg	g/kg	0,68	0,35	0,17-1,72	g/Tier	3,73	1,83	0,67-7,86
S	g/kg	4,12	1,03	2,23-6,57	g/Tier	23,0	8,08	5,59-39,2
Cu	mg/kg	10,9	5,17	3,77-21,5	mg/Tier	60,0	28,0	9,14-121
Fe	mg/kg	106	47,0	42,0-232	mg/Tier	579	234	104-1.026
Zn	mg/kg	76,6	45,5	18,6-187	mg/Tier	424	270	94,4-1.229

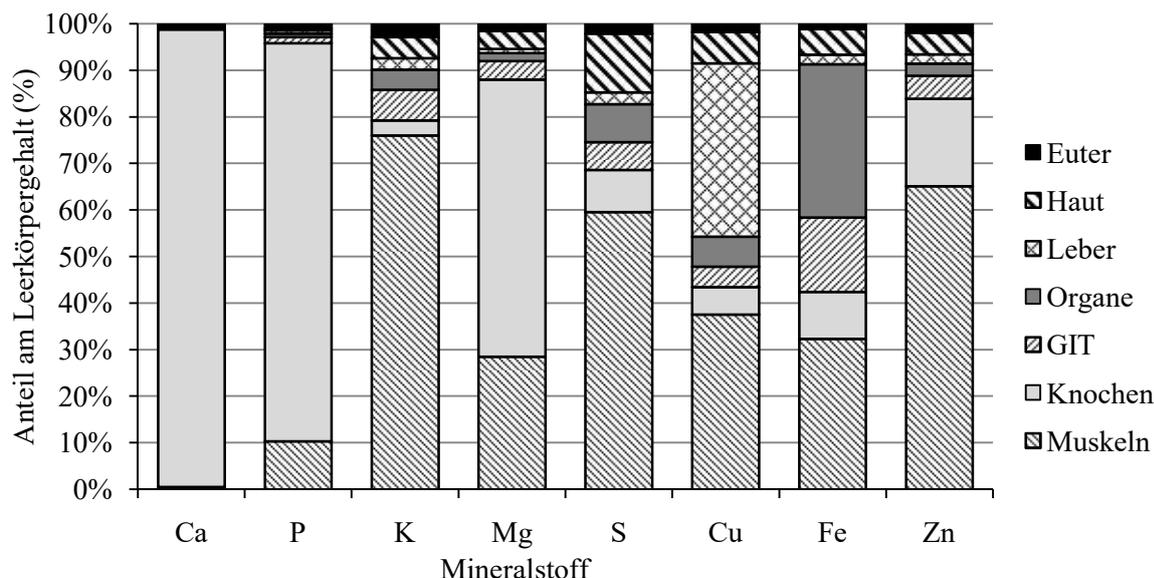


Abbildung 14: Beitrag der Fraktionen zum Leerkörpergehalt der untersuchten Mengen- und Spurenelemente (GIT = Gastrointestinaltrakt)

Die aus den Teilfraktionen berechneten Konzentrationen und Gehalte der Mengen- und Spurenelemente im Leerkörper sind in Tabelle 11 zusammengefasst. Die höchsten Konzentrationen ergaben sich für die Elemente Ca und P mit 37,2 bzw. 20,9 g/kg TM. Die Gehalte von K, S und Mg waren deutlich niedriger (5,11, 4,28 und 0,95 g/kg TM). Bei den Spurenelementen waren die Konzentrationen in der TM in der Reihenfolge Fe (195,7 mg/kg), Zn (87,0 mg/kg) und Cu (13,1 mg/kg) abnehmend. Die korrespondierenden FM-Konzentrationen der untersuchten Mineralstoffe im Leerkörper lagen bei 14,68 g/kg (Ca), 8,27 g/kg (P), 2,02 g/kg (K), 0,38 g/kg (Mg), 1,70 g/kg (S), 5,19 mg/kg (Cu), 77,11 mg/kg (Fe) und 34,63 mg/kg (Zn).

Tabelle 11: Konzentration (in der TM) und gesamte Masse an Mengen- und Spurenelementen im Leerkörper (n = 30)

	Konzentration				Masse			
	Einheit	MW	s	Spanne	Einheit	MW	s	Spanne
Ca	g/kg	37,17	7,41	25,37-62,53	g/Tier	9.363	1.498	4.836-13.067
P	g/kg	20,93	3,98	14,40-34,32	g/Tier	5.272	791,8	2.745-7.081
K	g/kg	5,11	0,78	3,62-6,95	g/Tier	1.290	197,9	686,5-1.559
Mg	g/kg	0,95	0,18	0,60-1,44	g/Tier	240,0	42,83	124,4-344,5
S	g/kg	4,28	0,62	3,09-5,81	g/Tier	1.080	171,4	562,8-1.383
Cu	mg/kg	13,11	3,15	8,34-23,72	mg/Tier	3.334	710,4	987,9-4.627
Fe	mg/kg	195,7	42,18	127,8-320,7	mg/Tier	49.197	8.364	24.626-67.086
Zn	mg/kg	87,00	13,05	63,74-115,2	mg/Tier	22.353	4.989	9.997-33.606

Bei der linearen Regression der Mineralstoffmengen auf die LM der Kühe ergaben sich folgende Gehalte pro kg LM-Änderung (P jeweils < 0,0001): 11,9 g Ca ($R^2 = 0,65$), 6,7 g P ($R^2 = 0,72$), 1,8 g

K ($R^2 = 0,84$), 0,33 g Mg ($R^2 = 0,62$), 1,6 g S ($R^2 = 0,86$), 5,1 mg Cu ($R^2 = 0,52$), 61,1 mg Fe ($R^2 = 0,54$) und 41,3 mg Zn ($R^2 = 0,70$).

5.2 Schätzung des Körperfettgehaltes

Im Folgenden werden die Ergebnisse der verschiedenen Methoden zur Schätzung des LKXL dargestellt. Die jeweiligen Einzelwerte können dem Anhang entnommen werden (Tabelle A-13).

5.2.1 Lebendmasse

Die Zusammenhänge zwischen LM und absolutem bzw. relativem LKXL sind in Abbildung 15 veranschaulicht. Die Beziehung der LM zu $LKXL_{kg}$ war etwas besser ($r^2 = 0,73$) als die zu $LKXL_{\%}$ ($r^2 = 0,62$). Dabei ergaben sich folgende Regressionsgleichungen:

$$LKXL (\%) = 1,3375 e^{0,00339 LM (kg)} \quad (9)$$

RMSE = 3,42 %

$$LKXL (kg) = 0,001 LM^2 (kg) - 0,9248 LM (kg) + 239,46 \quad (10)$$

$R^2_{\text{kor}} = 0,80$, RMSE = 23,6 kg, $P < 0,0001$

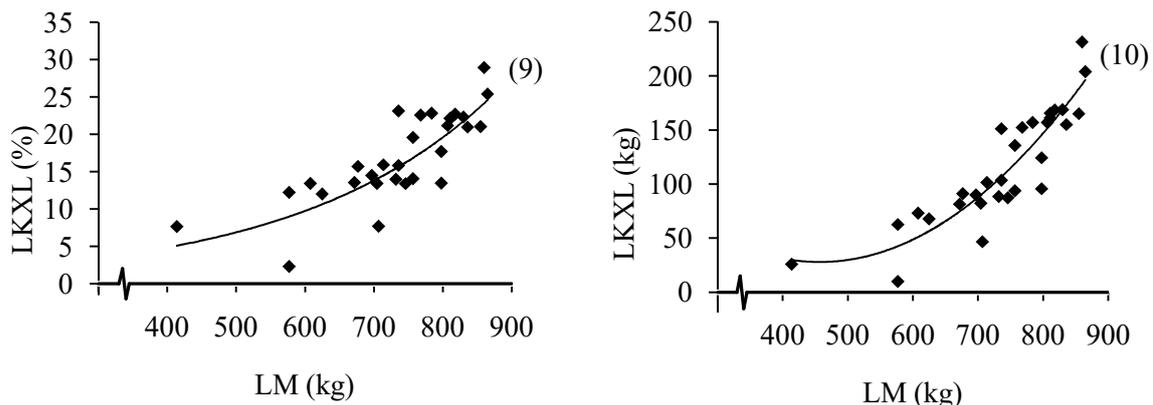


Abbildung 15: Beziehung zwischen Lebendmasse (LM) und relativem bzw. absoluten Körperroh-fettgehalt (LKXL, $n = 30$, die Zahlen in Klammern entsprechen den Nummern der im Text angegebenen Gleichungen)

5.2.2 Body Condition Score

Die hohe Spanne im Körperfettgehalt spiegelte sich auch in den am lebenden Tier erfassten Indikatoren der Verfettung wieder. So variierte der BCS von 1,75 bis 5,00, bei einem Mittelwert von $3,73 \pm 0,74$. Dabei waren nicht alle BCS-Viertelnoten durch Schlachtkühe repräsentiert und ein Großteil der Tiere (87 %) wurde mit einer BCS-Note zwischen 3,00 und 4,50 bewertet. Abbildung 16 zeigt die Beziehung zwischen LKXL und BCS. Dabei konnten folgende Regressionsgleichungen ermittelt werden:

$$LKXL (\%) = 6,7291 BCS - 8,0146 \quad (11)$$

$R^2 = 0,71$, RMSE = 3,26 %, $P < 0,0001$

$$\begin{aligned} \text{LKXL (kg)} = & 59,796 \text{ BCS} - 106,14 & (12) \\ & R^2 = 0,71, \text{ RMSE} = 28,4 \text{ kg}, P < 0,0001 \end{aligned}$$

Demnach entspricht der Anstieg von einer BCS-Note einer Zunahme des LKXL von 59,8 kg bzw. 6,73 %. Das Bestimmtheitsmaß der Gleichungen ist bei beiden LKXL (% und kg) mit 0,71 relativ gut. Dennoch wird aus Abbildung 16 ersichtlich, dass der LKXL zwischen zwei Tieren bei gleichem BCS bis zu über 10 %-Punkte bzw. 100 kg differierte. Durch das Berücksichtigen der LM als zusätzlichen Regressor konnte die Genauigkeit der Schätzung des absoluten LKXL leicht verbessert werden. Die durch alleiniges berücksichtigen der LM (Gleichung 10) erzielte Präzision wurde dabei allerdings nicht erreicht.

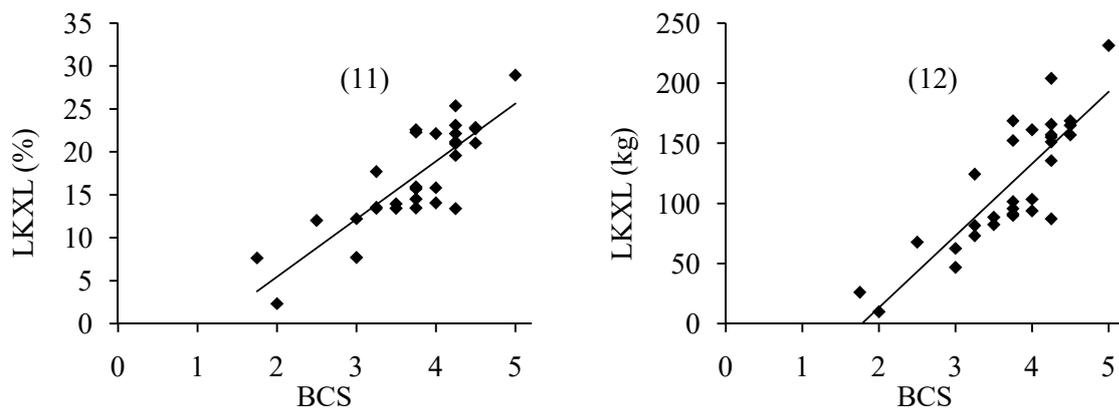


Abbildung 16: Beziehung zwischen Body Condition Score (BCS) und relativem bzw. absoluten Körperfettgehalt (LKXL, $n = 30$, die Zahlen in Klammern entsprechen den Nummern der im Text angegebenen Gleichungen)

5.2.3 Rückenfettdicke

Parallel zum LKXL schwankten auch die erfassten RFD. RFD 1 lag im Mittel bei $13,8 \pm 6,8$ mm, bei einer Spanne zwischen den Kühen von 4,5 bis 34,2 mm während die Messwerte von RFD 2 mit $19,2 \pm 7,9$ mm etwas höher (5,6 bis 38,9 mm) lagen. Das Niveau der Fettauflage über den Querfortsätzen (RFD 3) war mit einem Mittelwert von $10,8 \pm 2,9$ mm insgesamt niedriger. Hier fiel auch die Spanne geringer aus (5,6 bis 18,4 mm). Folgende Gleichungen konnten für die Zusammenhänge zwischen LKXL und RFD ermittelt werden:

$$\begin{aligned} \text{LKXL (\%)} = & 0,5605 \text{ RFD 1 (mm)} + 9,309 & (13) \\ & R^2 = 0,42, \text{ RMSE} = 4,59 \%, P < 0,0001 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{LKXL (\%)} = & 9,4481 \ln(\text{RFD 1 (mm)}) - 6,8009 & (14) \\ & \text{RMSE} = 4,19 \%, P < 0,0001 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{LKXL (kg)} = & 5,2059 \text{ RFD 1 (mm)} + 44,69 & (15) \\ & R^2 = 0,46, \text{ RMSE} = 39,0 \text{ kg}, P < 0,0001 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{LKXL (kg)} = & 85,67 \ln(\text{RFD 1 (mm)}) - 99,676 & (16) \\ & \text{RMSE} = 36,0 \text{ kg}, P < 0,0001 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{LKXL (\%)} = & 0,5762 \text{ RFD 2 (mm)} + 6,009 & (17) \\ & R^2 = 0,59, \text{ RMSE} = 3,86 \%, P < 0,0001 \end{aligned}$$

$$\text{LKXL (\%)} = 9,8917 \ln(\text{RFD 2 (mm)}) - 11,1954 \quad (18)$$

$$\text{RMSE} = 3,58 \%, P < 0,0001$$

$$\text{LKXL (kg)} = 5,1682 \text{ RFD 2 (mm)} + 17,561 \quad (19)$$

$$R^2 = 0,61, \text{ RMSE} = 33,3 \text{ kg}, P < 0,0001$$

$$\text{LKXL (kg)} = 86,719 \ln(\text{RFD 2 (mm)}) - 131,03 \quad (20)$$

$$\text{RMSE} = 32,1 \text{ kg}, P < 0,0001$$

$$\text{LKXL (\%)} = 1,3706 \text{ RFD 3 (mm)} + 2,1851 \quad (21)$$

$$R^2 = 0,44, \text{ RMSE} = 4,49 \%, P < 0,0001$$

$$\text{LKXL (\%)} = 16,04 \ln(\text{RFD 3 (mm)}) - 20,649 \quad (22)$$

$$\text{RMSE} = 4,20 \%, P < 0,0001$$

$$\text{LKXL (kg)} = 12,643 \text{ RFD 3 (mm)} - 20,532 \quad (23)$$

$$R^2 = 0,48, \text{ RMSE} = 38,2 \text{ kg}, P < 0,0001$$

$$\text{LKXL (kg)} = 144,77 \ln(\text{RFD 3 (mm)}) - 223,67 \quad (24)$$

$$\text{RMSE} = 36,3 \text{ kg}, P < 0,0001$$

In Abbildung 17 ist der Zusammenhang zwischen relativem und absolutem LKXL und den drei erfassten RFD zusätzlich graphisch dargestellt. Der absolute LKXL konnte etwas besser geschätzt werden als der relative. Dabei war die Schätzung des LKXL mit RFD 2 am genauesten ($R^2 = 0,59$ bis $0,61$). Insgesamt ist die Güte der Schätzgleichungen als mäßig einzustufen. Die Veränderung der RFD an RFD 1 um einem mm entspricht einem Anstieg des LKXL von 5,2 kg bzw. 0,56 %. Für RFD 2 wurden ebenfalls 5,2 kg LKXL (0,58 %) pro mm Änderung der RFD ermittelt und für RFD 3 waren es 12,6 kg bzw. 1,37 %. Durch das Berücksichtigen der LM als zusätzlichen Regressor konnte die Genauigkeit der Schätzung des absoluten aber auch des relativen LKXL zum Teil deutlich verbessert werden. Die Genauigkeiten, welche bei der alleinigen Berücksichtigung der LM erzielt wurden (siehe Abbildung 15), konnten allerdings nur im Fall der Schätzung des LKXL_% mit Hilfe von RFD 2 übertroffen werden:

$$\text{LKXL (\%)} = -10,2616 + 0,3124 \text{ RFD 2 (mm)} + 0,0290 \text{ LM (kg)} \quad (25)$$

$$R^2_{\text{korr}} = 0,69, \text{ RMSE} = 3,30 \%, P < 0,0001$$

Neben dem Zusammenhang der RFD zum LKXL wurden die Korrelationen zwischen den erhobenen Werten der drei Messpunkte zum Zeitpunkt der Schlachtung berechnet. Die Korrelation zwischen RFD 1 und RFD 2 lag bei 0,86 ($P < 0,0001$). Für RFD 1 und RFD 3 ergab sich ein Korrelationskoeffizient von 0,59 ($P < 0,001$) und für RFD 2 und RFD 3 von 0,66 ($P < 0,0001$).

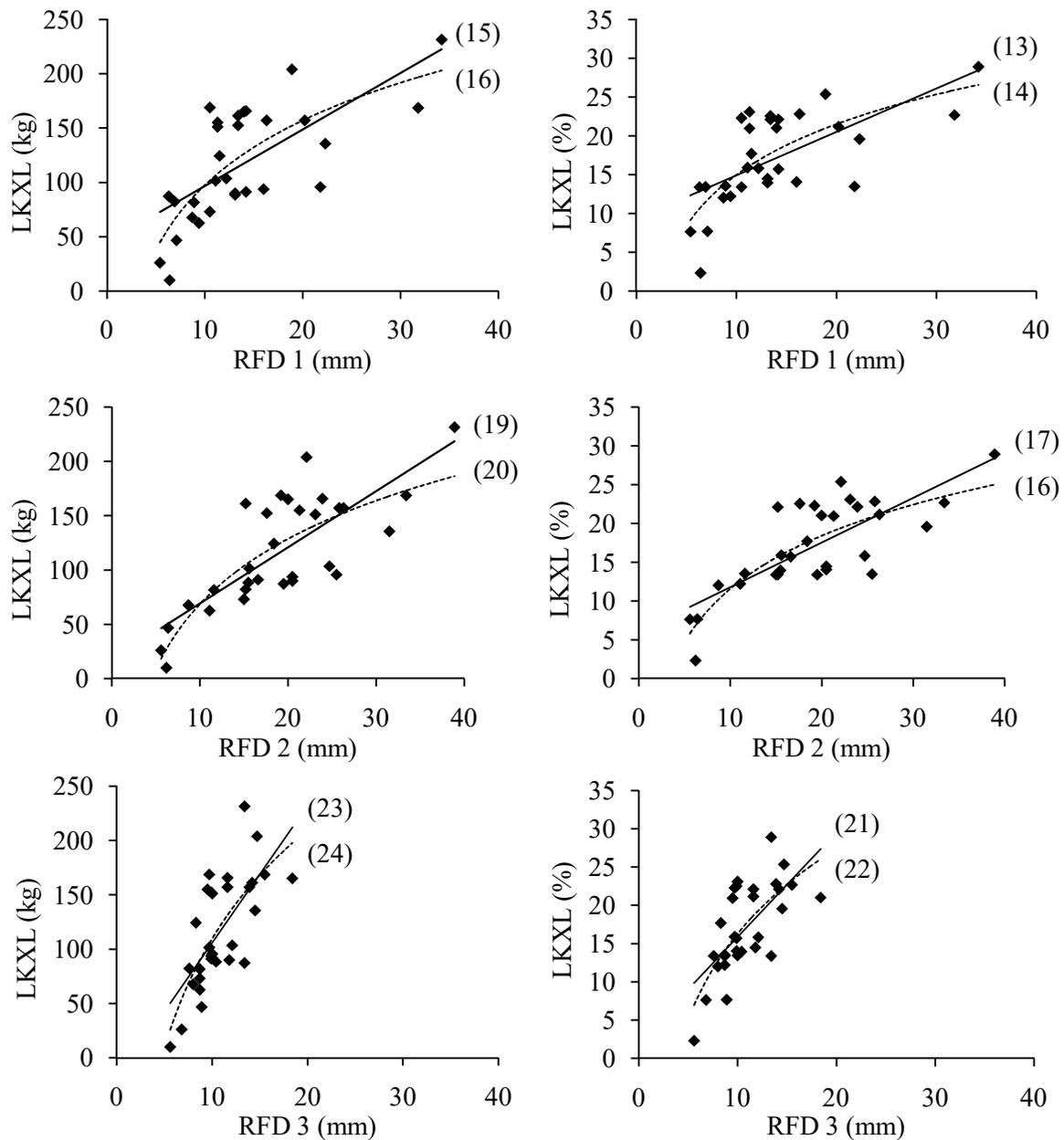


Abbildung 17: Zusammenhang zwischen absolutem und relativen Leerkörperrohffettgehalt (LKXL) und den Rückenfettdicken (RFD) der 3 Messpunkte (n = 30, die Zahlen in Klammern entsprechen den Nummern der im Text angegebenen Gleichungen)

5.2.4 Muskeldicke

Da bei der Messung der MD neben der Haut auch die subkutane Fettschicht mit erfasst wurde, spiegelt sich auch die Schwankung der RFD im Messwert der MD wieder. Die ermittelte Spanne (26 bis 98 mm) war um ein vielfaches höher als die der RFD (Messpunkt 3). Daher ist davon auszugehen, dass es auch erhebliche Differenzen bei den eigentlichen Muskeldicken zwischen den Kühen gab. Im Mittel konnte bei den 30 Schlachtkühen eine MD von 72,2 mm ($\pm 17,6$ mm) verzeichnet werden. Die Regressionsanalyse der Daten ergab folgende Zusammenhänge zwischen MD und LKXL (Abbildung 18):

$$\text{LKXL (\%)} = 0,2778 \text{ MD (mm)} - 2,9992 \quad (26)$$

$$R^2 = 0,68, \text{ RMSE} = 3,39 \%, P < 0,0001$$

$$\text{LKXL (\%)} = -10,7021 + 0,1842 \text{ MD (mm)} + 0,0197 \text{ LM (kg)} \quad (27)$$

$$R^2_{\text{korr}} = 0,70, \text{ RMSE} = 3,26 \%, P < 0,0001$$

$$\text{LKXL (kg)} = 2,4721 \text{ MD (mm)} - 61,803 \quad (28)$$

$$R^2 = 0,69, \text{ RMSE} = 29,5 \text{ kg}, P < 0,0001$$

Die Änderung der MD um einen mm war demnach mit einer Veränderung des LKXL von 2,47 kg bzw. 0,28 % verbunden. Die Genauigkeit der Schätzung ist mit einem R^2 von $\sim 0,7$ relativ gut. Durch das Berücksichtigen der LM als zusätzlichen Regressor konnte die Genauigkeit der Schätzung nur leicht verbessert werden. Im Fall des LKXL% war die Schätzgenauigkeit besser als die mittels alleiniger Berücksichtigung der LM erzielte (Gleichung 27).

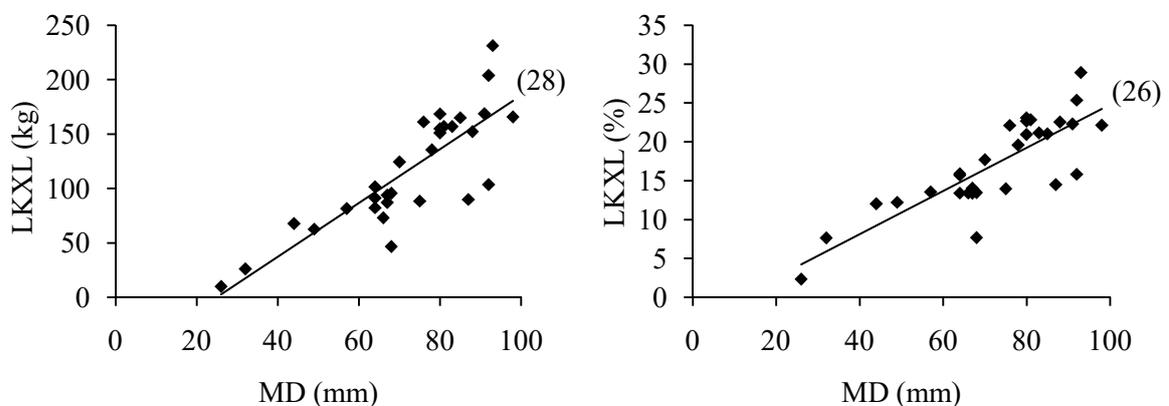


Abbildung 18: Zusammenhang zwischen absolutem und relativen Leerkörperrohffettgehalt (LKXL) und der Muskeldicke (MD, $n=30$, die Zahlen in Klammern entsprechen den Nummern der im Text angegebenen Gleichungen)

Ein weiteres Ziel der Vermessung der MD war die Prüfung des Zusammenhangs der erhobenen Daten mit dem Leerkörperrohproteingehalt (LKXP). Die Schätzgenauigkeit des LKXP war dabei geringer als die des LKXL. Folgende Regressionsgleichungen konnten dazu ermittelt werden (Abbildung 19):

$$\text{LKXP (\%)} = -0,0479 \text{ MD (mm)} + 22,037 \quad (29)$$

$$R^2 = 0,65, \text{ RMSE} = 0,61 \%, P < 0,0001$$

$$\text{LKXP (kg)} = 0,693 \text{ MD (mm)} + 70,667 \quad (30)$$

$$R^2 = 0,59, \text{ RMSE} = 9,90 \text{ kg}, P < 0,0001$$

Die Schätzung des LKXP mittels MD und LM war nicht genauer als die mittels alleiniger Berücksichtigung der LM (Gleichung 7).

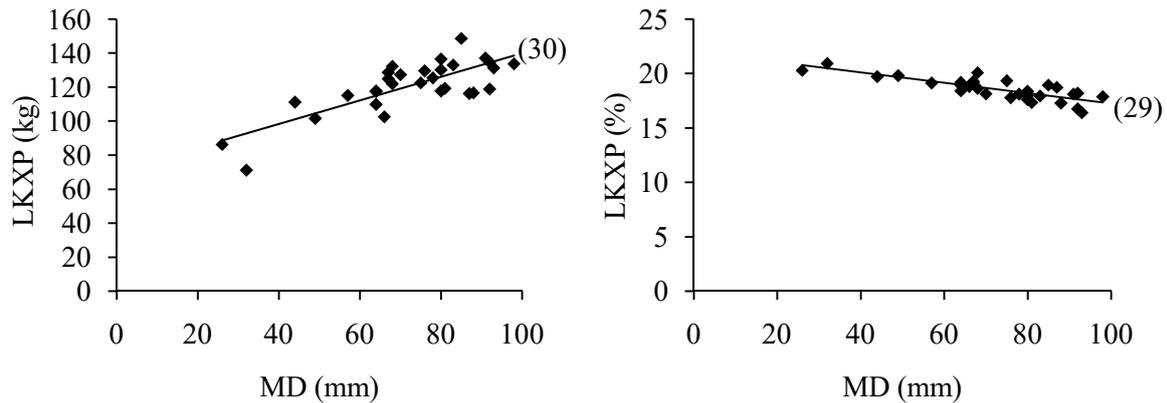


Abbildung 19: Zusammenhang zwischen absolutem und relativen Leerkörperrohproteingehalt (LKXP) und der Muskeldicke (MD, $n=30$, die Zahlen in Klammern entsprechen den Nummern der im Text angegebenen Gleichungen)

5.2.5 Intramuskulärer Fettgehalt

Da sich die Gewinnung von Probenmaterial für die Bestimmung des IMF relativ einfach gestaltet, sollte zusätzlich geprüft werden, inwieweit die Schätzung des LKXL post mortem mittels IMF möglich ist. Der relativ gute Zusammenhang zwischen dem XL-Gehalt der Muskeln und dem LKXL_% galt für den IMF nicht (Abbildung 20). Dennoch ist die Beziehung des IMF zum LKXL_% signifikant ($r = 0,76$). Im Mittel wurden $3,4 \pm 1,8$ % intramuskuläres XL gefunden (0,7 bis 8,3 %; $n = 28$). Bei der Regressionsanalyse konnten dabei mit einem logarithmischen Modell die genauesten Schätzungen berechnet werden:

$$\text{LKXL (\%)} = 8,9597 \ln(\text{IMF (\%)}) + 7,4183 \quad (31)$$

RMSE = 3,19 %, $P < 0,0001$

Die Korrelation zwischen IMF und dem XL-Gehalt der Fraktion Muskeln war mit $r = 0,79$ ($P < 0,0001$) etwas enger als zum LKXL.

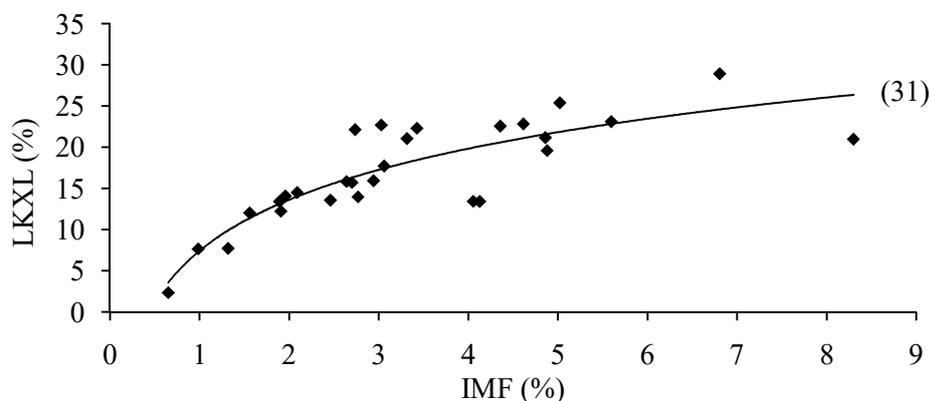


Abbildung 20: Zusammenhang zwischen intramuskulärem Fettgehalt (IMF, %) und Leerkörperrohproteingehalt (LKXL, %, $n = 28$, die Zahl in Klammern entspricht der Nummer der im Text angegebenen Gleichung)

5.2.6 Bioelektrische Impedanzanalyse

Physikalisch betrachtet wird bei der BIA der Widerstand des Körpers gegen einen schwachen Wechselstrom gemessen und über das Volumen auf den Gesamtkörperwasser- bzw. -fettgehalt geschlossen. Als Maßzahl für das Körpervolumen diente dabei die Körperlänge, welche in der vorliegenden Untersuchung mit Hilfe unterschiedlicher Messstrecken erfasst wurde. Die bereits genannten Unterschiede in den Körperkonditionen der Kühe spiegeln sich auch in der Variation der verschiedenen Messstrecken wieder, wobei die größte Spanne der Ergebnisse beim Brustumfang zu verzeichnen war (Tabelle 12). Tabelle 13 zeigt die ermittelten Werte für R und X_C . Trotz der unterschiedlichen Entfernungen der Elektrodenpaare der verschiedenen Messpunkte unterschieden sich die erhobenen Werte der Punkte A, C, D und E kaum. Im Gegensatz dazu übertrafen die Ergebnisse von Messpunkt B (Füße) die der anderen Messpunkte um ein Vielfaches, während die Werte von Messpunkt F (Euter) auf einem niedrigeren Niveau lagen.

Tabelle 12: Ergebnisse der erfassten Messstrecken (cm)

Messstrecke	MW	s	Min	Max
Messstrecke I	122	9,9	104	145
Messstrecke II	166	8,6	144	178
Messstrecke III	155	6,9	142	165
Messstrecke IV	92	7,9	79	114
Widerristhöhe	144	3,5	137	153
Kreuzbeinhöhe	146	3,9	137	156
Brustumfang	221	12,1	183	240
Euter	35	7,7	18	47

Tabelle 13: Resistanz (R) und Reaktanz (X_C) der Messpunkte bei den Frequenzen 5 und 50 kHz (Ω , MW \pm s)

Messpunkt	R_5	R_{50}	X_{C5}	X_{C50}
A	34,9 \pm 3,4	23,6 \pm 7,3	5,5 \pm 1,4	7,3 \pm 1,0
B	215,5 \pm 26,3	190,5 \pm 25,1	13,1 \pm 2,9	18,5 \pm 3,2
C	32,8 \pm 3,1	25,4 \pm 3,9	4,3 \pm 1,7	5,7 \pm 2,1
D	32,5 \pm 3,4	22,7 \pm 2,1	5,2 \pm 1,2	6,1 \pm 1,1
E	35,3 \pm 3,0	25,1 \pm 3,2	5,1 \pm 1,1	7,8 \pm 1,0
F	11,9 \pm 3,9	8,9 \pm 2,5	3,4 \pm 1,6	1,5 \pm 1,4

In Tabelle 14 sind die Ergebnisse der Wiederholbarkeitsmessungen zusammengefasst. Die V_k der Werte für R_5 und R_{50} schwanken in einem niedrigen Bereich zwischen 0 und 3,5 %. Bei X_C

schwankt der V_k zwischen 0 und 13,2 %. Die ermittelte Wiederholbarkeit verbesserte sich von Messpunkt E über die Messpunkte C, B, D und A.

Tabelle 14: Zusammenstellung der Mittelwerte (MW, Ω) und Variationskoeffizienten (V_k , %) der Wiederholbarkeitsmessung von Resistanz (R) und Reaktanz (X_C) bei den Frequenzen 5 und 50 kHz (2 Kühe, je 10 wiederholte Messungen)

Messpunkt	R_5		R_{50}		X_{C5}		X_{C50}	
	MW	V_k	MW	V_k	MW	V_k	MW	V_k
A	35,1	1,6	24,3	1,8	4,0	0,0	6,9	3,1
B	208,7	1,2	186,7	1,8	10,8	3,8	16,5	3,0
C	35,7	3,5	26,0	3,3	3,9	5,5	5,9	5,4
D	32,6	1,4	24,0	0,0	3,7	7,6	5,0	0,0
E	34,0	2,5	23,7	2,9	3,2	13,2	7,3	5,6

Um die beste Anpassung des statistischen Modells für die Schätzung des Körperfettgehaltes (Messpunkte A bis E) zu erreichen, wurden neben den Quadraten der Messstrecken jeweils alle Kombinationen von Strecken getestet. Dabei ergaben sich für MS^2/R bessere Zusammenhänge als für MS^2/Z , daher wird auf Z nicht weiter eingegangen. Außerdem konnten die Ergebnisse der Regressionsanalyse durch das Berücksichtigen von LM, LM^2 und Temperatur zum Teil deutlich verbessert werden. In Tabelle 15 ist dazu für jeden Messpunkt und jede Parameterkombination das jeweils beste R^2_{kor} angegeben. Die Genauigkeit der Schätzungen der verschiedenen Messpunkte schwankte dabei von $R^2_{\text{kor}} = 0,83$ (D) bis $R^2_{\text{kor}} = 0,92$ (A). Insgesamt gab es kaum Unterschiede in der Schätzgenauigkeit von R_5 und R_{50} . Lediglich für Messpunkt A konnten signifikante Regressionsgleichungen ermittelt werden, die beide Messfrequenzen berücksichtigten, obwohl die unterschiedlichen Frequenzen auch unterschiedliche Körperwasserfraktionen messen (intra- und extrazellulär).

Tabelle 15: Übersicht über die jeweils besten erzielten korrigierten Bestimmtheitsmaße (R^2_{kor}) der multiplen Regressionsanalyse für die Messpunkte A bis E auf die Zielgröße Leerkörperrohffettgehalt (kg) für die Parameter MSK/R* (cm^2/Ω) bei 5 bzw. 50 kHz, Lebendmasse (LM, kg), LM^2 und Temperatur (T, °C)

Parameter	Messpunkt				
	A	B	C	D	E
MSK/R ₅ + LM	0,78	0,77	0,83	n.s.	0,81
MSK/R ₅ + LM + T	0,83	0,81	0,88	0,78	0,87
MSK/R ₅ + LM ²	0,83	0,82	0,86	n.s.	0,86
MSK/R ₅ + LM ² + T	0,86	0,85	0,89	0,82	0,91
MSK/R ₅₀ + LM	0,87	0,77	0,76	n.s.	0,85
MSK/R ₅₀ + LM + T	0,87	0,80	0,80	0,79	0,88
MSK/R ₅₀ + LM ²	0,89	0,81	0,80	0,79	0,88
MSK/R ₅₀ + LM ² + T	0,91	0,84	0,83	0,83	0,91
MSK/R ₅ + MSK/R ₅₀ + LM	0,91	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
MSK/R ₅ + MSK/R ₅₀ + LM + T	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
MSK/R ₅ + MSK/R ₅₀ + LM ²	0,92	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
MSK/R ₅ + MSK/R ₅₀ + LM ² + T	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.

* MSK/R = Messstreckenkombination (Messstrecke × Messstrecke, jeweils die Kombination von Messstrecken mit dem größten R^2_{kor} für die Regression der Zielgröße Leerkörperrohffettgehalt)/Resistanz

n.s. = nicht signifikant

Die Berücksichtigung der LM verbesserte die Regression des LKXL der Tiere. Durch den Einsatz von LM² konnte zusätzlich über alle Messpunkte hinweg eine Erhöhung der Schätzgenauigkeit erzielt werden. Auch die Berücksichtigung der aufgezeichneten Temperatur wirkte sich positiv auf die Schätzgenauigkeit der Regressionsgleichungen aus. Die Temperaturen schwankten dabei zwischen 2,8 und 22,0 °C (MW $12,6 \pm 5,6$ °C). Die Relevanz der Temperatur war zwar nur gering, aber signifikant. Damit zeigte sich, dass die Stalltemperatur einen Einfluss auf die Oberflächentemperatur der Tiere hatte und die Messung der BIA dementsprechend beeinflusste. Insgesamt konnten für alle Messpunkte gute Schätzungen des LKXL_{kg} ermittelt werden (Tabelle 15). Im Folgenden ist für die Messpunkte A bis E die Gleichung mit dem jeweils besten R^2_{kor} angegeben. Diese wurde aus den Ergebnissen aller Kombinationsmöglichkeiten der MS für den Term MS²/R ausgewählt. Die entsprechende Definition der MS und die Erklärung der Abkürzungen findet sich in Tabelle 5.

$$\begin{aligned} \text{Messpunkt A} & & (32) \\ \text{LKXL (kg)} = & 85,870 + 0,283 (\text{KBH (cm)} \times \text{MS III (cm)/R}_5 \Omega) - 0,354 (\text{KBH (cm)} \\ & \times \text{MS III (cm)/R}_{50}) + 0,00033463 \text{ LM}^2 (\text{kg}) \\ & R^2_{\text{kor}} = 0,92, \text{ RMSE} = 14,7 \text{ kg}, P < 0,0001 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Messpunkt B} & & (33) \\ \text{LKXL (kg)} = & - 33,541 - 0,838 (\text{MS I (cm)} \times \text{MS III (cm)}) / R_5 (\Omega) + 0,000362 \\ & \text{LM}^2 (\text{kg}) + 1,752 \text{ T } (^\circ\text{C}) \\ & R^2_{\text{korr}} = 0,85, \text{ RMSE} = 20,4 \text{ kg}, P < 0,0001 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Messpunkt C} & & (34) \\ \text{LKXL (kg)} = & 29,940 - 0,369 (\text{KBH (cm)} \times \text{MS IV (cm)}) / R_5 (\Omega) + 0,00036518 \\ & \text{LM}^2 (\text{kg}) + 2,718 \text{ T } (^\circ\text{C}) \\ & R^2_{\text{korr}} = 0,89, \text{ RMSE} = 17,6 \text{ kg}, P < 0,0001 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Messpunkt D} & & (35) \\ \text{LKXL (kg)} = & - 47,054 - 0,0818 (\text{MS I (cm)} \times \text{MS III (cm)}) / R_{50} (\Omega) + 0,000371 \\ & \text{LM}^2 (\text{kg}) + 1,9573 \text{ T } (^\circ\text{C}) \\ & R^2_{\text{korr}} = 0,83, \text{ RMSE} = 21,8 \text{ kg}, P < 0,0001 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Messpunkt E} & & (36) \\ \text{LKXL (kg)} = & - 12,636 - 0,168 (\text{MS I (cm)} \times \text{KBH (cm)}) / R_{50} (\Omega) + 0,00040603 \\ & \text{LM}^2 (\text{kg}) + 1,821 \text{ T } (^\circ\text{C}) \\ & R^2_{\text{korr}} = 0,91, \text{ RMSE} = 15,8 \text{ kg}, P < 0,0001 \end{aligned}$$

Da es relativ aufwendig ist, die MS eines Messpunktes zu lokalisieren, der nicht gemessen wird, wurden zusätzlich Gleichungen berechnet, bei denen MS anderer Messpunkte nicht erfasst werden müssen. Die Genauigkeit der Schätzungen ist dabei nur geringfügig schlechter:

$$\begin{aligned} \text{Messpunkt A} & & (37) \\ \text{LKXL (kg)} = & 53,852 + 0,383 (\text{MS I (cm)} \times \text{WRH (cm)}) / R_5 (\Omega) - 0,438 (\text{MS I (cm)} \\ & \times \text{WRH (cm)}) / R_{50} (\Omega) + 0,00035181 \text{ LM}^2 (\text{kg}) \\ & R^2_{\text{korr}} = 0,91, \text{ RMSE} = 15,4 \text{ kg}, P < 0,0001 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Messpunkt B} & & (38) \\ \text{LKXL (kg)} = & - 43,674 - 0,5114 (\text{MS II (cm)} \times \text{WRH (cm)}) / R_5 (\Omega) + \\ & 0,0003516 \text{ LM}^2 (\text{kg}) + 1,6749 \text{ T } (^\circ\text{C}) \\ & R^2_{\text{korr}} = 0,81, \text{ RMSE} = 22,7 \text{ kg}, P < 0,0001 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Messpunkt C} & & (39) \\ \text{LKXL (kg)} = & 30,248 - 0,183 (\text{MS III}^2 (\text{cm}) / R_5 (\Omega)) + 0,00035722 \text{ LM}^2 (\text{kg}) + \\ & 1,633 \text{ T } (^\circ\text{C}) \\ & R^2_{\text{korr}} = 0,88, \text{ RMSE} = 17,9 \text{ kg}, P < 0,0001 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Messpunkt D} & & (40) \\ \text{LKXL (kg)} = & - 43,044 - 0,12469 (\text{KBH (cm)} \times \text{MS IV (cm)}) / R_{50} (\Omega) + \\ & 0,000364 \text{ LM}^2 (\text{kg}) + 2,4115 \text{ T } (^\circ\text{C}) \\ & R^2_{\text{korr}} = 0,82, \text{ RMSE} = 22,4 \text{ kg}, P < 0,0001 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Messpunkt E} & & (41) \\ \text{LKXL (kg)} = & 21,287 - 0,167 (\text{WRH (cm)} \times \text{KBH (cm)}) / R_{50} (\Omega) + 0,00038465 \\ & \text{LM}^2 (\text{kg}) + 1,738 \text{ T } (^\circ\text{C}) \\ & R^2_{\text{korr}} = 0,90, \text{ RMSE} = 16,4 \text{ kg}, P < 0,0001 \end{aligned}$$

Die einzige Messstrecke, die nicht bei den Regressionen verwendet wurde, war der Brustumfang. Zwar ergaben sich unter Einsatz des Brustumfangs auch signifikante Zusammenhänge der Messung zum LKXL, die anderen Messstrecken konnten das Volumen der Kühe aber genauer beschreiben und erzielten bessere Schätzgenauigkeiten.

Bei der Messung am Euter (Messpunkt F, n = 29) sollte überprüft werden, inwieweit die Verfettung des Eutergewebes am lebenden Tier mittels Impedanzanalyse nachvollzogen werden kann. Grundsätzlich bestand ein enger Zusammenhang zwischen dem LKXL (%) und dem des XL-Gehalt des

Euters ($r = 0,84$; $n = 29$). Die beste Schätzung des Euter-XL-Gehaltes wurde wie auch beim LKXL mit R und nicht mit Z erreicht. Dies lag vor Allem daran, dass die erhobenen Messwerte für X_C zum Teil 0 waren. Durch das Einführen einer weiteren Variable, welche den Status der Kühe kodierte (1 = laktierend, 2 = trocken), konnte die Regressionsgleichung zusätzlich verbessert werden:

$$\begin{aligned} \text{Messpunkt F} & & (42) \\ \text{Euter-XL-Gehalt (\%)} & = - 30,82012 + 0,08975 (\text{MS Euter}^2 (\text{cm})/R_5 (\Omega)) - 0,07918 \\ & \quad (\text{MS Euter}^2 (\text{cm})/R_{50} (\Omega)) + 0,04832 \text{ LM (kg)} + 0,26998 \text{ T (}^\circ\text{C)} \\ & \quad + 5,546 \text{ Status} \\ R^2_{\text{kor}} & = 0,72, \text{ RMSE} = 3,42 \%, \text{ P} < 0,0001 \end{aligned}$$

Insgesamt erreicht die Genauigkeit der Regressionsgleichungen für die Schätzung des Euter-XL-Gehaltes aber nicht das Niveau der Gleichungen für den LKXL.

Bei der Prüfung der Wiederholbarkeit ergaben sich die geringsten V_k für die Messpunkte D und A (Tabelle 16).

Tabelle 16: Zusammenstellung der Variationskoeffizienten (V_k , %) der Wiederholbarkeitsmessungen der Bioelektrischen Impedanzanalyse (2 Kühe, je 10 wiederholte Messungen)

Kenngröße	Messpunkt					Gesamt
	A	B	C	D	E	
R5	1,17	1,56	3,5	1,4	2,5	2,02
R50	1,8	1,8	3,3	0,0	2,9	1,93

5.2.7 Hautfaltendicke

Wie aus Tabelle 17 ersichtlich, schwankten die Ergebnisse der Messung der HFD stark innerhalb und auch zwischen den Messpunkten. Die stärksten Hautfalten wurden an den Messpunkten 1 und 8 ermittelt (24,5 bzw. 23,1 mm). Hier war auch die Spannweite am höchsten (28 bzw. 18 mm). Grundsätzlich waren die verzeichneten Unterschiede zwischen Minima und Maxima der Messwerte an den Messpunkten umso größer, je höher die Mittelwerte der entsprechenden HFD ausfielen. Die geringsten Spannen der HFD (4 bzw. 6 mm) wurden dementsprechend an den Messpunkten 6 und 9 beobachtet, wo im Mittel nur 9,0 bzw. 10,6 mm HFD ermittelt wurden.

Tabelle 17: Ergebnisse der Messung der Hautfaltendicke (mm) an den 11 Messpunkten ($n = 30$)

	Messpunkt										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
MW	24,5	11,2	12,1	12,7	19,0	9,0	17,9	23,1	10,6	12,3	18,2
s	6,1	2,0	2,0	2,3	3,1	1,2	3,3	4,5	1,4	2,8	4,1
Min	12	8	8	8	13	7	11	12	8	9	10
Max	40	18	17	17	28	11	26	30	14	23	26

Die ermittelten V_k als Maß für die Wiederholbarkeit der Messung lagen zwischen 4,9 % für Messpunkt 7 und 10,4 % für Messpunkt 8 (Tabelle 18).

Tabelle 18: Zusammenstellung der Mittelwerte (MW) und Variationskoeffizienten (V_k) der Wiederholbarkeitsmessungen der Hautfaltendicke (3 Kühe, je 7-10 wiederholte Messungen)

	Messpunkt										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
MW (mm)	25,8	10,7	11,6	11,8	19,2	10,2	18,1	23,3	11,9	12,7	21,7
V_k (%)	7,7	5,2	5,3	5,4	8,9	6,6	4,9	10,4	6,1	9,1	9,0

Insgesamt konnten lediglich für die Messpunkte 4, 5, 7 und 8 signifikante Korrelationen zwischen absolutem und relativem LKXL ermittelt werden (Tabelle 19).

Tabelle 19: Koeffizienten der Korrelationen* (r) zwischen den erhobenen Hautfaltdicken (HFD) an den Messpunkten 4, 5, 7 und 8 und dem absoluten und relativen Leerkörperrohffettgehalt (LKXL)

Messpunkt	LKXL (%)	P	LKXL (kg)	P
4	0,43	0,017	0,43	0,017
5	0,57	0,001	0,61	< 0,001
7	0,40	0,039	-	n.s.
8	0,58	0,001	0,57	< 0,001

* Die Korrelationen der HFD der Messpunkte 1, 2, 3, 6, 9, 10 und 11 mit dem LKXL waren nicht signifikant.

Die Regressionsanalyse einzelner Messpunkte mit dem absoluten oder relativen LKXL lieferte nur ungenaue Ergebnisse ($R^2 < 0,4$). Multiple Regressionsanalysen mit den HFD verschiedener Messpunkte als Regressoren lieferten keine genaueren Ergebnisse. Auch die Summe aller HFD einer Kuh führte zu keiner guten Schätzung des absoluten oder relativen LKXL (R^2 jeweils 0,26). Die genaueste Schätzung des LKXL konnte mit der Summe der HFD der Messpunkte 4, 5, 7, 8 und 10 berechnet werden (SHFD = Summe der Hautfaltdicken 4, 5, 7, 8 und 10, Abbildung 21):

$$\text{LKXL (\%)} = 0,3847 \text{ SHFD (mm)} - 15,623 \quad (43)$$

$$R^2 = 0,49, \text{ RMSE} = 4,29 \%, \text{ P} < 0,0001$$

$$\text{LKXL (kg)} = 3,3787 \text{ SHFD (mm)} - 170,37 \quad (44)$$

$$R^2 = 0,48, \text{ RMSE} = 38,2 \text{ kg}, \text{ P} < 0,0001$$

Durch die Berücksichtigung der LM neben der SHFD in der Regressionsanalyse konnten die Ergebnisse zwar leicht verbessert werden, sie erreichten aber nicht das Genauigkeitsniveau der LKXL-Schätzung mit alleiniger Berücksichtigung der LM.

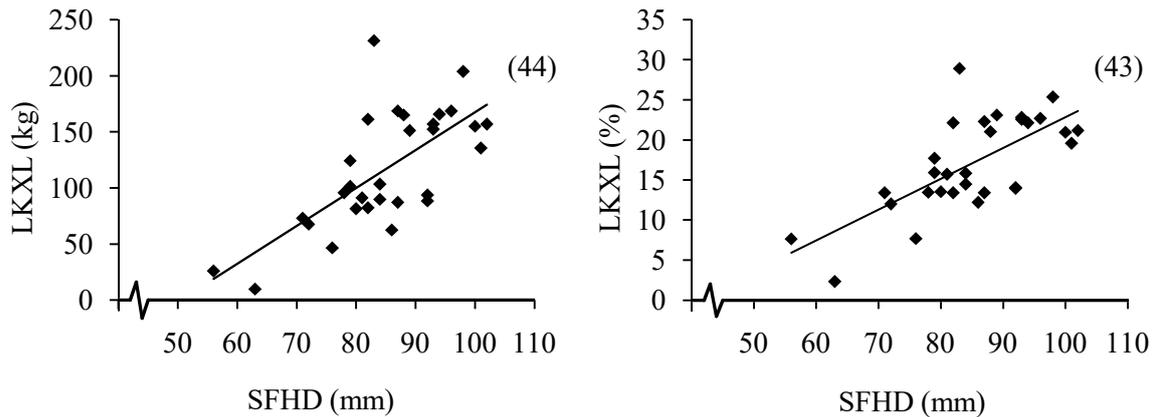


Abbildung 21: Zusammenhang zwischen absolutem und relativen Leerkörperrohffettgehalt (LKXL) und der Summe der Hautfaltendicken (SHFD) der Messpunkte 4, 5, 7, 8 und 10 ($n=30$, die Zahlen in Klammern entsprechen den Nummern der im Text angegebenen Gleichungen)

5.2.8 Fettzellgröße

Für die Auswertung der FZG standen die Ergebnisse von 28 Tieren zur Verfügung. Das Ergebnis der FZGr einer Kuh (463, $11.603 \mu\text{m}^2$) wurde als Ausreißer bewertet und in der Datenauswertung nicht weiter berücksichtigt, da es den Mittelwert um die 3-fache Standardabweichung übertraf. Das Ergebnis der FZGs des betreffenden Tieres war nicht auffällig und wurde verrechnet. Insgesamt wurden bei der Vermessung der FZG der Fettgewebeproben für die subkutanen Fettzellen im Mittel $4.807 \pm 1.991 \mu\text{m}^2$ und für die retroperitonealen Fettzellen $4.063 \pm 1.991 \mu\text{m}^2$ ermittelt. Dabei waren zwischen den Tieren erhebliche Spannen zu verzeichnen (FZGs: 283 bis $8.207 \mu\text{m}^2$, FZGr: 143 bis $8.037 \mu\text{m}^2$), welche in Abbildung 22 an Hand von histologischen Schnitten veranschaulicht wurden.

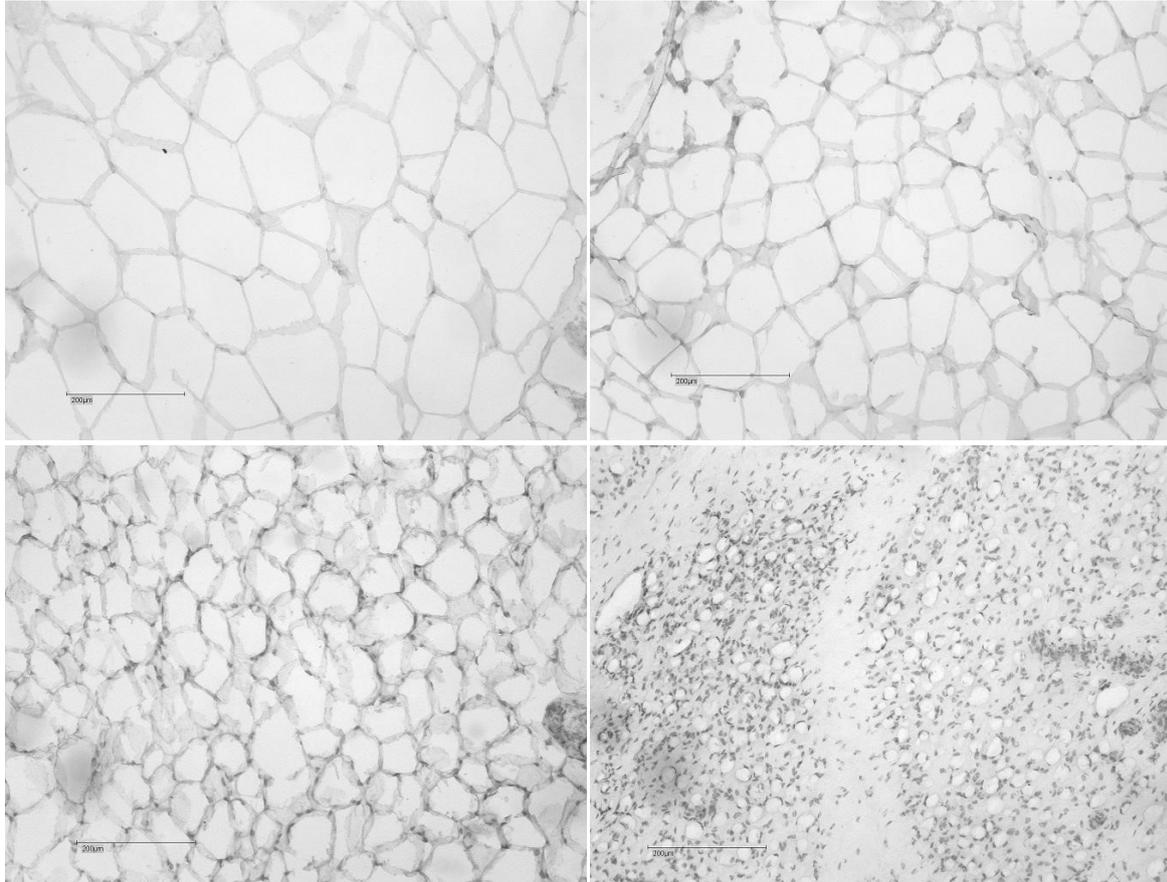


Abbildung 22: Verschiedene histologische Schnitte der Fettgewebsbiopsien mit erkennbaren Größenunterschieden (oben links: größere Fettzellen, unten rechts: besonders kleine Fettzellen; 200 fache Vergrößerung; Maßstabsbalken = 200 µm)

Der im Rahmen der Wiederholbarkeitsprüfung ermittelte V_k lag bei 3,3 % bei einer mittleren FZG von 4.988 µm². Dabei wurden 15 Zellen (12 retroperitoneal, 3 subkutan) in 2 bis 4 (MW 2,9) Wiederholungen vermessen.

Der Koeffizient der Korrelation zwischen den FZG der beiden untersuchten Gewebe lag bei 0,73 ($P < 0,001$). Die Korrelationen zwischen den ermittelten FZG und dem absoluten bzw. relativen LKXL lagen im Bereich von 0,82 und 0,91 (Tabelle 20), wobei die Zusammenhänge bei der FZGr höher waren als bei FZGs. Die Korrelationskoeffizienten zwischen den beiden FZG und dem absoluten bzw. relativen LKXL waren nahezu gleich gut. In Tabelle 20 sind zusätzlich die Korrelationen zwischen der FZG und dem Rohfettgehalt des entsprechenden „Ursprungsgewebes“ angegeben. Sowohl die Zusammenhänge zwischen FZGs und dem XL-Gehalt der Haut, als auch zwischen FZGr und dem XL-Gehalt des Nierentalgs waren etwas schlechter als der der FZG zum LKXL. Folgende Regressionsgleichungen konnten für die Schätzung des LKXL abgeleitet werden (Abbildung 23):

$$\begin{aligned} \text{LKXL (\%)} &= 0,0026 \text{ FZGr (\mu m}^2\text{)} + 5,8697 & (45) \\ R^2 &= 0,78, \text{ RMSE} = 2,84 \%, \text{ P} < 0,0001 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{LKXL (kg)} &= 0,0233 \text{ FZGr (\mu m}^2\text{)} + 16,049 & (46) \\ R^2 &= 0,83, \text{ RMSE} = 21,5 \text{ kg}, \text{ P} < 0,0001 \end{aligned}$$

$$\text{LKXL (kg)} = -67,1081 + 0,0172 \text{ FZGr } (\mu\text{m}^2) + 0,1483 \text{ LM (kg)} \quad (47)$$

$$R^2_{\text{korr}} = 0,85, \text{ RMSE} = 19,9 \text{ kg}, P < 0,0001$$

$$\text{LKXL (\%)} = 0,0024 \text{ FZGs } (\mu\text{m}^2) + 4,9247 \quad (48)$$

$$R^2 = 0,68, \text{ RMSE} = 3,37\%, P < 0,0001$$

$$\text{LKXL (\%)} = -7,2936 + 0,0016 \text{ FZGs } (\mu\text{m}^2) + 0,0220 \text{ LM (kg)} \quad (49)$$

$$R^2_{\text{korr}} = 0,73, \text{ RMSE} = 3,03 \%, P < 0,0001$$

$$\text{LKXL (kg)} = 0,021 \text{ FZGs } (\mu\text{m}^2) + 11,623 \quad (50)$$

$$R^2 = 0,67, \text{ RMSE} = 30,0 \text{ kg}, P < 0,0001$$

$$\text{LKXL (kg)} = -136,9476 + 0,0114 \text{ FZGs } (\mu\text{m}^2) + 0,2671 \text{ LM (kg)} \quad (51)$$

$$R^2_{\text{korr}} = 0,79, \text{ RMSE} = 23,4 \text{ kg}, P < 0,0001$$

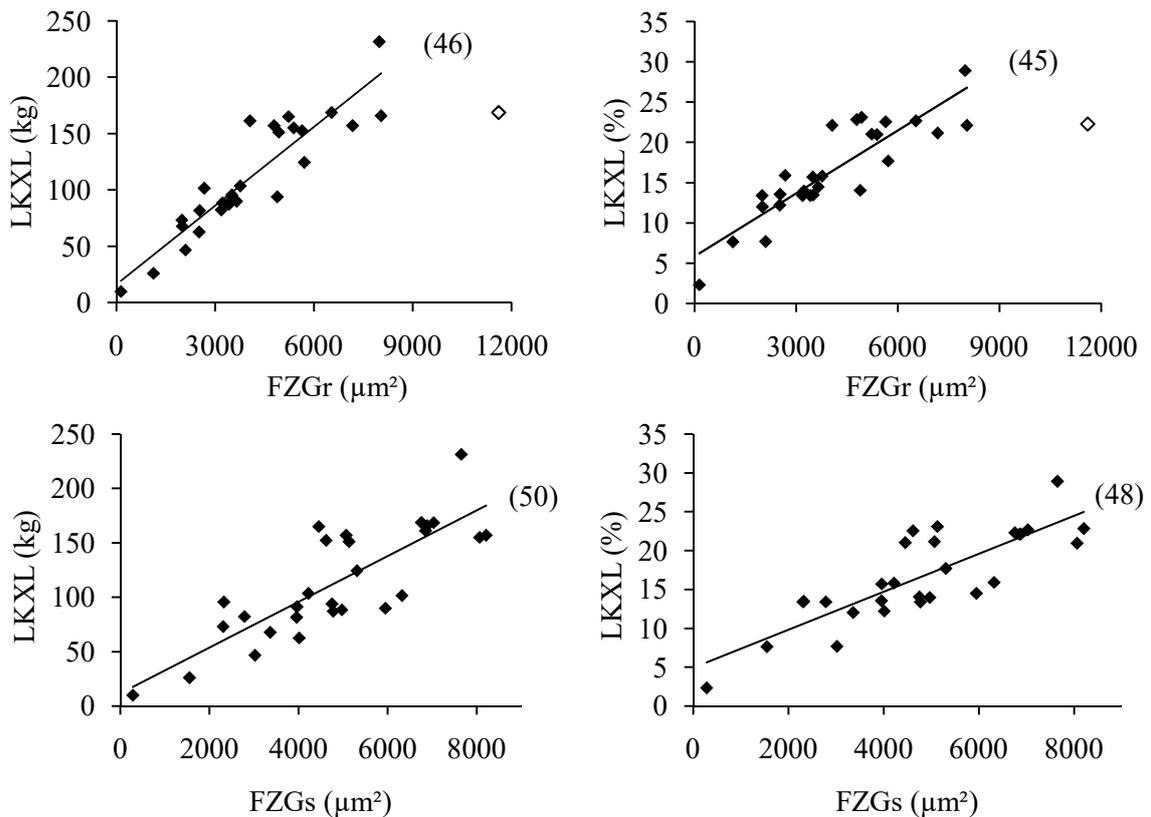


Abbildung 23: Zusammenhang zwischen absolutem und relativen Leerkörperrohffettgehalt (LKXL) und den Fettzellgrößen der subkutanen (FZGs, $n = 28$) und der retroperitonealen (FZGr, $n = 27$) Gewebeprobe (der Wert hinter dem nicht ausgefüllten Symbol wurde als Ausreißer bewertet und bei der Datenauswertung nicht weiter berücksichtigt, die Zahlen in Klammern entsprechen den Nummern der im Text angegebenen Gleichungen)

Sowohl der LKXL_{kg} als auch der $\text{LKXL}_{\%}$ konnte mit FZGr genauer geschätzt werden als mit FZGs. Eine Kombination aus beiden Regressoren verbessert die Rechnung nur geringfügig. Durch das Berücksichtigen der LM als Einflussfaktor konnte vor allem die Schätzung mittels FZGs verbessert werden (Gleichungen 47, 49 und 51).

Tabelle 20: Korrelationskoeffizienten für die Beziehungen zwischen den Fettzellgrößen des retroperitonealen (n = 27) und des subkutanen (n = 28) Fettgewebes zum absoluten und relativen Rohfettgehalt des Leerkörpers (LK), des Nierentalgs und der Haut

Fettgewebe	Rohfettgehalt					
	LK (%)	LK (kg)	Nierentalg (%)	Nierentalg (kg)	Haut (%)	Haut (kg)
retroperitoneal	0,91	0,89	0,86	0,84		
P	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001		
subkutan	0,83	0,82			0,81	0,78
P	<0,001	<0,001			<0,001	<0,001

5.2.9 Leptinkonzentration im Blut

Das Ergebnis der Leptinanalyse von einem Tier (463) wurde als Ausreißer identifiziert und nicht bei den weiteren Berechnungen berücksichtigt, da der Wert (29,06 ng/ml) den Mittelwert um die 4,8-fache Standardabweichung übertraf. Von einer Kuh war keine Probe vorhanden, so dass insgesamt 28 Proben ausgewertet werden konnten.

Die Serumleptinkonzentration lag im Mittel bei $2,65 \pm 1,87$ ng/ml in einem Bereich von 0,91 bis 9,78 ng/ml. Die Korrelation zum absoluten und relativen LKXL lag bei 0,57 bzw. 0,59. In Abbildung 24 ist dazu der Zusammenhang zwischen $LKXL_{kg}$ bzw. $LKXL_{\%}$ und der Leptinkonzentration im Blut dargestellt. Für beide Beziehungen konnten signifikante lineare Regressionsgleichungen ermittelt werden, allerdings waren diese mit Bestimmtheitsmaßen von 0,34 und 0,35 zu ungenau. Grundsätzlich scheint es sich eher um einen logarithmischen Zusammenhang zwischen Leptinkonzentration im Blut und dem LKXL zu handeln, doch auch hier war die Qualität der Schätzung nicht ausreichend, um von der Blut-Leptinkonzentration auf den LKXL schließen zu können (RMSE = 36,0 kg bzw. 4,22 %). Durch die Erweiterung der Regressoren um die LM konnten die Schätzung des LKXL zwar deutlich verbessert werden, erreichte aber nicht das Niveau der Schätzung mittels LM als alleinigen Regressor. Folgende Regressionsgleichungen zu Schätzung des LKXL mittels FZG konnten ermittelt werden:

$$LKXL (\%) = 1,828 \text{ Leptin (ng ml}^{-1}\text{)} + 11,657 \quad (52)$$

$$R^2 = 0,35, \text{ RMSE} = 4,85 \%, \text{ P} = 0,0012$$

$$LKXL (\%) = 7,4563 \ln(\text{Leptin (ng ml}^{-1}\text{)}) + 10,549 \quad (53)$$

$$\text{RMSE} = 4,22 \%, \text{ P} < 0,0001$$

$$LKXL (\text{kg}) = 15,599 \text{ Leptin (ng ml}^{-1}\text{)} + 69,786 \quad (54)$$

$$R^2 = 0,34, \text{ RMSE} = 42,3 \text{ kg}, \text{ P} = 0,0015$$

$$LKXL (\text{kg}) = 65,465 \ln(\text{Leptin (ng ml}^{-1}\text{)}) + 58,878 \quad (55)$$

$$\text{RMSE} = 36,0 \text{ kg}, \text{ P} < 0,0001$$

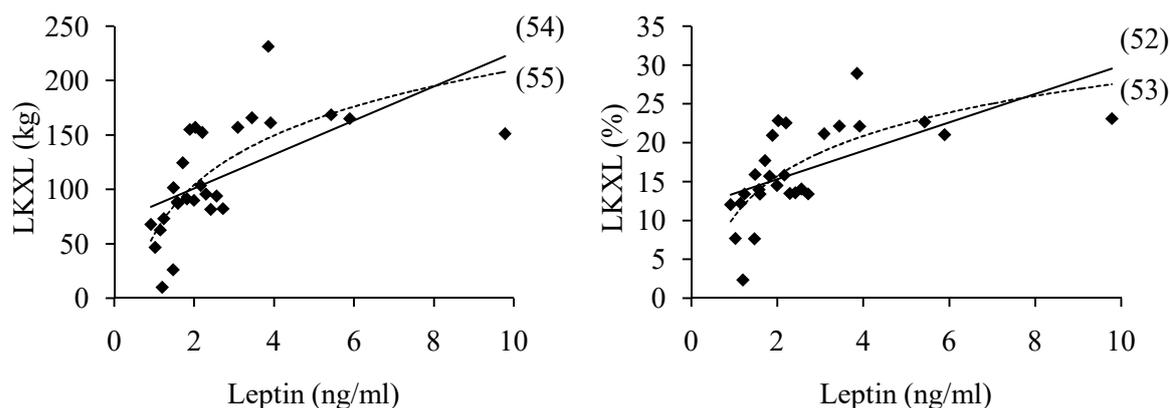


Abbildung 24: Zusammenhang zwischen absoluten und relativen Leerkörperroh fettgehalt (LKXL) und Leptinkonzentration im Blut ($n = 27$, die Zahlen in Klammern entsprechen den Nummern der im Text angegebenen Gleichungen)

5.3 Überprüfung der ermittelten Schätzgleichungen mit Hilfe der Daten der Aufstallungsphase

Die Aufstallungsphase der 29 Kühe dauerte im Mittel 38 ± 12 Tage (12 bis 65 Tage). Die Berechnung der Energiesalden ergab für 8 Tiere eine Unterversorgung, 21 Tiere waren überversorgt. Das mittlere Energiesaldo belief sich auf 724 ± 1240 MJ NEL mit einer erheblichen Spanne von -787 bis 3.956 MJ NEL. Da die Dauer der Aufstallungsphase tierindividuell schwankte, wurde auch das mittlere tägliche Energiesaldo verrechnet. Dieses lag bei $17,9 \pm 32,7$ MJ NEL/Tag (-38,6 bis 84,8 MJ NEL/Tag). Eine Übersicht der tierindividuellen Daten der Aufstallungsphase findet sich im Anhang in Tabelle A-14. Für die Gegenüberstellung der Energiesalden der Aufstallungsphase und den geschätzten Veränderungen des $LKXL_{kg}$ ($\Delta LKXL$) wurden die beiden genauesten Methoden ausgewählt (BIA und LM). Die Ergebnisse sind in Abbildung 25 für den Zeitraum der gesamten Aufstallungsphase bzw. je Aufstallungstag veranschaulicht. Ein Großteil der Tiere zeigte bei einem positiven Energiesaldo eine $LKXL_{kg}$ -Zunahme bzw. bei einem negativen Energiesaldo eine Abnahme des $LKXL_{kg}$. Im Gegensatz dazu gab es aber auch Kühe, die trotz positivem Energiesaldo $LKXL_{kg}$ abgebaut haben oder welche, bei denen bei einem negativen Energiesaldo eine Zunahme des $LKXL$ berechnet wurde. Dabei ist zu betonen, dass es sich bei den $LKXL$ ausschließlich um abgeleitete bzw. geschätzte Werte handelt.

Die Veränderung der **LM** betrug im Mittel der Aufstallungsphase 11 ± 34 kg. Die Spanne zwischen den Tieren erstreckte sich dabei von -38 bis 108 kg. Für die Überprüfung der Schätzung des $LKXL_{kg}$ mittels LM wurde Gleichung Nr. (10) gewählt. Die so berechnete Veränderung des $LKXL_{kg}$ der Kühe lag zwischen -16 und 65 kg (7 ± 20 kg). Bei der Gegenüberstellung der Schätzung der Veränderung des $LKXL_{kg}$ mittels LM und der erhobenen Energiesalden ergaben sich folgende Gleichungen (Abbildung 25):

$$\begin{aligned} \text{Energiesaldo (MJ NEL)} = & \quad 53,996 \Delta LKXL \text{ (kg)} + 311,41 & (56) \\ & R^2 = 0,77, \text{ RMSE} = 601 \text{ MJ NEL}, P < 0,0001 \end{aligned}$$

$$\text{Energiesaldo (MJ NEL/Tag)} = 59,081 \Delta\text{LKXL (kg/Tag)} + 6,8616 \quad (57)$$

$$R^2 = 0,71, \text{RMSE} = 17,8 \text{ MJ NEL}, P < 0,0001$$

Messpunkt A lieferte bei der **BIA** die genauesten Schätzungen des Körperfettgehaltes (Gleichung 32). Dem Energiesaldo stehen demnach im Mittel $8 \pm 24,2$ kg mittels BIA berechneter Körperfettgehalt gegenüber (-31 bis 71 kg). Trotz der hohen Schätzgenauigkeit der LKXL_{kg} -Gehalte mit der BIA ist der Zusammenhang der geschätzten Veränderung des LKXL und der parallel erhobenen Energiesalden gering (Abbildung 25):

$$\text{Energiesaldo (MJ NEL)} = 29,945 \Delta\text{LKXL (kg)} + 483,25 \quad (58)$$

$$R^2 = 0,34, \text{RMSE} = 1025 \text{ MJ NEL}, P = 0,0009$$

$$\text{Energiesaldo (MJ NEL/Tag)} = 18,913 \Delta\text{LKXL (kg/Tag)} + 13,245 \quad (59)$$

$$R^2 = 0,16, \text{RMSE} = 30,4 \text{ MJ NEL}, P = 0,03$$

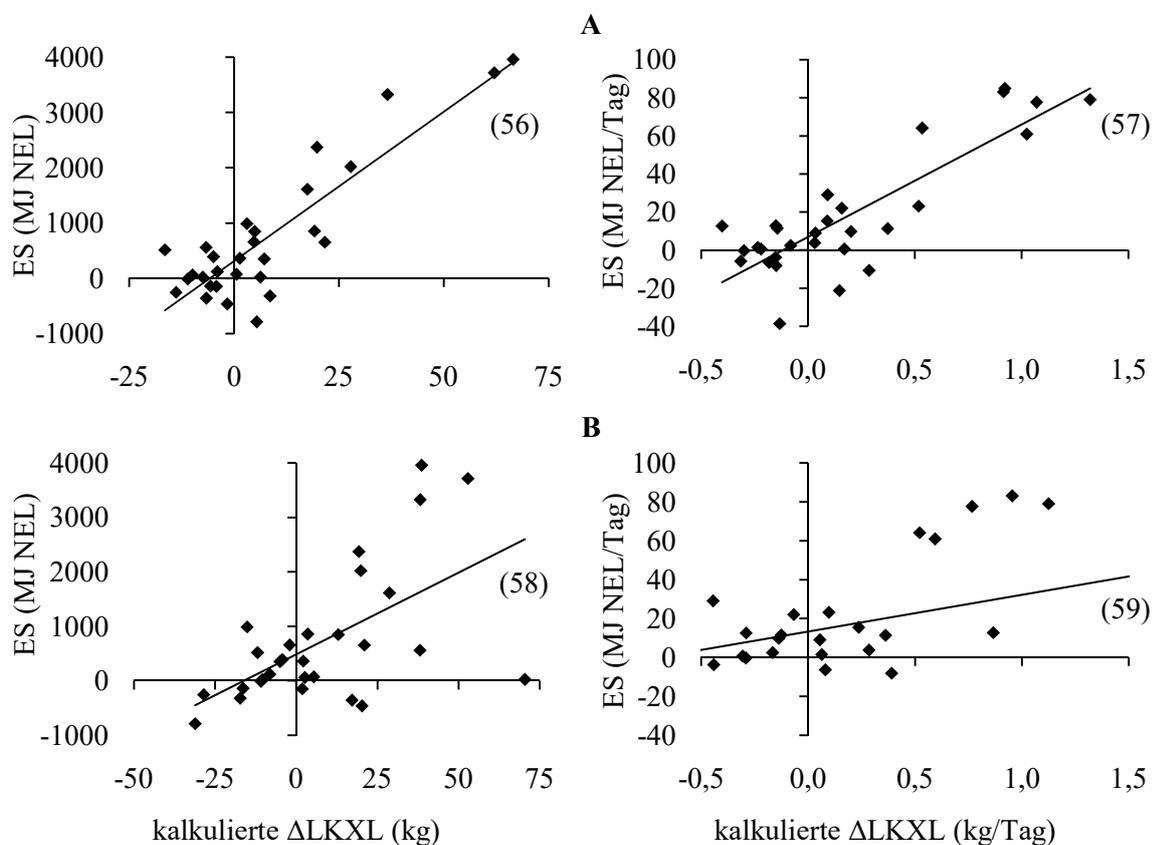


Abbildung 25: Gegenüberstellung der Energiesalden (ES) der Kühe während der Aufstallungsphase und der berechneten Veränderungen der entsprechenden Leerkörperrohffettgehalte (ΔLKXL , $n = 29$); **links**: Zeitraum der gesamten Aufstallungsphase (38 ± 12 Tage, 12 bis 65 Tage); **rechts**: je Aufstallungstag; **A**: Berechnung mittels Lebendmasse (Gleichung 10), **B**: Berechnung mittels Bioelektrischer Impedanzanalyse (Messpunkt A, Gleichung 32, die Zahlen in Klammern entsprechen den Nummern der im Text angegebenen Gleichungen)

6. Diskussion

6.1 Methodendiskussion

Als Goldstandard der Erhebung der Körperzusammensetzung gilt die **Ganzkörperanalyse**, da die einzelnen Inhaltsstoffe direkt nasschemisch ermittelt werden können. Dabei ist es trotz größter Sorgfalt kaum möglich, alle Verluste zu erfassen. Postmortale Muskelzuckungen und Darmperistaltik erschweren die aufwändige Erfassung aller Körperteile und -flüssigkeiten. Außerdem ist eine perfekte Homogenisierung des zerkleinerten Materials kaum möglich und eine gewisse Entmischung der Fraktionen während der Verarbeitung unabwendbar. So waren in dem eingesetzten Fleischwolf wie auch in der Knochenmühle hauptsächlich Fettrückstände zu verzeichnen. Außerdem sind die beim Auskühlen der Körperteile auftretenden Wasserverluste nicht vollständig erfassbar. Auf der anderen Seite ist eine Wasseranreicherung des GIT im Rahmen der Ausspülung der entsprechenden Inhalte trotz anschließender Abtropfung nicht auszuschließen. Dieser Fehler dürfte in Beziehung zur gesamten GIT-Masse stehen.

Streng genommen wurde in der vorliegenden Untersuchung auch keine vollständige Ganzkörperanalyse durchgeführt, da von bestimmten Fraktionen (Knochen, Muskeln, Haut) nur die jeweils rechte Körperhälfte analysiert wurde. Im internationalen Vergleich konnte keine Studie gefunden werden, die die Zusammensetzung von linken und rechten Körperhälften vergleichend geprüft hat. Grundsätzlich ist jedoch nicht davon auszugehen, dass zwischen den Hälften nennenswerte Differenzen vorliegen. Demgegenüber stehen Berichte der Messung der RFD bzw. MD, bei denen beide Körperhälften verglichen und dabei gewisse Differenzen ermittelt wurden. Domecq et al. (1995) prüften die Korrelationen zwischen den jeweils auf der rechten bzw. linken Körperseite erhobenen RFD an 3 Messpunkten und ermittelten Korrelationskoeffizienten (Pearson) von 0,53 (Lende), 0,86 (Hüfte) und 0,65 (Schwanzansatz). Auch die mittels Ultraschall erfasste MD korrelierte zwischen der linken und rechten Körperhälfte nur mit $r = 0,7-0,8$ (Bruckmaier et al., 1998a). Pothmann et al. (2015) ermittelten dagegen eine gute Übereinstimmung zwischen der RFD der beiden Körperseiten ($r = 0,90$). Ob die genannten Unterschiede real sind oder auf die Messgenauigkeit zurückzuführen sind, bleibt offen.

Die Berechnung der XP-Gehalte aus den analysierten Stickstoffkonzentrationen erfolgte in Anlehnung an Susenbeth (1984) für alle Fraktionen mit dem Faktor 6,25, weil keine gewebsspezifischen Daten zur Verfügung standen. Es ist nicht davon auszugehen, dass der N-Anteil im Protein in allen Fraktionen gleich ist. Diese Vorgehensweise ist in internationalen Arbeiten jedoch üblich (Gibb et al., 1992; Littledike et al., 1995; Thompson et al., 1997).

Die Höhe der **Verluste** als Differenz zwischen dem Gewicht der aufsummierten Fraktionen plus Inhalt des GIT und der kurz vor der Schlachtung erfassten Lebendmasse der Kühe lag im Mittel bei $-1,5 \pm 0,8 \%$ (-3,8 bis -0,5 %). Bei der Berechnung der Körperzusammensetzung wurde angenom-

men, dass die Zusammensetzung der Verluste der des analysierten Materials entspricht. Diese Vorgehensweise ist vor dem Hintergrund der oben genannten Genauigkeitsprobleme mit großer Wahrscheinlichkeit fehlerbehaftet, scheint aber alternativlos. Neben den Komponenten Wasser, XL, XA und XP enthält der bovine Körper auch Kohlenhydrate, welche in der vorliegenden Untersuchung nicht berücksichtigt wurden, da sie nach Reid et al. (1955) weniger als 0,5 % des Körpers ausmachen.

Trotz der genannten möglichen Fehlerquellen konnte an dem vorliegendem Datenmaterial ein sehr enger negativer Zusammenhang zwischen LKXL% und relativem Leerkörperwassergehalt festgestellt werden ($r = -0,99$, Abbildung 26). Entsprechende Vergleichswerte für Kühe aus der internationalen Literatur liegen zwischen $-0,91$ und $-0,99$ (Ferrel und Jenkins, 1984; Little und McLean, 1981; Reid et al., 1955; Wright und Russel, 1984b). Da die enge negative Beziehung zwischen den genannten Körperbestandteilen als Grundlage einer Schätzung der Körperzusammensetzung über die Gesamtkörperwasserbestimmung gilt (Bauer, 1990; Reid et al., 1955), gibt es im Umkehrschluss keinen Grund, die Qualität der vorliegenden Daten im Hinblick auf die Aussagefähigkeit in Frage zu stellen.

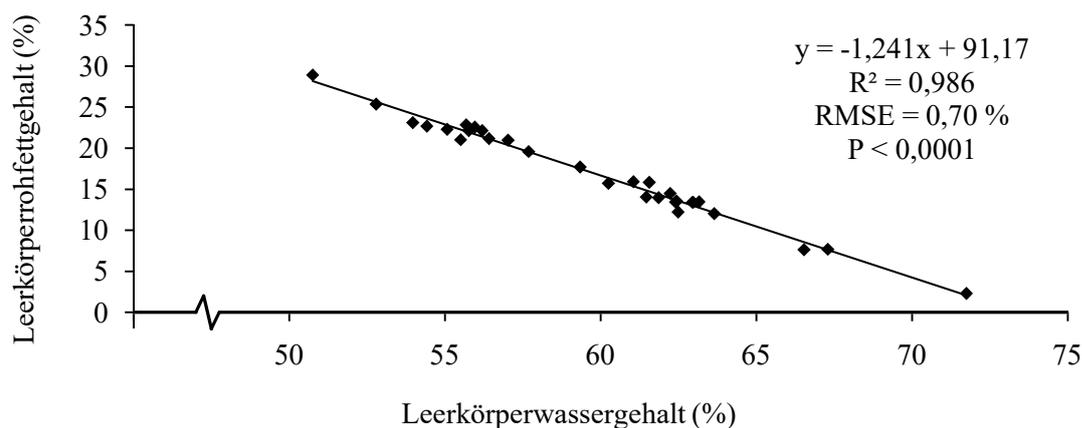


Abbildung 26: Zusammenhang zwischen analysiertem Leerkörperwassergehalt und analysiertem Leerkörperrohffettgehalt bei den 30 untersuchten Kühen ($r = -0,99$)

Neben möglichen Verlusten bei der Ganzkörperanalyse ist auch eine Anreicherung bestimmter Stoffe nicht auszuschließen. Dies betrifft in erster Linie die XA und die einzelnen Mineralstoffe. Hier kommt insbesondere der Abrieb von Maschinen in Frage, welcher bei der beschriebenen massiven mechanischen Bearbeitung beispielsweise der Knochen, nicht auszuschließen ist. Auf diesen Punkt wird in Kapitel 6.2.4 weiter eingegangen.

Je nach Fragestellung ist die **Auswahl des Ausgangsmaterials** für die Ableitung von Erkenntnissen eine entscheidende Größe. Die Kühe der vorliegenden Untersuchung deckten die relevante Bandbreite an Verfettungsgraden ab, so dass Aussagen für einen weiten Bereich an Körperkonditionen abgeleitet werden können. Durch die Auswahl ausschließlich nicht tragender Tiere konnten eventuelle Auswirkungen einer Trächtigkeit auf die Körperzusammensetzung und deren Schätzung ausgeschlossen werden. Dadurch ist eine Übertragung der Ergebnisse auf trächtige Kühe nur be-

dingt möglich, was den Anwendungsbereich der Erkenntnisse einschränkt. Hier dürften allerdings Abstufungen für die Aussagekraft der verschiedenen indirekten Methoden vorliegen. Während eine Trächtigkeit die LM und den Körperwassergehalt und damit die Messung der BIA beeinflusst, sind die Einflüsse auf Methoden wie BCS und RFD vermutlich geringer.

Die **Milchleistung** der Kühe lag mit 8.014 ± 1.215 kg Milch knapp 1.000 kg über der derzeitigen mittleren Leistung in Bayern und rund 1.000 kg unter dem Stalldurchschnitt der Gruber Milchviehherde, aus der der Großteil der Tiere stammte. Die Versuchstiere wurden nicht gezielt nach ihrem Leistungsniveau ausgewählt, sondern nach Kenngrößen der Körperkondition. Dabei ist zu berücksichtigen, dass größtenteils Tiere zur Verfügung standen, die ohnehin abgegangen wären, wobei die Abgangsursache geringe Milchleistung am häufigsten verzeichnet wurde (27 %). Daher ist die tendenziell geringere Milchleistung nicht überzubewerten. Insgesamt gibt es keinen Grund zur Annahme, dass das verwendete Tiermaterial nicht repräsentativ für das im süddeutschen Raum eingesetzte Fleckvieh im Sinne der Fragestellung dieser Arbeit ist.

Die Erhebung der für die **Berechnung der Energiesalden** benötigten Daten erfolgte mit größter Sorgfalt. Die größte Herausforderung war dabei eine repräsentative Probenahme, beispielsweise der Gemelke und Futtermittel. Auch die Frequenz von Probenahme und Datenerhebung beeinflussen die Genauigkeit der Erfassung von Energieaufnahme und -bedarf. Die in der vorliegenden Studie vorgenommene überwiegend wöchentliche Erhebung ist dabei hinsichtlich Fehleranfälligkeit zu hinterfragen, steht aber in einem guten Verhältnis zu Arbeitswirtschaft und ist vor dem Hintergrund des mittleren bis späten Laktationsstands der Kühe zu vertreten, da hier keine gravierenden Änderungen (Milchinhaltstoffe, LM) mehr zu erwarten waren. Unter der Annahme, dass eine Futterselektion bei einer Mischration kaum möglich ist, und dass eventuelle Kraftfutterzugaben vollständig aufgenommen werden, wurde keine Analyse der Futterreste durchgeführt.

Ein Aspekt der **Statistik**: Bei der Einordnung der Ergebnisse sollte beachtet werden, dass die Güte von Regressionsanalysen auch durch die Spannbreite der zur Verfügung stehenden Regressoren beeinflusst wird. Die gezielte Auswahl extrem magerer bzw. fetter Kühe führte demnach zu einer Steigerung der Schätzgenauigkeiten. Dies wird von Altmann et al. (2007) bestätigt, welche in ihrem Review über Leptin als Indikator für die Schlachtkörperzusammensetzung von Nutztieren feststellten, dass enge positive Beziehungen insbesondere dann hergestellt werden konnten, wenn der Körperfettgehalt stark variiert. Auch Houghton und Turlington (1992) betonen die Limitierungen von Korrelationskoeffizienten. So werden sie von der Varianz des untersuchten Tiermaterials beeinflusst und systematische Messfehler nicht berücksichtigt.

6.2 Grobgewebliche und chemische Zusammensetzung der Schlachtkühe

6.2.1 Leerkörperrohffettgehalt

Gemäß dem Versuchsplan wiesen sowohl die relativen als auch die absoluten LKXL der Kühe eine große Streuung auf. Somit wird die Variation, welche durch Einflussfaktoren wie Laktation, Laktationsnummer, Laktationsstand und auch Genetik bedingt ist (Agnew et al., 2005), widerspiegelt. In der Literatur finden sich kaum Vergleichswerte für ausgewachsene Kühe aus einer Ganzkörperanalyse für die Rasse Fleckvieh. Williams und Jenkins (1997) ermittelten bei nicht tragenden, nicht laktierenden Simmental-Kühen je nach Versorgungsniveau im Mittel 44 bis 170 kg LKXL bei entsprechenden LKM von 430 und 652 kg. Diese $LKXL_{kg}$ liegen bei vergleichbarer LKM rund 40 kg über den vorliegenden Ergebnissen. Dagegen ordnen sich die vorliegenden relativen LKXL (17,1 %, 2,3 – 28,9 %) aufgrund der höheren Lebendmassen gut in die nach den Angaben von Williams und Jenkins berechneten Werte ein (10,2 bzw. 26,1 % LKXL). Laurenz et al. (1992) ermittelten mittels D_2O -Verdünnungsmethode ebenfalls vergleichbare Werte für ausgewachsene Fleckviehkühe (16,7 % XL in der LM). Bezogen auf das Lebendgewicht ergab sich in der vorliegenden Untersuchung ein mittlerer Rohffettgehalt von 15,2 %.

Der Vergleich mit Ergebnissen von anderen Rassen zeigte, dass die LKXL der untersuchten Fleckviehkühe eher als gering einzustufen ist, wobei zu berücksichtigen ist, dass auch gezielt magere Tiere mit ausgewählt wurden. Aus Daten von Wright und Russel (1984a) ergeben sich beispielsweise für Kühe der Rassen Hereford x Friesian, Blue-Grey, Galloway, Luing und British Friesian jeweils mittlere LKXL von 24, 28, 23, 21 und 26 %. Andrew et al. (1994) fanden bei Holstein Kühen 7 Tage a.p., am 63. und am 269. Laktationstag LKXL-Gehalte von 18,8, 10,7 und 16,3 %. In einer neueren Arbeit fanden Von Soosten et al. (2012) bei erstlaktierenden Kühen der Rasse Deutsch-Holstein je nach Laktationsstand mittlere Gehalte von 14,5-19,4 % LKXL. Zur Veranschaulichung wurden die Ergebnisse der vorliegenden Untersuchung denen der internationalen Literatur in Abbildung 27 und Abbildung 28 gegenüber gestellt.

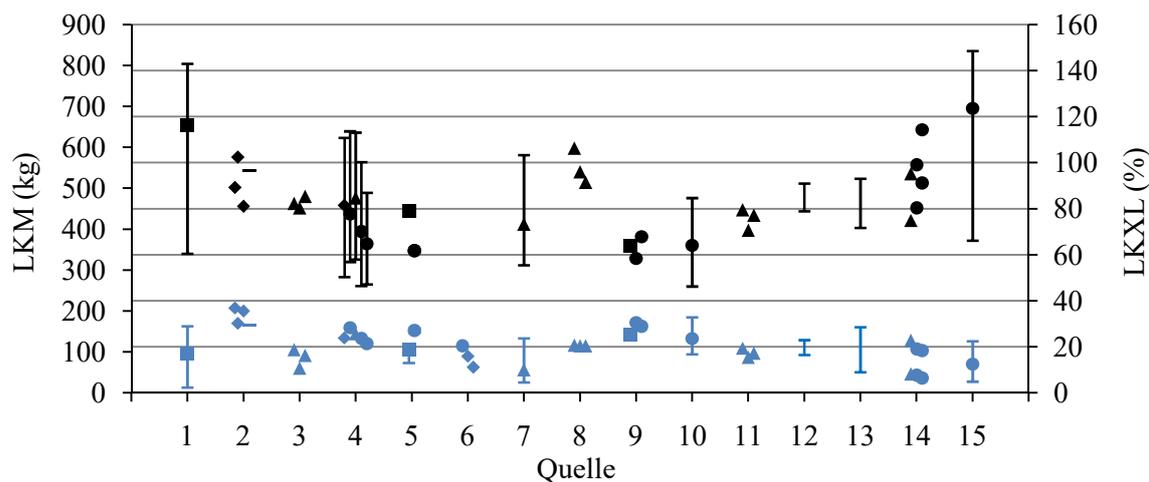


Abbildung 27: Einordnung der in der vorliegenden Untersuchung ermittelten Leerkörperrohffettgehalte (LKXL, blau) und entsprechenden Leerkörpermassen (LKM, schwarz) in Literaturberichte für weibliche Rinder (Indikatoren: Min und Max, ■ Fleckvieh, ▲ Milchrasen, — Fleckviehkreuzungen, ● Fleischrasen, ◆ Kreuzungen aus Milch- und Fleischrasen)

Quellen: Ermittlung des LKXL: GKA = Ganzkörperanalyse, D₂O = D₂O-Verdünnungsmethode, HVR = Harnstoffverteilungsraum

- 1 Vorliegende Untersuchung, 30 Fleckviehkühe, GKA
- 2 Ferrell und Jenkins (1984)*, verschiedene Kreuzungen, je 4 Kühe, GKA
- 3 Andrew et al. (1994), 25 Holsteinkühe in versch. Laktationsstadien, GKA
- 4 Wright und Russel (1984a)*, verschiedene Rassen, insgesamt 73 Kühe, GKA
- 5 Laurenz et al. (1992)*, je 30 Kühe der Rasse Simmental und Angus, D₂O
- 6 Thompson et al. (1983), 40 Anguskühe, je 20 Kühe aus Kreuzungen von Angus x Hereford bzw. Angus x Holstein, D₂O
- 7 Agnew et al. (2005), 104 Holstein-Friesiankühe, GKA
- 8 Chibisa et al. (2008)*, 16 Milchkühe in unterschiedlichen Laktationsstadien, HVR
- 9 Buckley et al. (1990), je 6 Färsen (14 Monate) der Rassen Fleckvieh, Hereford und Charolais, GKA
- 10 Ferrell et al. (1976), 18 Herefordfärsen, GKA
- 11 Von Soosten et al. (2012), je 5 Jungkühe der Rasse Deutsch-Holstein in unterschiedlichen Laktationsstadien, GKA
- 12 Gibb et al. (1992)*, 54 Holstein-Friesiankühe in unterschiedlichen Laktationswochen (0 bis 29), GKA
- 13 Butler-Hogg et al. (1985)*, 20 Friesiankühe in unterschiedlichen Laktationsstadien, GKA
- 14 Robelin et al. (1990)*, Holstein, Limousin und Charolais Trockensteher, vor und nach Mastphase, GKA
- 15 Fiems et al. (2005), 24 nicht tragende, nicht laktierende Weißblaue Belgier Kühe, GKA

* Werte nach den Angaben der Autoren berechnet

Bei alleiniger Betrachtung der LKXL_% scheinen sich die Ergebnisse der hier untersuchten Kühe in die Berichte der Literatur gut einzuordnen (Abbildung 27). Die absoluten LKXL der Tiere der vorliegenden Arbeit waren allerdings bei vergleichbarer LKM rund 50 bis 100 kg LKXL geringer (Abbildung 28). Dabei ist zu berücksichtigen, dass die meisten Vergleichswerte für LKM von unter 600 kg zur Verfügung standen und der Großteil der untersuchten Fleckvieh-Kühe über eine höhere LKM verfügte. Lediglich Fiems et al. (2005) fanden LKXL, die bei entsprechenden LKM unter

denen der vorliegenden Studie lagen. Die Autoren untersuchten nicht tragende, nicht laktierende ausgewachsene Kühe der Rasse Weißblaue Belgier (Belgian Blue double-muscled cows) und ermittelten 84,5 kg LKXL bei einer mittleren LKM von 625 kg (12,6 %).

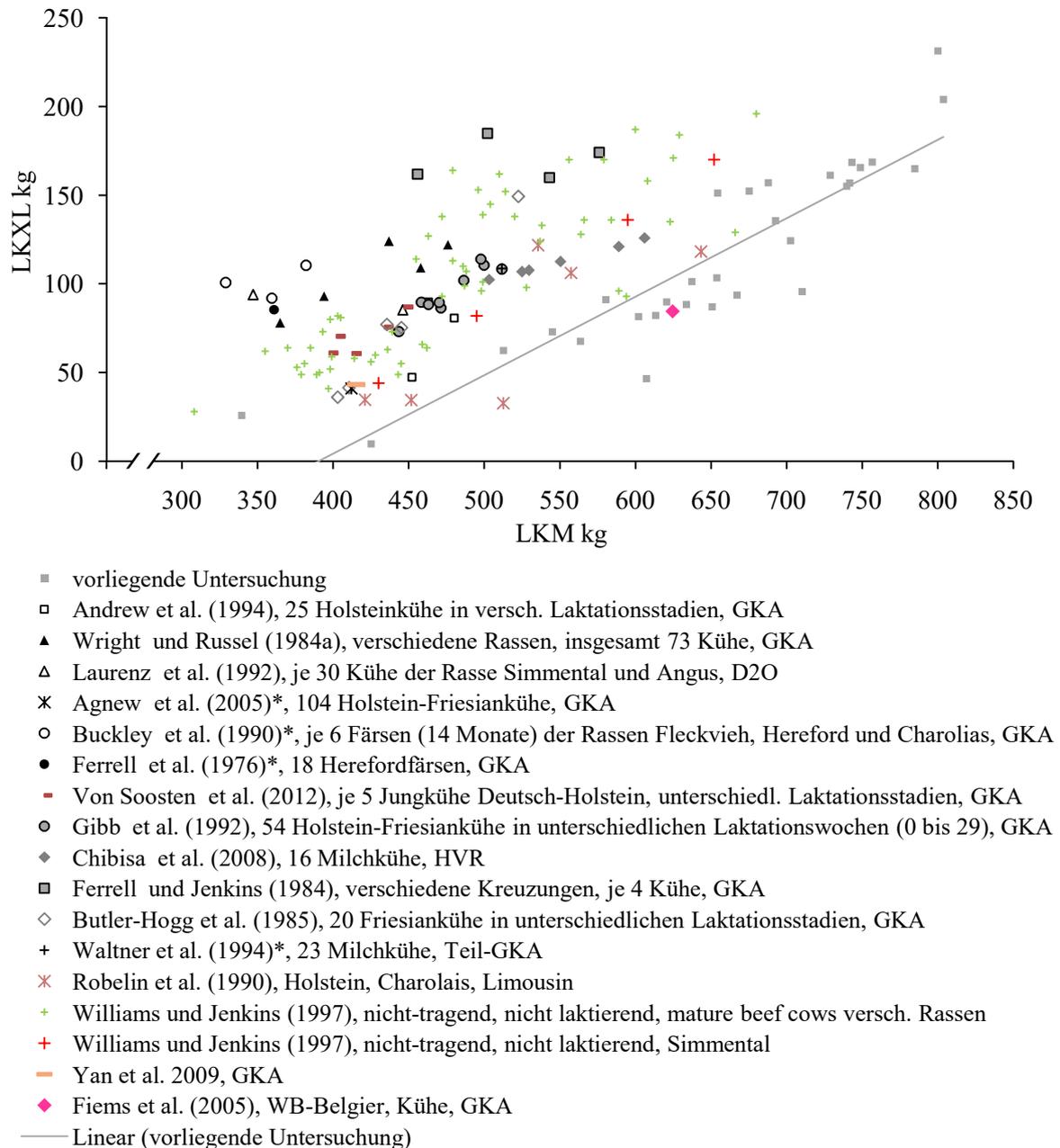


Abbildung 28: Vergleich der Leerkörperroh fettgehalte (LKXL) der vorliegenden Untersuchung mit Literaturberichten für weibliche Rinder in Abhängigkeit von der Leerkörpermasse (LKM; Ermittlung des LKXL: GKA = Ganzkörperanalyse, D₂O = D₂O-Verdünnungsmethode, HVR = Harnstoffverteilungsraum; * Werte nach den Angaben der Autoren berechnet)

Obwohl die zitierten Fettanteile größtenteils aus Ganzkörperanalysen stammen, zeigte sich doch eine sehr große Streuung in Abhängigkeit von Rasse, Laktationsnummer und Laktationsstand, wobei kaum gerichtete Tendenzen erkennbar waren. Dies unterstreicht die Bedeutung der Erhebung von spezifischen Daten in Abhängigkeit von Rasse, Laktationsnummer und Laktationsstadium. Ein Einfluss einer Trächtigkeit ist ebenfalls denkbar. Butler-Hogg et al. (1985) fanden trotz vergleich-

barer LM bei abgemolkenen, nicht tragenden Kühen doppelt so viel LKXL_{kg} wie bei hochtragenden Tieren (149 bzw 75 kg). Allein aufgrund der laktationsspezifischen Körperkonditionsschwankungen (Andrew et al., 1994; Butler-Hogg et al., 1985; Chibisa et al., 2008; Von Soosten et al., 2012) können rassespezifische Unterschiede in den Körperfettgehalten nur schwer rausgearbeitet werden. Die in vorliegender Untersuchung ermittelten LKXL_% ordnen sich im Mittel der Literaturwerte ein. Aufgrund der analysierten LKXL_{kg} sind die untersuchten Kühe allerdings als besonders mager einzustufen. Dabei ist zu berücksichtigen, dass in der vorliegenden Untersuchung auch gezielt Kühe mit vergleichsweise geringer bzw. hoher Körperkondition einbezogen wurden. Inwieweit die Tiere aus den zitierten Versuchen repräsentativ für die jeweiligen Rassen waren, kann nicht beurteilt werden, daher gestaltet sich die Einordnung der Körperfettgehalte schwierig. Außerdem kann eine Veränderung der Körperzusammensetzung aufgrund von Zuchtzieländerungen (z.B. Magerfleischanteil bei den Fleischrassen, größerer Rahmen, höhere Lebendmasse) nicht ausgeschlossen werden. Dies ist bei der Bewertung der Vergleichswerte zu berücksichtigen, da die zitierten Daten zum Teil recht alt sind. Grundsätzlich kann aber festgehalten werden, dass die im Versuch verwendeten Kühe mit ihren entsprechenden Körperkonditionen den in der Praxis üblichen Bereich abdeckten.

Der in der vorliegenden Untersuchung gefundene maximale LKXL von 28,9 % wird in der internationalen Literatur durchaus übertroffen (Buckley et al., 1990; Wright und Russel, 1984a). Reid et al. (1955) fanden in einer Meta-Analyse bis zu 44,6 % LKXL bei Fleischrindern und 29,2 % bei Milchrindern. Auf der anderen Seite scheint der vorliegend gefundene Maximalwert von 231 kg LKXL in den derzeitigen LM-Bereichen einen Extremwert darzustellen (Abbildung 28). Dieser wird nach Literaturangaben, wie beispielsweise von Wright und Russel (1984a) mit 274 kg LKXL bei einer Blue-Grey-Kuh (Kreuzung aus Whitebred Shorthorn und Galloway), zwar noch übertroffen, dürfte aber hinsichtlich seiner praktischen Relevanz eher unbedeutend sein. Einem solchen Verfettungsgrad gehen längere Mastperioden voraus, die in der Praxis selten anzutreffen sind. Eine absolute Obergrenze des LKXL ist daher kaum abzuleiten (Robelin et al, 1990) und auch hinsichtlich ihrer Bedeutung fragwürdig.

Demgegenüber scheint der LKXL der magersten Kuh (2,3 %) der vorliegenden Untersuchung tatsächlich eine physiologische Untergrenze darzustellen. Agnew et al. (2005) fanden bei 104 laktierenden Holstein-Friesian Kühen ein Minimum von 45 g XL/kg LKM. Wright und Russel (1984a) ermittelten bei leichteren Kühen Minimumwerte von 15 bzw. 17 kg LKXL, die nur geringfügig über dem der vorliegenden Untersuchung lagen (10 kg LKXL). Auch andere Autoren berichten von sehr niedrigen LKXL, der niedrigste Fettanteil der vorliegenden Studie wurde aber nicht erreicht (Fiems et al., 2005: 4,9 %; Robelin, 1982: 6,4 %; Robelin et al., 1990: 30 kg; Yan et al., 2009: 16,6 kg). Lediglich Reid et al. (1955) berichten von niedrigeren LKXL (1,8 %) wobei in dieser Studie alle Altersgruppen vertreten waren (auch Kälber).

Insgesamt gibt es nur wenige Studien, die sich mit der Verteilung der Fettreserven im Körper von Rindern befassten. Für die Einordnung der Daten der vorliegenden Studie sollten nur Daten von Kühen herangezogen werden, da die Einflussfaktoren Geschlecht und Wachstumsstadium nicht unbedeutend für den LKXL und dessen Verteilung sind. Die **Knochen** der magersten Kuh wiesen nur 6,4 % XL auf. Die XL-Gehalte der Knochen der anderen Tiere schwankten nur geringfügig um den Mittelwert von 18,4 % ($\pm 3,2$ %; Ausnahme: zwei Tiere mit geringfügig niedrigeren Knochen-XL-Gehalten von unter 15 % bei über 20 % LKXL). Dabei war kein Zusammenhang zum LKXL erkennbar. Daher ist davon auszugehen, dass der niedrige XL-Gehalt der Knochen der magersten Kuh auf eine vorangegangene Mobilisation von XL aus den Knochen zurückzuführen ist. Dies bestätigt die Vermutung, dass der niedrige LKXL dieser Kuh (2,3 %), ein physiologisches Minimum darstellt. Als Ursache für diese extreme Abmagerung wurden hohe Milchleistung und eine Klauenkrankung mit entsprechender Reduzierung der Futteraufnahme vor Versuchsbeginn ausgemacht. Andere Einschränkungen in der Tiergesundheit wurden nicht beobachtet. Verminderte Knochenfettgehalte bei sehr mageren Tieren werden in der Literatur für Kühe unter 10 % LKXL (Wright und Russel, 1984a) und Mutterschafe unter 15 % LKXL (Russel et al., 1971) bestätigt. Trotz des reduzierten XL-Gehaltes der Knochen, stellte diese Fraktion bei der magersten Kuh mit 45 % des LKXL den bedeutendsten Fettspeicher dar. Dies bestätigen Wright und Russel (1984a) bei mageren Tieren von Fleischrinderrassen bzw. British Friesian, wobei keine rassespezifischen Unterschiede festgestellt wurden. Mit zunehmender Verfettung nahm der Anteil des LKXL aus den Knochen in beiden Untersuchungen vergleichbar exponentiell ab (Abbildung 29). Diese Ergebnisse passen ebenfalls zu denen von Wright und Russel (1984a). Dabei ist dieser Rückgang auf die begrenzte Fettspeicherkapazität des Knochengewebes bei zunehmender Fetteinlagerung in anderen Geweben zurückzuführen (Russel et al., 1971). Im Gegensatz zu den Ergebnissen der vorliegenden Untersuchung (Ausnahme magerste Kuh) berichteten Wright und Russel (1984a) von Schwankungen im XL-Gehalt der Knochen (12,3-43,7 % XL), ebenfalls ohne Zusammenhang zum LKXL_% und im Mittel auf einem höheren Niveau (23,0 % XL). Die in der vorliegenden Studie gefundenen Knochen-XL-Gehalte (18,4 %) sind vergleichbar mit den Ergebnissen von Von Soosten et al. (2012) zu erstlaktierenden Tieren. Diese Autoren ermittelten am ersten Laktationstag 17,1 % XL in den Knochen. Im Verlauf der Laktation stieg dieser Wert tendenziell ($P=0,085$) auf bis zu 20,8 %.

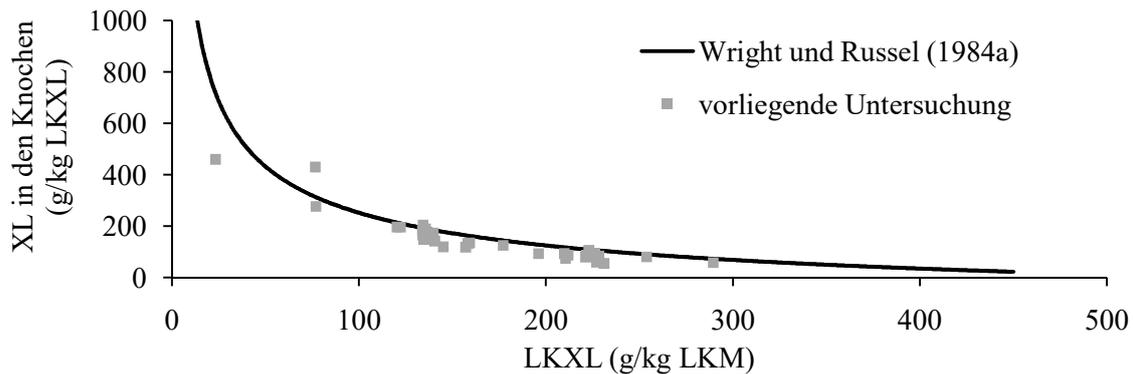


Abbildung 29: Vergleich des Zusammenhangs zwischen dem Leerkörperrohffettgehalt (LKXL) der Leerkörpermasse (LKM) und dem Anteil des Rohfetts (XL) in den Knochen

Ab einem LKXL von ca. 5 %, bzw. mit Ausnahme der magersten Kuh, war die Fraktion **Muskeln** bei den untersuchten Tieren der mengenmäßig bedeutendste Fettspeicher. Hier wurden 50-60 % des LKXL gefunden, wobei der Anteil dieser Fraktion am LKXL mit steigender Verfettung leicht an Bedeutung gewann (vgl. Abbildung 12). Wright und Russel (1984a) fanden ebenfalls den überwiegenden Teil des LKXL in der Fraktion Muskeln ab einem LKXL von ca. 10 %. Dabei konnten keine signifikanten Unterschiede zwischen den untersuchten Rassen festgestellt werden. Allerdings ist das Niveau des Anteils der Fraktion Muskeln am Gesamt-LKXL deutlich niedriger als in der vorliegenden Untersuchung und stieg nur bis ca. 15 % LKXL (ca. 39 % LKXL aus Muskeln) an und verlief mit zunehmender Verfettung rückläufig. Dabei ist zu berücksichtigen, dass die Autoren das subkutane Fettdepot getrennt erfasst haben und dieses in den Ergebnissen der vorliegenden Studie methodisch bedingt zum Teil in der Fraktion Muskeln enthalten war. Wenn die Anteile LKXL aus den Fraktionen Muskeln und subkutanem Fettgewebe zusammen betrachtet werden (Abbildung 30), sind die von Wright und Russel (1984a) ermittelten Werte nahezu auf dem Niveau der vorliegenden Untersuchung. Die Ergebnisse von Von Soosten et al. (2012, berechnet nach den Angaben der Autoren) für erstlaktierende DH-Kühe sind für den LKXL-Anteil aus Muskelgewebe vergleichbar mit den Werten von Wright und Russel (1984a, Abbildung 30). Werden bei den Ergebnissen von Von Soosten et al. (2012) die Fraktionen Muskeln und subkutanes Fett addiert, ergibt sich ein deutlich geringerer Anteil am LKXL als in der vorliegenden Untersuchung allein mit der Fraktion Muskeln inkl. Teilen der subkutanen Reserven erzielt wurden. Auch Butler-Hogg et al. (1985) bestätigen, dass der Anteil des LKXL aus der Fraktion Muskeln im Vergleich mit den übrigen Körperfraktionen unabhängig vom Laktationsstand am größten ist. Die Autoren berichten von 376 – 562 g intermuskulärem Fett/kg LKXL, wobei nur die absoluten Gewichte der Fettdepots berücksichtigt wurden, nicht der jeweilige XL-Gehalt.

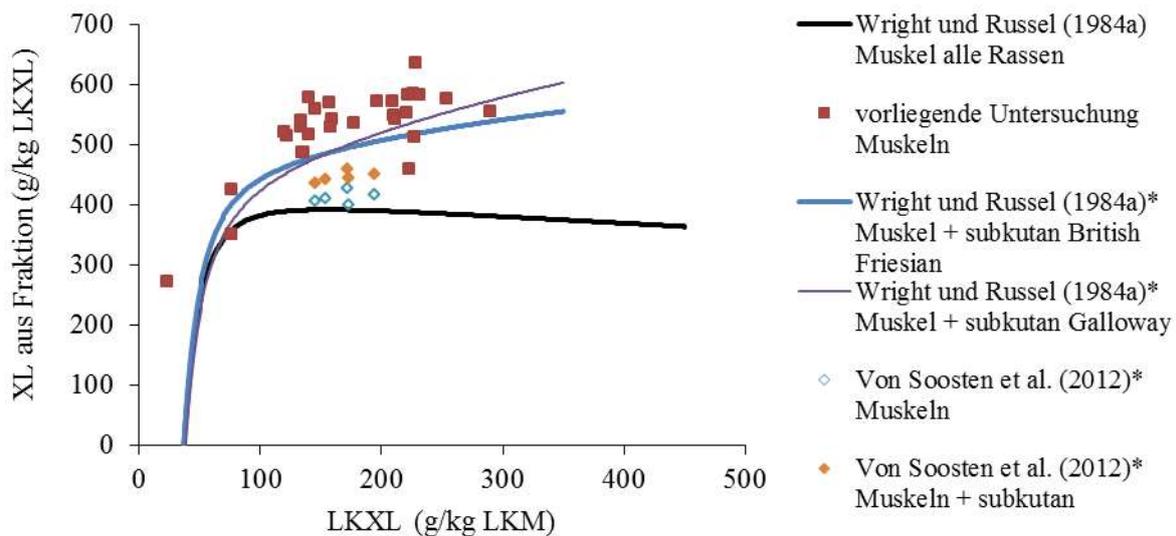


Abbildung 30: Einordnung des Anteils Rohfett (XL) aus der Fraktion Muskeln am Leerkörperroh-fettgehalt (LKXL) in Literaturangaben (* Berechnet nach den Angaben der Autoren)

Insgesamt war der Anteil LKXL aus der Fraktion Muskeln in den untersuchten Fleckviehkühen höher als in den genannten Vergleichsstudien. Die naheliegendste Erklärung wäre der hohe Anteil an Muskelmasse dieser Zweinutzungsrasse in Verbindung mit der höheren LM. Von Soosten et al. (2012) untersuchten Jungkühe der Rasse DH und Wright und Russel et al. (1984a) kleinrahmige Fleischrinderrassen bzw. eine Milchrasse mit mittleren LM zwischen 434 und 560 kg.

Um den Anteil des **subkutanen** XL, der durch die zufällige Aufteilung bei der Häutung der Fraktion Muskeln zugeordnet wurde einschätzen zu können, bietet sich ein Literaturvergleich von entsprechenden XL-Gehalten der Haut an. In der internationalen Literatur finden sich allerdings kaum Angaben zum XL-Gehalt der Haut von ausgewachsenen weiblichen Rindern. Außerdem fanden Jenkins und Ferrell (1997) erhebliche Unterschiede in XL-Gehalt der Haut zwischen verschiedenen Rassen. Ein Vergleich der Ergebnisse der vorliegenden Untersuchung mit Studien, in denen andere Rassen zum Einsatz kamen, scheint daher fragwürdig. Jenkins und Ferrell (1997) ermittelten für Fleckviehkühe 2,2 bis 6,2 % XL in der Haut bei einem mehrjährigen Versorgungsniveau im Bereich von 58 bis 111 g TM/kg LM^{0,75}. Die vorliegenden Werte lagen bei 7,4 % XL in der Haut und somit erwartungsgemäß über den zitierten Ergebnissen. Die Differenz müsste dem Anteil an subkutanem Fett entsprechen, der aber mit den vorhandenen Daten nicht quantifiziert werden kann. Werden für einen Überschlag 2 %-Punkte als Differenz aus subkutanen Reserven angenommen, entspricht das 1,2 kg XL. Der Anteil XL aus der fiktiven Fraktion Muskeln und subkutanes Fett wäre somit um 1 % höher als aus der Fraktion Muskeln. Die Schlussfolgerung aus Abbildung 30, dass die Fraktion Muskeln über einen vergleichsweise hohen XL-Anteil verfügt, würde damit trotz der eingeschlossenen Anteile subkutaner Reserven bestätigt werden.

Nach der Fraktion Muskeln und neben den Knochen war der **GIT** das bedeutendste Depot für XL. Sein XL-Gehalt stieg mit zunehmendem LKXL von nahezu 0 % auf rund 50 % stark an was zu einer Verdopplung des Anteils am absoluten LKXL von 10 auf 20 % führte (Abbildung 13). Butler-Hogg et al. (1985) bestätigen die Bedeutung des GIT als Fettspeicher bei Kühen der Rasse British Friesian. Im Vergleich zu abgemolkenen nicht tragenden Kühen waren bei Tieren in der Mittellaktation 82 % der entsprechenden Reserven mobilisiert. Nur das subkutane Depot wurde noch stärker abgebaut (84 %). Je nach Laktationsstand entfielen 17 bis 23 % des Fettes auf die Depots am GIT. Die Ergebnisse der Untersuchung von Andrew et al. (1994) an Holstein Kühen lagen in einem ähnlichen Bereich (17 bis 20 %).

Die größten **Veränderungen** der absoluten XL-Gehalte in Abhängigkeit des LKXL wurden in den Fraktionen Muskeln (124 kg), GIT (43 kg) und Nierentalg (27 kg) gefunden. So waren in der magersten Kuh nur noch 2,1 % (Muskeln), 1,7 % (GIT) bzw. 0,2 % (Nierentalg) der XL-Mengen der fettesten Kuh vorhanden, während bei den Fraktionen Leber, Knochen, Organe, Euter und Haut noch entsprechend 36,4, 33,6, 11,7, 8,8, und 7,1 % der XL-Mengen gefunden wurden. Der nach den Angaben von Andrew et al. (1994) berechnete Rückgang des Anteils LKXL aus GIT bei abnehmendem LKXL in der Frühaktation ist bei entsprechenden LKXL_% mit den Ergebnissen der vorliegenden Untersuchung vergleichbar. Auch die relativen XL-Gehalte des GIT sind bei entsprechendem LKXL_% vergleichbar. Von Soosten et al. (2011) bestätigen die empfindliche Reaktion der Fraktion Nierentalg auf Veränderungen im LKXL in der Frühaktation, in der laktationsbedingt die größten Veränderungen im LKXL stattfinden. Auch in der Studie von Butler-Hogg et al. (1985) wurden bei Kühen in der Hochaktation nur noch 20 % der absoluten Nierentalg-Fettmengen von abgemolkenen, nicht tragenden Kühen gefunden. Allerdings wurden die subkutanen Depots und das Rippenfett noch stärker abgebaut.

Die Verteilung des LKXL auf die verschiedenen Depots ist nicht statisch, sondern variiert in Abhängigkeit des Laktationsstadiums. So werden die Fettdepots im Verlauf der Frühaktation unterschiedlich stark abgebaut, was zu Veränderungen in den Proportionen der Fettdepots untereinander führt (Butler-Hogg et al., 1985; Gibb et al., 1992; von Soosten et al., 2011). Dabei wird im Laktationsverlauf, wenn auch nicht immer signifikant, überproportional Fett aus Nicht-Schlachtkörpergeweben abgebaut (GIT, Nierentalg, Reproduktionstrakt), während aus den Fraktionen Haut, Kopf, Füße und Schwanz kein Fett mobilisiert wird (Gibb et al., 1992). Auch Butler-Hogg et al., 1985 berichten von Unterschieden in den Proportionen von subkutanem Fett, intermuskulärem Fett und Nierentalg in verschiedenen Laktationsstadien. Beim Vergleich von Kühen mit ähnlichem Fettanteil konnten die Autoren aber nur einen geringen, nicht signifikanten Einfluss des Laktationsstadiums ermitteln. Daraus kann geschlossen werden, dass Verschiebungen in der Fettverteilung mit der Gesamtverfettung einhergehen. Dies bestätigen die Daten der vorliegenden Studie.

Die absolute Menge des **Nierentalgs** der vorliegenden Untersuchung reiht sich mit 9,9 kg (0,8-29,3 kg) am oberen Ende der in der Literatur berichteten Spanne von 0,1 bis 18,9 kg ein (Buckley et al., 1990; Gibb et al., 1992; Robelin et al., 1990; Von Soosten et al., 2012; Waltner et al., 1994; Wright und Russel, 1984a). In Abbildung 31 sind die Ergebnisse des Anteils des LKXL aus Nierentalg im Literaturvergleich dargestellt. Wright und Russel 1984a fanden signifikant geringere Relationen bei verschiedenen Fleischrassen im Vergleich zu British Friesian Kühen. Bis zu einem LKXL von 15 % sind die Daten der vorliegenden Studie mit den Werten der Rasse British Friesian vergleichbar, darüber hinaus war der Anteil LKXL aus Nierentalg bei den vorliegend untersuchten Fleckviehkühen deutlich höher. Mit zunehmender Verfettung stieg der Anteil aus dem Nierentalg stärker an. Die vorliegend ermittelten Anteile des LKXL aus Nierentalg reihen sich besser in die Ergebnisse von erstlaktierenden Deutsch-Holstein-Kühen (Von Soosten et al., 2012) bzw. mehrkalbigen Holstein-Friesian-Kühen (Gibb et al., 1992) ein. Butler-Hogg et al. (1985) berichten dagegen von deutlich höheren Anteilen des LKXL aus Nierentalg für mehrkalbige Kühe der Rasse British Friesian.

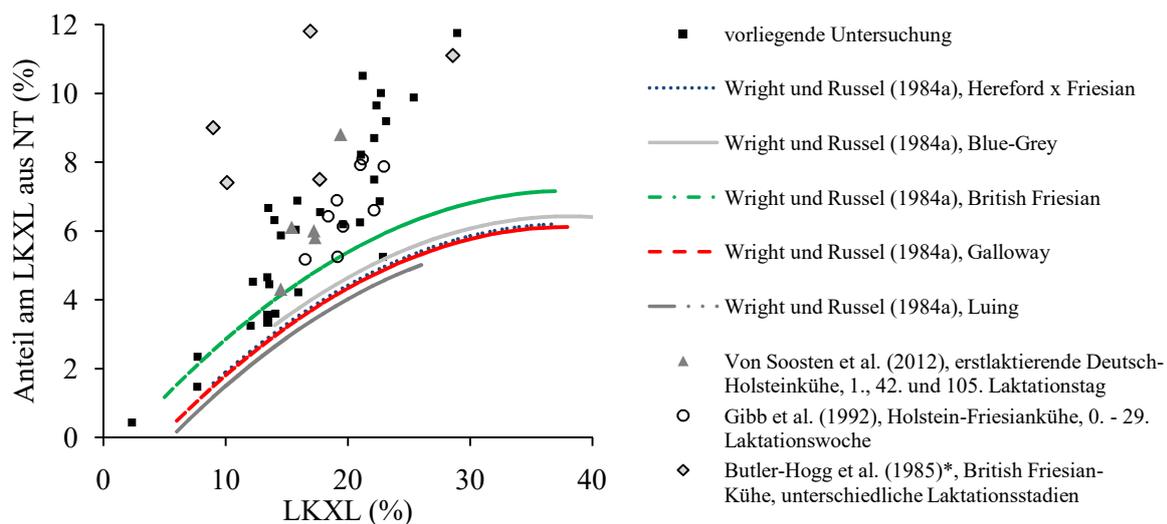


Abbildung 31: Einordnung des Anteils des Leerkörperrohffettgehalts (LKXL) aus der Fraktion Nierentalg (NT) in Literaturberichte (* Berechnet nach den Angaben der Autoren)

Der starke Anstieg des Anteils des LKXL aus Nierentalg mit zunehmendem LKXL zeigt, dass es sich um ein wichtiges stoffwechselaktives Depot handelt. Von Soosten et al. (2011) bestätigen bei erstlaktierenden Deutsch-Holstein-Kühen, dass der Nierentalg das Depot mit der größten Veränderung im Laktationsverlauf ist. Bei Untersuchungen zur Ausmast adulter Kühe wurde vor dem Nierentalg allerdings hauptsächlich das subkutane Depot und das omentale Fettgewebe aufgefüllt (Robelin et al., 1990).

Auffällig ist der enge Zusammenhang zwischen dem XL-Gehalt des Nierentalg und dem LKXL. Aufgrund der engen Korrelation zwischen absolutem XL-Gehalt des Nierentalg und dessen Masse (kg FM) von $r = 0,9989$, ist auch die Beziehung des reinen FM-Gewichts der Fraktion Nierentalg

mit dem LKXL-Gehalt sehr eng. Bei der entsprechenden Regressionsanalyse ergaben sich folgende Zusammenhänge (Abbildung 32):

$$\text{LKXL (\%)} = 1,7457 e^{(0,0289 \text{ XL-Gehalt Nierentalg (\%)})} \quad (60)$$

RMSE = 2,08 %, P < 0,0001

$$\text{LKXL (kg)} = 4,0688 e^{(0,042 \text{ XL-Gehalt Nierentalg (\%)})} \quad (61)$$

RMSE = 18,5 kg, P < 0,0001

$$\text{LKXL (\%)} = 6,5722 \ln(\text{Nierentalg (kg)}) + 3,8487 \quad (62)$$

RMSE = 1,96 %; P < 0,0001

$$\text{LKXL (kg)} = -0,1836 \text{ Nierentalg (kg)}^2 + 11,948 \text{ Nierentalg (kg)} + 24,727 \quad (63)$$

$R^2_{\text{kor}} = 0,93$; RMSE = 14,4 kg; P < 0,0001

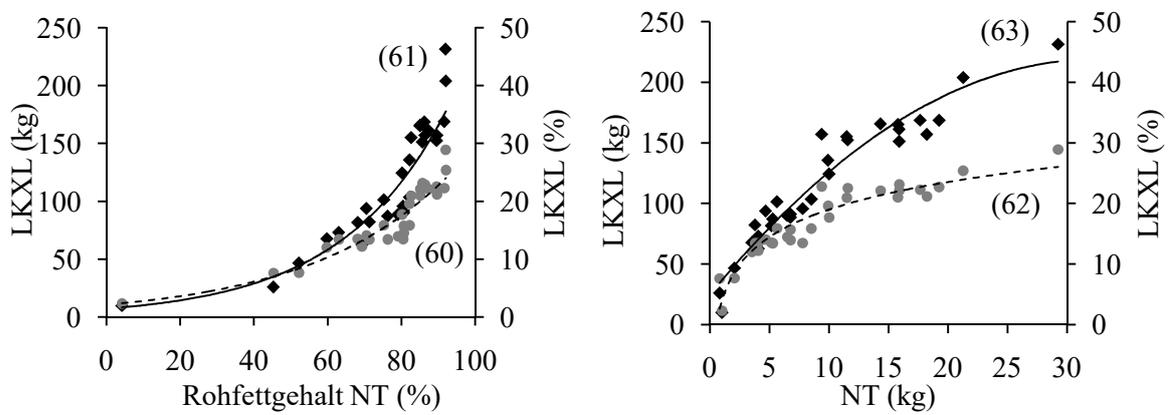


Abbildung 32: Zusammenhang zwischen absolutem und relativem Leerkörperrohffettgehalt (LKXL) und der Rohfettkonzentration im Nierentalg (NT) bzw. der Nierentalgmenge (FM; ♦ LKXL kg, ● LKXL %, n = 30, die Zahlen in Klammern entsprechen den Nummern der im Text angegebenen Gleichungen)

Die vorliegend ermittelten Relationen zwischen Nierentalgmenge und LKXL_{kg} ordnen sich gut in die Ergebnisse anderer Autoren ein (Butler-Hogg et al., 1985; Gibb et al., 1992; Von Soosten et al., 2012; Wright und Russel, 1984a; Abbildung 33).

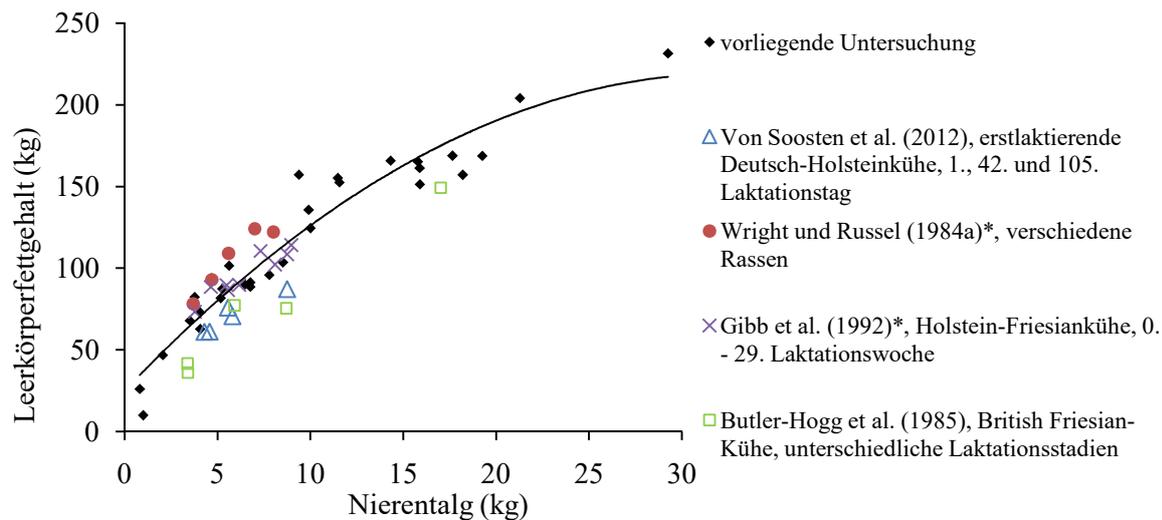


Abbildung 33: Einordnung des vorliegend ermittelten Zusammenhangs zwischen Leerkörperroh-fettgehalt und der Nierentalgmenge in Literaturergebnisse (* XL kg aus Nierentalg)

Die Genauigkeit der Schätzungen (RMSE) war bei der Schätzung des LKXL mittels Nierentalgmenge genauer als die mittels Nierentalg-XL-Gehalt. Keine der anderen geprüften Methoden konnte den LKXL_% der Kühe exakter schätzen. Bei der Schätzung des LKXL_{kg} liegt die genaueste Schätzmethode am lebenden Tier, die BIA, hinsichtlich des RMSE (14,7 kg) zwischen den Schätzungen mittels Nierentalg. Die Erfassung der Nierentalgmenge erfordert zwar die Schlachtung der Kühe, ist aber hinsichtlich Arbeitsaufwand und Kosten nicht von Belang, so dass der LKXL von Schlachtkühen routinemäßig erfasst werden könnte. In diesem Kontext könnte ein neuer auf Ultraschall basierender Ansatz die Menge des Nierentalgs zu quantifizieren eine nicht invasive Methode darstellen. Raschka et al. (2016) schätzten die Menge des Nierentalgs mit Hilfe sonografischer Messungen mit einem Bestimmtheitsmaß von 0,94 und einem RMSE von 1,7 kg. Frühere Arbeiten von Ribeiro et al. (2008) und Ribeiro und Tedeschi (2012) bestätigen die Mögliche Schätzung viszeraler Fettdepotgrößen mittels Ultraschall. Inwieweit der Zusammenhang zwischen LKXL und Nierentalg (kg) durch Laktationsstadium und Gravidität beeinflusst wird, ist noch zu prüfen.

6.2.2 Leerkörperrohproteingehalt

Der mittlere XP-Gehalt der untersuchten Kühe ordnet sich mit 18,6 % im oberen Bereich der Literaturangaben für Milchkühe bzw. Färsen ein (Abbildung 34). Dies ist aufgrund des niedrigeren LKXL_{kg} der Kühe plausibel, da der LKXL eng mit dem Wassergehalt des LK korreliert und die Fraktion XA nur einen geringen Teil des LK ausmacht. Lediglich Fiems et al. (2005) und Chibisa et al. (2008) fanden höhere mittlere XP-Konzentrationen im LK. Chibisa et al. (2008, berechnet nach den Angaben der Autoren) ermittelten diese hohen Anteile in der Früh-laktation indirekt mittels Harnstoffverteilungsraum, bei entsprechend geringen LKXL. Fiems et al. (2005) begründeten die hohen XP-Gehalte mit der extremen Fleischfülle der untersuchten Weißblauen Belgier. Die

Schwankung des XP-Gehalts der LKM (16,4-20,9 %) war deutlich geringer als beim LKXL₀. Dies ist in Übereinstimmung mit Literaturberichten (Andrew et al., 1994; Fiems et al., 2005).

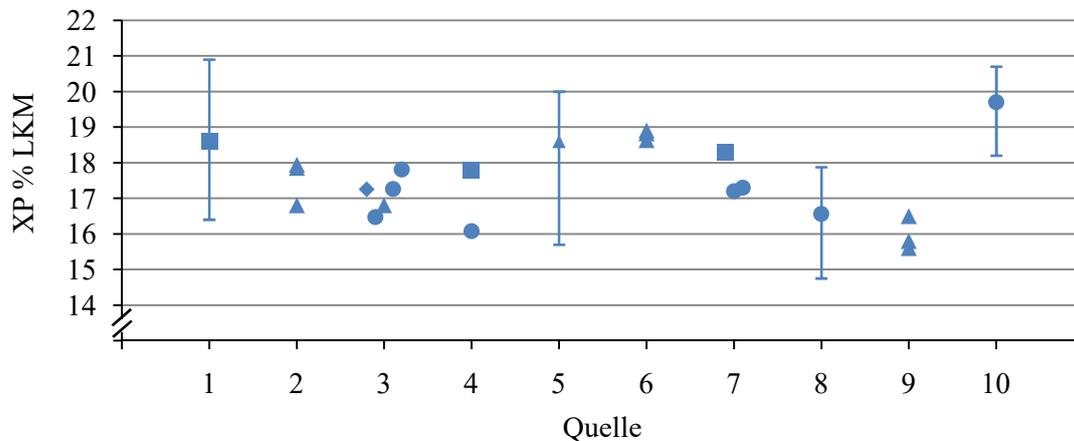
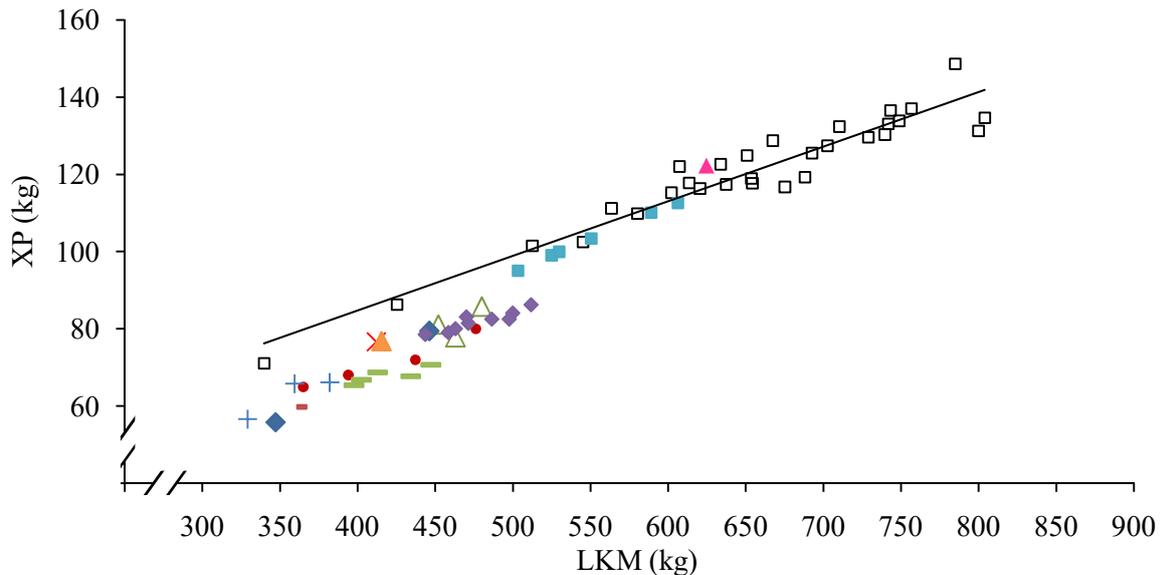


Abbildung 34: Einordnung der in der vorliegenden Untersuchung ermittelten Leerkörperrohproteingehalte in Literaturberichte für weibliche Rinder (Indikatoren: Min und Max, ■ Fleckvieh, ▲ Milchrassen, ● Fleischrassen, ◆ Kreuzungen aus Milch- und Fleischrassen)

Quellen: Ermittlung des LKXP: GKA = Ganzkörperanalyse, D₂O = D₂O-Verdünnungsmethode, HVR = Harnstoffverteilungsraum

- 1 Vorliegende Untersuchung, 30 Fleckviehkühe, GKA
- 2 Andrew et al. (1994), 25 Holsteinkühe in versch. Laktationsstadien, GKA
- 3 Wright und Russel (1984a)*, verschiedene Rassen, insgesamt 73 Kühe, GKA
- 4 Laurenz et al. (1992)*, je 30 Kühe der Rasse Simmental und Angus, D₂O
- 5 Agnew et al. (2005), 104 Holstein-Friesiankühe, GKA
- 6 Chibisa et al. (2008)*, 16 Milchkühe in unterschiedlichen Laktationsstadien, HVR
- 7 Buckley et al. (1990), je 6 Färsen (14 Monate) der Rassen Fleckvieh, Hereford und Charolais, GKA
- 8 Ferrell et al. (1976), 18 Herefordfärsen, GKA
- 9 Von Soosten et al. (2012), je 5 Jungkühe der Rasse Deutsch-Holstein in unterschiedlichen Laktationsstadien, GKA
- 10 Fiems et al. (2005), 24 nicht tragende, nicht laktierende Weißblaue Belgier Kühe, GKA

Die in der vorliegenden Studie ermittelten absoluten XP-Gehalte liegen mit 121 kg (71-149 kg) dagegen deutlich über den Vergleichswerten der Literatur, welche sich zwischen 50 und 120 kg XP bewegen (Abbildung 35). Dies ist auf die höhere LKM der vorliegend untersuchten Fleckviehkühe und den entsprechend niedrigen LKXL zurückzuführen. Dabei gestaltet sich die Einordnung der ermittelten XP-Gehalte schwierig, da die LKM der meisten Literaturberichte unter 500 kg liegen und die entsprechenden Werte der vorliegenden Studie größtenteils darüber lagen. Chibisa et al. (2008) ermittelten in dem Bereich 500-600 kg LKM indirekt mittels Harnstoffverteilungsraum vergleichbare XL-Gehalte. Die entsprechenden Ergebnisse von Fiems et al. (2005) für Weißblaue Belgier aus einer Ganzkörperanalyse sind ebenfalls mit denen der vorliegenden Untersuchung vergleichbar (Abbildung 35). Dies ist erstaunlich, da es sich um eine Rasse mit extremem Muskelaufsatz handelt.



- vorliegende Untersuchung
- △ Andrew et al. (1994), 25 Holsteinkühe in versch. Laktationsstadien, GKA
- Wright und Russel (1984a), verschiedene Rassen, insgesamt 73 Kühe, GKA
- ◆ Laurenz et al. (1992), je 30 Kühe der Rasse Simmental und Angus, D₂O
- × Agnew et al. (2005)*, 104 Holstein-Friesiankühe, GKA
- + Buckley et al. (1990)*, je 6 Färsen (14 Monate) der Rassen Fleckvieh, Hereford und Charolias, GKA
- Ferrell et al. (1976)*, 18 Herefordfärsen, GKA
- Von Soosten et al. (2012), je 5 Jungkühe Deutsch-Holstein, unterschiedl. Laktationsstadien, GKA
- ◆ Gibb et al. (1992), 54 Holstein-Friesiankühe in unterschiedlichen Laktationswochen (0 bis 29), GKA
- Chibisa et al. (2008), 16 Milchkühe, HVR
- ▲ Yan et al. (2009), GKA
- ▲ Fiems et al. (2005), WB-Belgier, Kühe, GKA

Abbildung 35: Vergleich der Rohproteingehalte (XP) der Leerkörper der vorliegenden Untersuchung mit Literaturberichten für weibliche Rinder in Abhängigkeit von der Leerkörpermasse (LKM; Methode: GKA = Ganzkörperanalyse, D₂O = D₂O-Verdünnungsmethode, HVR = Harnstoffverteilungsraum; * Werte nach den Angaben der Autoren berechnet)

6.2.3 Leerkörperrohaschegehalt

Die Gehalte an XA im LK spielen mengenmäßig eine untergeordnete Rolle. Die in der vorliegenden Untersuchung ermittelten relativen Werte (4,7 %, 3,8-5,6 %) ordnen sich gut in Literaturergebnisse ein, welche zwischen 3,5 und 6,0 % bewegen (Agnew et al., 2005; Andrew et al., 1994; Buckley et al., 1990; Ferrell et al., 1976; Fiems et al., 2005; Von Soosten et al., 2012; Wright und Russel, 1984a). Auch bei den absoluten XA-Gehalten waren keine nennenswerten Unterschiede zu den Ergebnissen anderer Autoren zu verzeichnen (Abbildung 36), wobei auch hier kaum Angaben mit vergleichbaren LKM vorlagen.

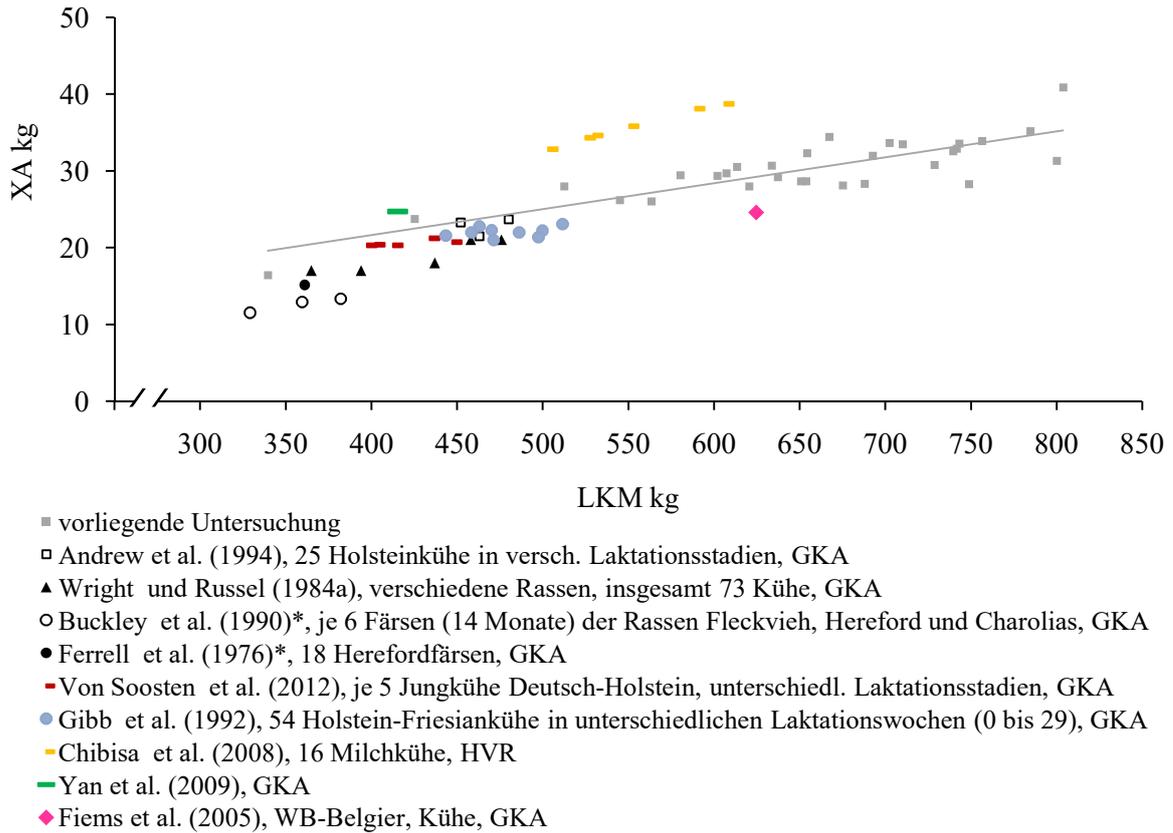


Abbildung 36: Vergleich der Rohaschegehalte (XP) der Leerkörper der vorliegenden Untersuchung mit Literaturberichten für weibliche Rinder in Abhängigkeit von der Leerkörpermasse (LKM; Methode: GKA = Ganzkörperanalyse, D₂O = D₂O-Verdünnungsmethode, HVR = Harnstoffverteilungsraum; * Werte nach den Angaben der Autoren berechnet)

6.2.4 Mineralstoffe

Mineralstoffgehalte in den Fraktionen

Die Konzentration an Ca in der Fraktion **Muskeln** liegt mit 0,39 g/kg TM über Literaturangaben für Rinder, die in Abhängigkeit von Rasse, Alter und Versorgung im Bereich von etwa 0,2-0,3 g/kg TM liegen (Ammerman et al., 1974; Schwarz et al., 1995; Standish et al., 1969, 1971). Die Gehalte an P liegen etwas höher als von Standish et al. (1971) bei jungen Bullen mit etwa 200 kg Lebendmasse gefunden (3,85 g/kg TM), aber niedriger als bei Schwarz et al. (1995) bei Bullen im höheren Gewichtsbereich (> 8 g/kg TM). Auch die Gehalte an K und Mg liegen um ~ 30 -50 % niedriger als in der zuvor zitierten Literatur angegeben. Eine Hauptursache für die Unterschiede zwischen vorliegender Arbeit und den Literaturwerten dürfte sein, dass in der vorliegenden Arbeit nicht das reine Muskelgewebe sondern (bedingt durch die Vorgehensweise bei der Schlachtung) das Muskelgewebe samt anhaftendem Gewebe (Unterhautfett, Sehnen etc.) analysiert wurde. Insgesamt ergibt sich in Übereinstimmung zu den Daten von Schwarz et al. (1995), dass der Gehalt an Ca und Mg im Muskel im Vergleich zu K und P eher gering ist, was sich auch im Gesamtbestand an Mineralstoffen in der Fraktion Muskel und anhaftendem Gewebe widerspiegelt. Bezogen auf den Gesamt-

bestand an Mineralstoffen im Leerkörper betragen die Massen im Muskelgewebe für P, K, Mg und S 10, 76, 28 und 59 %, was den Angaben von Schwarz et al. (1995) vergleichbar ist. Obwohl der Anteil an Muskel am gesamten Leerkörper in etwa 50 % ausmacht, ist der Beitrag an Ca aus dem Muskel zum Gesamtkörperbestand mit 0,5 % äußerst gering.

Die Cu-Konzentration in den Muskeln lag mit 9,8 mg/kg TM auf einem hohen Niveau, verglichen mit Literaturangaben, welche sich für Rinder in einem Bereich von 2,5 bis 5,5 mg/kg TM (Ammerman et al., 1974; Chang et al., 1992; Kirchgessner et al., 1994) bewegen. Vergleichbar hohe Konzentrationen im Muskel wurden bei ganz jungen Kälbern (Kirchgeßner und Neeße, 1976) bzw. bei Fe-supplementierten Kälbern (Standish et al., 1971) beobachtet. Ein Einfluss der Gehalte im Futter kann nicht ausgeschlossen werden, da die Konzentrationen nicht gemessen wurden. Die im vorliegenden Versuch ermittelten Fe-Konzentrationen im Muskelgewebe entsprechen denen von Ammerman et al. (1974), liegen aber insgesamt auf einem eher hohen Niveau (61 bis 91 mg/kg TM, Chang et al., 1992; Doyle und Spaulding, 1978; Kirchgessner et al., 1994). Im Gegensatz dazu sind die Zn-Gehalte als vergleichsweise niedrig einzustufen (Alonso et al., 2000; Ammerman et al., 1974; Chang et al., 1992; Kirchgessner et al., 1994; Standish et al., 1971). Auch bei den Spurenelementen ist die Fraktionierung bei der Schlachtung, bei der den Muskeln auch Sehnen und subkutanen Fett zugeteilt wurden, als mögliche Ursache für die Differenzen zwischen den Konzentrationen in der vorliegenden Arbeit und den Literaturangaben zu sehen. Dagegen spricht bei den Elementen Cu und Fe, dass die Konzentrationen der betreffenden Spurenelemente sowohl im Fettgewebe (Kirchgeßner und Neeße, 1976) als auch in den Sehnen (Kirchgessner et al., 1994) geringer sind als im reinen Muskelgewebe und daher ein Verdünnungseffekt zu erwarten gewesen wäre.

Die Gehalte an Ca, aber auch an P im **Knochengewebe** sind mit 176 und 87 g/kg TM sehr hoch und dementsprechend trägt der Knochen vorliegend auch 98 und 86 % zum gesamten Mineralstoffbestand der Kühe bei. Bei K, Mg und S liegt der Beitrag des Knochens zum Gesamtbestand bei etwa 3, 59 und 9 %. Diese Werte ordnen sich im Vergleich zur Literatur gut ein (Schulz et al., 1974; Schwarz et al., 1995). Im Vergleich zu den Daten von Schwarz et al. (1995), die bei Mastbulen von 575 und 650 kg Lebendmasse in Abhängigkeit der Fütterungsintensität Ca-Gehalte im Knochen von 160-170 g/kg TM und P-Gehalte von 75-80 g/kg TM fanden, liegen die Ca- und P-Konzentrationen im Knochen in vorliegender Untersuchung etwas höher. Da sowohl der Ca- als auch der P-Gehalt im Knochen mit steigender Lebendmasse ansteigen (Schulz et al., 1974; Schwarz et al., 1995), sind die vorliegend etwas höheren Werte für ausgewachsene Kühe durchaus plausibel. Die K- und Mg-Gehalte im Knochen in vorliegender Untersuchung betragen etwa 80 bzw. 90 % der von Schwarz et al. (1995) bei Jungbullen gefundenen Werte.

Für die Beurteilung der Spurenelementkonzentrationen der Knochen liegen keine Vergleichswerte für Kühe vor. Insgesamt sind die Ergebnisse für Cu und Zn aber mit Konzentrationen in Knochen von Fleckviehbulen (Kirchgessner et al., 1994) und Mastkälbern (Kirchgeßner und Neeße, 1976) vergleichbar. Dementgegen stehen die vergleichsweise hohen Fe-Konzentrationen im Knochenge-

webe (94 mg/kg TM) der vorliegenden Untersuchung, die zusätzlich durch eine hohe Streuung (41-211 mg/kg TM) gekennzeichnet sind. Kirchgessner et al. (1994) fanden in den Knochen von 575-650 kg schweren Fleckviehbullen etwa 48 mg Fe/kg TM, wobei die Konzentration im Verlauf der Mast abnahm. Auch Schafe wiesen im Vergleich zu den Ergebnissen der vorliegenden Untersuchung ca. 50 % niedrigere Fe-Konzentrationen in den Knochen auf (Doyle und Spaulding, 1978). Ein methodisch bedingter Fe-Eintrag in das Gewebe in Form von Abrieb, kann als Ursache für die erhöhten Fe-Gehalte nicht ausgeschlossen werden, da das Knochenmaterial für die Analytik massiv mit Mühlen bearbeitet werden musste.

In Übereinstimmung zu den Daten von Schwarz et al. (1995) wiesen K und P im Gewebe des **GIT** die höchsten Konzentrationen auf. Der Ca-Gehalt war (wie auch im Muskelgewebe) vor allem in den **Organen** und in der **Leber**, welche in der vorliegenden Arbeit getrennt erfasst wurde, sehr gering. Auffällig ist der relativ hohe S-Gehalt in den Organen und der Leber. Die Fraktionen **GIT** und **Organe** verfügten im Vergleich zu den übrigen Körperteilen über geringe Zn-Konzentrationen (49 bzw. 43 mg/kg TM) und hohe Fe-Gehalte (399 bzw. 1.159 mg/kg TM). Auffällig war die unerklärt hohe Streuung der Fe-Konzentrationen sowohl im GIT der Kühe (86-1.586 mg/kg TM), als auch in der Fraktion Organe (80- 1.566 mg/kg TM). Die hohe Fe-Konzentration in der Fraktion Organe ist durch den Fe-Eintrag aus dem Hämoglobin zu begründen. Kirchgessner et al. (1994) ermittelten Fe-Gehalte in Organen und GIT von Mastbullen je nach Energieversorgung von 178 bis 264 mg/kg TM. Da das Blut in der vorliegenden Untersuchung methodisch bedingt zusammen mit den Organen analysiert wurde, ist die entsprechende Fe-Konzentration auf einem deutlich höheren Niveau. Dagegen sind die Cu-Gehalte der entsprechenden Fraktionen im Vergleich zu der genannten Studie (30 mg/kg TM) eher gering, da die Leber als Cu-Speicherorgan in der vorliegenden Untersuchung getrennt verarbeitet wurde.

Das Gewebe des **GIT** trug nur 0,5 und 1,3 % zum Gesamtbestand an Ca und P im Leerkörper bei, bei den Elementen K, Mg und S waren die Beiträge entsprechend 6,6, 3,9 und 5,9 %. Der Beitrag von Ca, P, K, Mg und S aus den **Organen** zuzüglich **Leber** zum gesamten Bestand im Leerkörper betrug 0,1; 1,4; 6,8; 2,6; und 10,6 %. In der Haut incl. Haaren ist der Gehalt an S von 6 % in der TM zu erwähnen. Die **Haut** inkl. Haare trug somit immerhin 12,6 % zum Gesamtbestand des Leerkörpers an S bei.

Die Konzentrationen in der **Haut** der Kühe der vorliegenden Studie sind für das Element Zn mit den Angaben von Kirchgessner et al. (1994) für Mastbullen vergleichbar, während die Gehalte von Cu und Fe 92 % bzw. 62 % höher liegen. Die Gehalte aller drei Elemente sind in der Haut von Schafen (ohne Wolle, Grace, 1983) geringer.

Im Vergleich der untersuchten Fraktionen zeigte die **Leber** mit 439 und 150 mg/ kg TM die höchsten Konzentrationen für Cu und Zn und bestätigte damit ihre Funktion als Speicherorgan für die betreffenden Elemente. Dabei lag die mittlere Cu-Konzentration der vorliegenden Studie deutlich

über den von Ammerman et al. (1974), Standish et al. (1971), Chang et al. (1992) und Littledike et al. (1995) berichteten Mittelwerten für Rinder, die zwischen 21 und 248 mg/kg TM liegen. In ihrem Review kommen Doyle und Spaulding (1978) zu dem Schluss, dass normale Cu-Konzentrationen in der Leber von Rindern bei ca. 270 (200-300) mg/kg TM liegen. Dies lässt auf eine hohe Cu-Versorgung der Kühe im vorliegenden Versuch schließen, da die hepatische Kupferkonzentration als Indikator für den Versorgungsstatus von Tieren gilt (Bidewell et al., 2012). Da die Spurenelementversorgung der Tiere in der vorliegenden Arbeit vor der Schlachtung nicht untersucht wurde, können hierzu keine weiteren Schlussfolgerungen gezogen werden. Insgesamt sind die Konzentrationen noch nicht als toxisch zu bezeichnen, allerdings wiesen vereinzelte Tiere Cu-Gehalte über dem entsprechenden Referenzwert auf ($n = 6$, > 508 mg/kg TM, Bidewell et al., 2012). Die Zn-Gehalte der Leber reichten sich im oberen Bereich der Literaturbefunde für Kühe ein, während die Fe-Konzentrationen um 45 bis 60 % erhöht waren (Ammerman et al., 1974; Erdogan et al., 2004; Littledike et al., 1995; Doyle und Spaulding, 1978).

Insgesamt sind die vorliegend ermittelten Mineralstoffgehalte in den Fraktionen mit Daten aus der Literatur vergleichbar. Die Gehalte der Elemente Cu und Fe sind allerdings als hoch einzustufen. Als mögliche Ursachen für die erhöhten Werte kommen Fütterung (Cu) und Abrieb (Fe) in Betracht.

Mineralstoffgehalte im Ganzkörper

Der Ca- und P-Gehalt in der **Leerkörpermasse** lag erheblich höher, als für schwarzbunte Bullen im höheren Gewichtsbereich von Schulz et al. (1974) angegeben (29,2 und 14,7 g/kg TM). Ellenberger et al. (1950) fanden für ausgewachsene Kühe Ca- und P-Gehalte in der Frischmasse (FM) von 16,5-18 g/kg (Ca) und 8,6-9,3 g/kg (P), was etwas über den vorliegend gefundenen Werten liegt (14,7 und 8,3 g/kg Leerkörpermasse). Insgesamt kann nach einer Literaturübersicht von Schulz et al. (1974) und den vorliegenden Daten davon ausgegangen werden, dass ausgewachsene Kühe eher höhere Ca- und P-Gehalte aufweisen als wachsende Mastbullen. Dies ist durch die unterschiedlichen Anteile an Knochen, Muskel und Fett bei wachsenden und ausgewachsenen Tieren und die in den Gewebefractionen sehr unterschiedlichen Mengenelementgehalte erklärbar. Ähnliche Schlussfolgerungen ergeben sich auch für Mg und K.

In Übereinstimmung mit Literaturergebnissen war Fe mit 49,2 g das häufigste der drei untersuchten Spurenelemente im Leerkörper, gefolgt von Zn (22,4 g) und Cu (3,3 g). Die Konzentrationen (in der Frischmasse) von Cu, Fe und Zn lagen im Mittel bei 5,2; 77,1 bzw. 34,6 mg/kg. Demnach entspricht das Element Fe nicht der geläufigen Definition von Spurenelementen, nach der die Konzentration geringer als 50 mg/kg Körpermasse ist. Die ermittelte Gesamtmenge an Zn ist mit der von 575 bzw. 650 kg schweren Jungbullen der Rasse Fleckvieh vergleichbar, die Massen an Cu und Fe hingegen übertreffen die Gehalte um mehr als das doppelte (Kirchgessner et al., 1994). Die

hohe Cu-Mengen der vorliegenden Studie sind dabei auf den Eintrag aus der Leber bzw. die vergleichsweise hohe Konzentration im Muskelgewebe zurückzuführen. Die hohen Fe-Mengen ergeben sich ebenfalls hauptsächlich durch die erhöhten Konzentrationen im Muskelgewebe, welches aufgrund seines hohen Anteils am Gesamtkörper einen erheblichen Einfluss auf dessen Zusammensetzung hat. Der Cu-Gehalt/kg Zuwachs liegt bei wachsenden Rindern je nach Cu-Zufuhr zwischen 0,5 und 2,2 mg (GfE, 2001, Kirchgessner et al., 1994). Bei der Regression der Spurenelementmengen auf die Lebendmasse der Kühe ergab sich ein Cu-Gehalt von 5,1 mg/kg Zuwachs ($R^2 = 0,52$), bedingt durch die hohen Cu-Konzentrationen in der Leber wobei ein Fütterungseffekt nicht ausgeschlossen werden kann. Die in der vorliegenden Studie errechneten Gehalte im Zuwachs von Fe (61,1 mg/kg, $R^2 = 0,54$) und Zn (41,3 mg/kg, $R^2 = 0,70$) passen besser zu den Angaben für wachsende Rinder (48 mg/kg für Fe und 40 mg/kg für Zn, Kirchgessner et al., 1994). Dieser Vergleich der Spurenelementgehalte im Ansatz von ausgewachsenen Milchkühen und wachsenden Rindern ist allerdings auf Grund von Verschiebungen der einzelnen Gewebefractionen im Wachstumsverlauf nur bedingt zulässig. Die erhöhten Konzentrationen der analysierten Spurenelemente könnten auch durch den Einsatz moderner Aufschlussverfahren und sensitiver Messtechnik (ICP-OES) bedingt sein. Insgesamt wurden in den einzelnen Fraktionen hohe Gehalte an Spurenelementen (z. B. Cu in der Leber) gefunden, die auch für die Humanernährung Relevanz haben könnten. Zur näheren Einschätzung und als Grundlage für die Einschätzung des Bedarfs, sind weitere gezielte Untersuchungen in Abhängigkeit der Versorgungssituation zu empfehlen.

6.3 Schätzung des Körperfettgehalts

Neben der Frage der Körperzusammensetzung von ausgewachsenen Fleckviehkühen sollte im Rahmen der vorliegenden Arbeit auch die Schätzung des Körperfettgehalts mit verschiedenen Methoden validiert werden. Im Folgenden werden dazu die Ergebnisse der geprüften Methoden erörtert und mit Daten aus Literaturberichten verglichen.

6.3.1 Rückenfettstärke

Die Zusammenhänge zwischen RFD und relativem bzw. absolutem LKXL waren bei allen drei untersuchten Messpunkten hochsignifikant. Insgesamt lagen die Beziehungen hinsichtlich ihrer Genauigkeit (RMSE) im Vergleich zu den anderen geprüften Methoden aber eher im unteren Bereich. Die genauesten Schätzungen konnten für den Messpunkt RFD 2 ermittelt werden (RMSE 32,1 kg bzw. 3,58 % LKXL). Die Schätzfehler für RFD 1 und 3 waren vergleichbar, lagen aber rund 4 kg bzw. 0,6 % LKXL höher als die von RFD 2. In vorliegender Arbeit konnte die Beziehung zwischen RFD und Körperfettgehalt also deutlich verbessert werden, wenn von der Messstelle RFD 1 nach Staufenbiel (1992) abgewichen wurde (RFD 2). Dies ist darin begründet, dass die Auffindbarkeit der nach Staufenbiel (1992) definierten Messstelle bei Fleckviehkühen aufgrund der anatomischen Besonderheiten erschwert ist (Steyer et al., 2011). Außerdem ist die absolute Fettauflage am Mess-

punkt 2 höher (+ 5 mm) als an Messpunkt 1, wodurch der Einfluss der Messgenauigkeit (± 1 mm) des Ultraschallgeräts minimiert werden könnte. Dem entgegen spricht der für Messpunkt 3 ermittelte Zusammenhang zwischen RFD und LKXL, welcher trotz der geringen Fettauflage (10,8 mm) das Niveau von Messpunkt 1 erreicht. In einer vorhergehenden Untersuchung an Tieren aus derselben Herde wurden bereits Daten zur Ermittlung der Wiederholbarkeit der RFD mit derselben Messtechnik erhoben (Steyer et al., 2011). Hier konnte eine gute Wiederholbarkeit von 0,95 mit einer mittleren absoluten Differenz zwischen zwei wiederholten Messungen von $0,5 \pm 0,7$ mm festgestellt werden. Die Genauigkeit der Messung wurde ebenfalls bereits am Institut für Tierernährung (Grub) der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft anhand von Biopsien am Schlachtkörper nachvollzogen (Schneider et al., 2005). Obwohl die Vermessung der RFD mittels Schublehre an Biopsien von Schlachtkörpern aufgrund des Verlusts der Körperspannung nicht einfach ist, konnten gute Übereinstimmungen zu den sonografisch erhobenen Werten ermittelt werden. Die gute Wiederholbarkeit der Messung der RFD wird von anderen Autoren bestätigt (Hassen et al., 1998; Pothmann et al., 2015; Schröder, 2000). Die Genauigkeit wiederholter Messungen lag dabei zwischen 1 und 2 mm (Brethour, 1992; Greiner et al., 2003; Perkins et al., 1992; Robinson et al., 1992). Brethour (1992) berichtet allerdings auch von einem Anstieg des Messfehlers bei steigender RFD. Als Ursache vermutet der Autor Variationen in der Körperhaltung der Tiere, eine größere Subjektivität bei der Wahl des Messpunktes sowie Schwankungen aufgrund der Atmung bei fetteren Rindern. So könnte bei Messpunkt 1 die im Vergleich zu Messpunkt 3 höhere Fettauflage (13,8 mm bzw. 10,8 mm) zu einem größeren Messfehler bei gleichzeitiger Minimierung des Einflusses der Messgenauigkeit des Ultraschallgerätes geführt haben. Durch die sich aufhebenden Effekte kann die vergleichbare Beziehung der RFD an den beiden Messpunkten 1 und 3 zum LKXL erklärt werden. Die verbesserte Schätzgenauigkeit an RFD 2 wäre dann auf die höhere mittlere Fettauflage (19,2 mm) an diesem Messpunkt zurückzuführen, bei dem der Anstieg des Messfehlers bei steigender RFD (Brethour, 1992) unterproportional zur Auswirkung des Messfehlers des Ultraschallgeräts auf den Messwert zu verlaufen scheint. Für die Schätzung des LKXL bei ausgewachsenen Fleckviehkühen sollte daher Messpunkt 2 gewählt werden. Außerdem ist bei Vergleichen der Messwerte der RFD immer der Messpunkt zu berücksichtigen.

Schröder und Staufenbiel (2006) berichten nach einem Literaturvergleich von einer Änderung des LKXL von 5 kg je Änderung der RFD um einen mm. Die vorliegend ermittelte Änderung des LKXL von 5,2 kg je Änderung der RFD um einen mm an den Messpunkten 1 und 2 ordnet sich hier gut ein. Beim Literaturvergleich der relativen Änderung des LKXL je Änderung der RFD um einen mm zeigt sich jedoch, dass der im vorliegenden Versuch ermittelte Wert von 0,56 % (RFD 1) bzw. 0,58 % (RFD 2) niedrig ist. Wappler (1997) fand eine Änderung des relativen LKXL von 0,64 % während Wiedemann (1989) bei Jungrindern und Jungkühen der Rasse SMR von 0,94 % berichtet. Nach Untersuchungen von Staufenbiel et al. (1993) entspricht 1 mm RFD-Änderung einer Zu- bzw. Abnahme des Körperfettgehaltes um ca. 0,75 %. Dabei ist für den Zusammenhang der

RFD sowohl für den absoluten als auch für den relativen LKXL in Abhängigkeit von Laktationsstadium, Laktationszahl und Rasse eine erhebliche Schwankungsbreite zu verzeichnen (Klawuhn, 1992; Rieckhoff, 1992; Wappler, 1997). Eine mögliche Ursache für die vorliegend ermittelten geringen Änderungen des LKXL_% je mm RFD kann auch die nicht lineare Beziehung zwischen RFD und LKXL sein. Unabhängig vom Messpunkt führte eine logarithmische Betrachtung im Vergleich zur linearen zu einer Verbesserung der Schätzgenauigkeit (Abbildung 17). Demnach steht je nach Körperkonditionsbereich hinter der Änderung von einem mm RFD eine variierende Menge LKXL. Wright und Russel (1984b) berechneten für die Schätzung des LKXL mittels RFD eine Potenzfunktion, welche der vorliegend ermittelten logarithmischen Beziehung im Verlauf ähnelt. In Tabelle 21 sind dazu die Veränderungen des geschätzten LKXL je mm RFD in verschiedenen Körperkonditionsbereichen gegenüber gestellt. Die von Schröder und Staufienbiel (2006) überschlagenen 5 kg LKXL je Änderung der RFD um einen mm stammen aus den Arbeiten von Klawuhn (1992), Rieckhoff (1992) und Wappler (1997). Diese Autoren berichten ausschließlich von linearen Zusammenhängen zwischen LKXL und RFD, ermittelten den LKXL aber mittels indirekten Methoden (Ganzkörperwasserbestimmung mittels Phenazon bzw. Harnstoff) und nicht wie bei den vorliegenden Ergebnissen oder denen von Wright und Russel (1984b) mittels Ganzkörperanalyse. Im Bereich niedriger Fettauflagen werden die Veränderungen des LKXL bei linearer Betrachtung deutlich unterschätzt und ab ca. 20 mm RFD überschätzt (siehe Abbildung 17). Auch wenn eine logarithmische Betrachtung etwas aufwändiger ist, sollte daher nicht mit linearen Beziehungen gearbeitet werden.

Tabelle 21: Auswirkung der Zunahme der Rückenfettdicke (RFD) in verschiedenen Körperkonditionsbereichen auf die mittlere Veränderung des geschätzten Leerkörperroh fettgehalts (LKXL) im Literaturvergleich

Veränderung der RFD (mm)	Mittlere Veränderung des geschätzten LKXL (kg) je mm RFD								
	Vorliegende Untersuchung			Wright und Russel (1984b) ¹					Schröder und Staufienbiel (2006) ²
	RFD 1	RFD 2	RFD 3	HF	BG	F	G	L	
5 -> 10	12	12	20	7	9	11	7	6	5
10 -> 15	7	7	12	5	7	8	5	5	5
15 -> 20	5	5	8	5	6	7	5	4	5
20 -> 25	4	4		4	5	6	4	4	5
25 -> 30	3	3		4	5	6	4	3	5

¹ HF = Hereford x Friesian, BG = Blue-Grey, F = British Friesian, G = Galloway, L = Luing; Messpunkt: Zwischen der 12. und 13. Rippe über dem *Musculus longissimus dorsi*

² Messpunkt: entspricht RFD 1

Die für Messpunkt 3 ermittelten Werte für die absoluten und relativen Änderungen des LKXL mit der Veränderung der RFD um einen mm (12,6 kg bzw. 1,37 %) liegen deutlich über denen von Messpunkt 1. Dies ist vermutlich durch die geringere absolute Fettauflage über den Querfortsätzen

bedingt. Warum die Ergebnisse von Messpunkt 2 (5,2 kg bzw. 0,58 %) trotz der höheren mittleren Fettauflage etwa gleich mit denen von Messpunkt 1 sind, kann nicht abschließend erklärt werden.

Die Korrelationen zwischen RFD und relativem bzw. absolutem LKXL waren mit $r = 0,65$ bzw. $r = 0,68$ hochsignifikant, lagen jedoch eher im unteren Bereich der von anderen Autoren (Rieckhoff, 1992; Klawuhn und Staufenbiel, 1997; Wappler, 1997) beschriebenen Beziehungen. Wright und Russel (1984b) bevorzugen die Beschreibung der Zusammenhänge zu den absoluten Fettmengen, da dadurch Gleichungen unabhängig von der LM abgeleitet werden können. Klawuhn (1992) empfiehlt dagegen aufgrund der höheren Genauigkeit die Schätzung des relativen LKXL. Rieckhoff (1992) und Wappler (1997) ermittelten wiederum für den absoluten LKXL die bessere Schätzgleichung. In der vorliegenden Arbeit konnte unabhängig vom Messpunkt die jeweils bessere Schätzung des LKXL mittels RFD für den relativen Anteil ermittelt werden. Daher wird empfohlen, in wissenschaftlichen Fragestellungen die Schätzung des relativen LKXL zu präferieren. In der Praxis kann aufgrund der einfacheren Handhabung auf die Schätzung des absoluten LKXL zurück gegriffen werden, da die Unterschiede in der Genauigkeit nicht erheblich sind.

6.3.2 Body Condition Score

Die Einordnung der mit einer Veränderung von einer BCS-Note verbundenen Fettmenge wird durch die Unterschiede der international verwendeten Bewertungssysteme erschwert. So variieren die Skalen der verschiedenen BCS-Systeme von 1 bis 4 über 0 bis 5 bis hin zu 1 bis 10. Da die Veränderung im LKXL bei der Veränderung von einer BCS-Note dem Anstieg der entsprechenden linearen Regressionsgeraden entspricht, wurde angenommen, dass die Umrechnung der entsprechenden Fettgehalte je nach BCS-System ebenfalls linear erfolgen kann. Auf diese Weise wurden die Ergebnisse der internationalen Literatur umgeformt und in Tabelle 22 zusammengefasst. Die in der vorliegenden Untersuchung ermittelten 6,73 % bzw. 59,8 kg LKXL bei der Änderung des BCS um eine ganze Note ordnen sich im oberen Bereich der in der Literatur beschriebenen Werte ein. Die Veränderung des BCS um eine Einheit führte bei Milchkühen zu einer Veränderung des LKXL von 37 bis 55 kg (Chilliard et al, 1991; Komaragiri und Erdmann, 1997; Komaragiri et al. 1998; Waltner et al., 1994), im Mittel können 50 kg angenommen werden (Schröder und Staufenbiel, 2006). Wright und Russel (1984) fanden dagegen für British Friesian Kühe bei Veränderung der BCS um eine Einheit eine Änderung des Körperfettgehaltes von 105 kg LKXL, für Fleischrinder (Hereford x Friesian, Whitebred Shorthorn x Galloway und Luing) lag die entsprechende Änderung bei 66 kg. Die in der vorliegenden Untersuchung gefundenen Werte ordnen sich bei den Ergebnissen für Fleischrinder ein. Hierbei ist zu berücksichtigen, dass die untersuchten Fleckviehkühe mit im Mittel 736 kg Lebendmasse erheblich schwerer waren, als die Tiere in den meisten zitierten Arbeiten. Die Veränderung der Körperkondition um eine BCS-Einheit geht daher zwangsläufig mit mehr Körpersubstanzabbau bzw. -aufbau einher. Dementgegen stehen die Ergebnisse von Fiems et

al. (2005), welche bei Kühen der Rasse Weißblaue Belgier mittels Ganzkörperanalyse trotz einer ähnlich hohen mittleren LM (696 kg) nur 33 kg LKXL je Änderung der Körperkondition um eine BCS-Note ermittelten.

Ein Grund für die Unterschiede kann der Einsatz verschiedener BCS-Bewertungssysteme sein, da sie den Fettauflagen der verschiedenen Körperregionen eine unterschiedliche Gewichtung beimessen (Garnsworthy, 2006). Für die Einordnung der vorliegend ermittelten Werte wurden die hinter der Veränderung von einer BCS-Note stehenden Fettmengen linear auf das vorliegend verwendete BCS-System umgerechnet (Tabelle 22). Ob sich die verwendeten Bewertungssysteme allerdings über die gesamte Bandbreite von Noten linear zueinander verhalten, ist fraglich. Roche et al. (2004) und Bewley et al. (2010) untersuchten dazu die Beziehungen zwischen verschiedenen BCS-Bewertungssystemen. Zwar konnten signifikante Zusammenhänge gefunden werden, aber die ermittelten Funktionen unterschieden sich von der entsprechenden Winkelhalbierenden, was die grundsätzlichen Unterschiede der Bewertungssysteme unterstreicht (Garnsworthy, 2006) und die Vergleichbarkeit erschwert. Ob sich die Zusammenhänge zwischen LKXL und BCS grundsätzlich unterscheiden oder die Differenzen auf die verschiedenen Bewertungssysteme zurückzuführen sind, kann nicht abschließend geklärt werden. Die Ergebnisse von Thompson et al. (1983) und Wright und Russel (1984a), die innerhalb ihrer Studien Unterschiede zwischen den LKXL je BCS-Note bei fleisch- und milchbetonten Rassen fanden, deuten zumindest auf Unterschiede zwischen den beiden Nutzungsformen. Aufgrund der genannten Differenzen wäre eine internationale Einigung auf ein BCS-Bewertungssystem erstrebenswert.

Tabelle 22: Gegenüberstellung von Literaturergebnissen zur Beziehung zwischen der Veränderung von einer BCS-Note (dBCS) und dem damit verbundenen Leerkörperroh fettgehalt - relativ (LKXL_%) und absolut (LKXL_{kg}) bei Kühen

Quelle	Rasse	dBCS	R ²	Methode der Körperfettbestimmung
		LKXL _%		
Thompson et al. (1983) ¹	Angus x Holstein	2,08	0,02	Körperwasserbestimmung (D ₂ O)
Remond et al. (1988) ²	Holstein x Friesian	4,8	0,73	Ganzkörperanalyse
Waltner et al. (1994)	Milchkühe	5,58	0,68	Teilkörperanalyse
Thompson et al. (1983) ¹	Angus, Angus x Hereford	5,72	0,44	Körperwasserbestimmung (D ₂ O)
Vorliegende Studie	Fleckvieh	6,73	0,71	Ganzkörperanalyse
Otto et al. (1991)	Holstein	9,21 ⁴	0,57	Teilkörperanalyse
		LKXL _{kg}		
Fiems et al. (2005) ²	Weißblaue Belgier	33,4	0,66	Ganzkörperanalyse
Remond et al. (1988) ²	Holstein x Friesian	34,4	0,70	Ganzkörperanalyse
Chilliard et al. (1991) ²	Holstein	36,5	0,62	Körperwasserbestimmung (D ₂ O)
Komaragiri und Erdman (1997)	Holstein	39,8	0,34	Körperwasserbestimmung (D ₂ O)
Waltner et al. (1994)	Milchkühe	46,6	0,61	Teilkörperanalyse
Komaragiri et al (1998)	Holstein	54,8	0,33	Körperwasserbestimmung (D ₂ O)
Vorliegende Studie	Fleckvieh	59,8	0,71	Ganzkörperanalyse
Wright und Russel (1984a) ²	Fleischrinder ³	65,8	0,91	Ganzkörperanalyse
Wright und Russel (1984a) ²	British Friesian	105,1	0,87	Ganzkörperanalyse

¹ Berechnet nach den Angaben der Autoren: ursprüngliche BCS-Skala 1-9 (Umrechnung: dBCS x 8/4)

² Berechnet nach den Angaben der Autoren: ursprüngliche BCS-Skala 0-5 (Umrechnung: dBCS x 5/4)

³ Hereford x Friesian, Blue-Grey, Galloway, Luing

⁴ Berechnet nach den Angaben der Autoren

Die Korrelation zwischen BCS und LKXL war in der vorliegenden Studie für die absoluten und relativen Gehalte gleich gut ($r=0,84$). In der internationalen Literatur konnten zwei Studien gefunden werden, die die Zusammenhänge zwischen BCS und absolutem und auch relativem LKXL verglichen. Hier waren die Zusammenhänge ebenfalls vergleichbar und auf dem Niveau der vorliegenden Studie (Remond et al., 1988; Waltner et al., 1994). Daher wird die Schätzung des absoluten LKXL empfohlen, da die Ergebnisse unabhängig von der Erfassung der LM genutzt werden können.

Die Beziehung zwischen LKXL und BCS war in vorliegender Untersuchung enger als die Beziehung zur RFD. Aufgrund der Objektivität und Präzision, die die RFD-Messung mit Hilfe von Ultraschall mit sich bringt (Schröder und Staufenbiel, 2006) wäre dies zunächst nicht zu erwarten gewesen. Vermutlich wird bei der Beurteilung mit BCS unbewusst die Bemuskelung der Kühe mit erfasst. Die Fraktion Muskeln und anhaftendes Gewebe (Fett und Sehnen) steuert den größten Beitrag zum Gesamtfettgehalt der Tiere bei (vergleiche 6.2.1). Im Mittel sind über 50 % des Körperfetts in Muskeln und anhaftendem Gewebe gespeichert, sodass die unbewusste Berücksichtigung

dieser Fraktion bei der BCS-Beurteilung eventuell zu besseren Ergebnissen führt. Gegen diese Vermutung spricht der von Wright und Russel (1984a) ermittelte mäßige Zusammenhang zwischen BCS und inter- und intramuskulärem Fettgehalt. Aus diesem Grund schlussfolgern auch Roche et al. (2009), dass die Körperkonditionsbewertung mit BCS bei Kühen mit wenig subkutanem Fett ungenauer ist. Gestützt wird die Hypothese durch die hohe Korrelation ($r=0,85$) zwischen ergänzend erfasster Muskeldicke und Körperfettgehalt, wobei das Unterhautfettgewebe im Wert enthalten ist.

Im Rahmen von wachsenden Bestandsgrößen und Digitalisierung gewinnt die Automatisierung der Körperkonditionsbewertung zunehmend an Bedeutung (Roche et al., 2009). Entsprechende Ansätze stimmen positiv (Azzaro et al., 2011; Bewley et al., 2008; Halachmi et al., 2008; Weber et al., 2014) und sollten aufgrund der vorliegend ermittelten guten Zusammenhänge zwischen BCS und LKXL weiter verfolgt werden.

6.3.3 Muskeldicke

Bei der Erfassung der Muskeldicke erfolgt die Vermessung des *M. longissimus dorsi* über den Querfortsätzen. Da sich in dieser Region nur dieser Muskel befindet, ist die Messung weniger fehleranfällig als an Messpunkten mit mehreren Muskeln, es werden aber hauptsächlich intramuskuläre Fettreserven erfasst. Literaturberichte bestätigen einen Zusammenhang zwischen der MD und indirekt erfassten Veränderungen im Ernährungszustand von Kühen (Bauer, 1990; Bruckmaier et al., 1998a; Reist et al., 2003). So weist die MD eine vergleichbare Laktationsdynamik auf wie RFD und BCS und spiegelt sich in typischen Veränderungen von endokrinen und metabolischen Merkmalen wider. Berichte über eine mittels Ganzkörperanalyse validierte Beziehung zwischen MD und LKXL konnten in der Literatur nicht gefunden werden. Klawuhn (1992) bestätigt den Zusammenhang zwischen MD und mittels Gesamtkörperwasserbestimmung ermittelten Körperfettgehalt bei Milchkühen mit Korrelationen von 0,53 (Fett kg) bzw. 0,49 (Fett %). Der Autor beobachtete allerdings, dass sich dieser Zusammenhang erst bei höherem Körperfettgehalt herausbildet. Die am Schlachtkörper ermittelten Zusammenhänge scheinen etwas besser zu sein. Gresham et al. (1986) ermittelten bei ausgewachsenen Kühen verschiedener Rassen (Hereford, Angus, Simmental, Charolais, Red Poll, Jersey, Holstein) eine Korrelation zwischen der sonografisch ermittelte Fläche des *M. longissimus dorsi* und dem absoluten Schlachtkörperfettgehalt von 0,62 und nach den Ergebnissen von Kirton et al. (1987) korreliert die MD mit dem prozentualen Anteil der Fettabschnitte an der linken Seite des Schlachtkörpers mit 0,74. Der vorliegend ermittelte Zusammenhang zwischen MD und LKXL ist mit Korrelationen von 0,82 (LKXL%, $R^2 = 0,68$) und 0,83 (LKXL_{kg}, $R^2 = 0,69$) besser. Die Beobachtung eines engeren Zusammenhangs bei höheren Körperfettgehalten von Klawuhn (1992) konnte nicht bestätigt werden. Es war gegenteilig festzustellen, dass die Streuung um

die Regressionsgerade zur Schätzung des LKXL mittels MD in dem Bereich 20 bis 60 mm MD geringer war als bei höheren MD (Abbildung 18).

Der Anteil der RFD am Messwert der MD ($72,2 \pm 17,6$ mm) ist mit $10,8 \pm 2,9$ mm als gering einzustufen. Die Korrektur der MD um die RFD am entsprechenden Messpunkt führte zu keiner Verbesserung der Zusammenhänge zum LKXL. Diese mit zusätzlichem Aufwand verbundene Unterscheidung bringt hinsichtlich der Schätzgenauigkeit keine Vorteile. Die ermittelte Schätzung des LKXL mittels MD war genauer als die mittels RFD, was vermutlich auf der Kombination der Erfassung der subkutanen und der muskulären Fettreserven beruht. Da die Fraktion Muskeln vorliegend als bedeutendster Fettspeicher ausgemacht wurde (6.2.1), ist es naheliegend, dass die Einbeziehung dieser Fraktion in die Schätzung zu besseren Ergebnissen führt, zumal der Anteil dieser Fraktion am LKXL mit steigender Verfettung leicht an Bedeutung gewinnt. Inwieweit eine andere Messstelle, bei der ergänzend intermuskuläre Fettreserven erfasst werden können, eine höhere Schätzgenauigkeit des LKXL ermöglicht, ist zu prüfen. Somit ist die MD nicht nur eine Alternative zur Messung der RFD, sondern aufgrund der genaueren Schätzung des LKXL sogar zu empfehlen.

Neben einer möglichen Schätzung des LKXL mittels MD sollte anhand der vorliegenden Daten auch geprüft werden, inwieweit die definierte Messung der Dicke des *M. longissimus dorsi* Rückschlüsse auf den XP-Gehalt der Kühe zulässt. Bei der Einordnung ist zu beachten, dass die absolute MD das Proteinansatzvermögen der Tiere widerspiegelt (Klawuhn, 1992) und somit rassespezifisch variiert (Koch et al., 1976). Dies bestätigen auch die Ergebnisse von Wright und Russel (1984b), die für die Regression zwischen LKXP und MD bei verschiedenen Rassen zwar einen einheitlichen Anstieg, aber signifikant unterschiedliche Schnittpunkte mit der y-Achse ermittelten. Der vorliegend erhobene Zusammenhang zwischen MD und dem LKXP der Kühe ist zwar statistisch abzuschätzen, aber hinsichtlich seiner Genauigkeit mit einem R^2 von 0,61 bzw. 0,66 für den absoluten bzw. relativen XP-Gehalt im Vergleich zur Schätzung mittels LM ($R^2 = 0,90$; Gleichung 7) als nicht ausreichend zu bewerten. Diese Beobachtung findet in Literaturberichten für ausgewachsene Kühe verschiedener Rassen Bestätigung. Gresham et al. (1986) ermittelten für den Zusammenhang zwischen der sonografisch erfassten Fläche des *M. longissimus dorsi* und dem XP-Gehalt von Schlachtkörpern eine geringere Korrelation als zwischen LM und XP-Gehalt der Schlachtkörper ($r = 0,82$ bzw. $0,95$). Auch Wright und Russel (1984b) konnten mittels LM deutlich höhere Genauigkeiten für die Schätzung des LKXP kalkulieren als mit Hilfe der Fläche des *M. longissimus dorsi* auf Höhe der 12. und 13. Rippe ($R^2 = 0,92$ bzw. $0,75$). Wie bei der Schätzung des LKXL führte die Korrektur der MD um die RFD auch bei der Schätzung des LKXP zu keiner Verbesserung der Genauigkeit. Interessanterweise ist die Beziehung zwischen der MD und dem relativen LKXL negativ, das heißt mit zunehmender MD sinkt der Anteil des LKXP (Abbildung 19, Gleichung 29). Dies ist auf die in der MD eingeschlossenen XL-Mengen zurückzuführen, die anscheinend überproportional zum XP-Gehalt ansteigen und den LKXP (%) verdünnen.

6.3.4 Intramuskulärer Fettgehalt

Neben den *in vivo* Methoden sollte auch die Schätzung des LKXL mittels IMF geprüft werden, denn die entsprechende Beprobung der Schlachtkörper ist mit geringem Aufwand verbunden und routinemäßig durchführbar. Außerdem ist die Methode der zerstörungsfreien Schätzung des IMF mittels Ultraschall am lebenden Tier vielversprechend (Hassen et al., 2001) bzw. wird bereits praktiziert (Looper et al., 2010). Mit einem Fehler (RMSE) von 3,19 % (Gleichung 31) funktionierte die vorliegend ermittelte Schätzung des LKXL genauer als die Schätzung mittels BCS, RFD, MD oder LM. Entsprechende Vergleichswerte konnten in der Literatur nicht gefunden werden. Der Zusammenhang zwischen dem XL-Gehalt der Fraktion Muskeln und dem LKXL war dabei deutlich enger als der zwischen IMF und LKXL (vergleiche Abbildung 12). Dies unterstreicht die Bedeutung der intermuskulären Fettspeicher, die beim IMF, wie auch bei der MD, nicht erfasst werden.

Auffällig sind die vorliegend ermittelten hohen IMF-Anteile von bis zu 8,3 %. Der Mittelwert von 3,4 % IMF ordnet sich gut in Literaturberichte ein, welche geschlechts- und rasseübergreifend in einem Bereich von 2,5 bis 4,85 % schwanken (Looper et al., 2010; Reichardt et al., 2006; Yang et al., 2006). Dabei unterliegt der IMF einer Vielzahl von Einflussfaktoren wie Rasse, Geschlecht, Kategorie, Mastform, Nutzungsrichtung, Kastration, Nutzungsintensität, Aufmast, Alter oder Rationsgestaltung (Gerhardy, 1995; Hocquette et al., 2010; Reichardt et al., 2006; Vestergaard et al., 2007). Allein durch Ausmast von Kühen konnte der IMF innerhalb von 4 Monaten von 2,6 auf 5,5 % (Vestergaard et al., 2007) bzw. innerhalb von 84 Tagen von 2,0 auf 6,8 % (Matulis et al., 1987) gesteigert werden. Fiems et al. (1995) fanden bei ausgewachsenen Kühen einen mittleren IMF von 7,7 % und auch Tuma et al. (1962) berichten von 8,6 % IMF bei 18 Monate alten Hereford Färsen. Daher sind die vorliegend ermittelten maximalen IMF als hoch, aber plausibel einzustufen. Aufgrund der genannten Einflussfaktoren des IMF ist davon auszugehen, dass die vorliegend ermittelten Zusammenhänge zum LKXL nicht auf andere Rassen oder Nutzungsformen übertragbar sind. Mit an der entsprechenden Rasse validierten Schätzgleichungen ist es somit aber möglich, den LKXL mittels IMF routinemäßig an Schlachttieren zu schätzen.

6.3.5 Bioelektrische Impedanzanalyse

Da mit der Methode im eigentlichen Sinne der Wassergehalt eines Körpers gemessen wird, ist die Voraussetzung für eine präzise Berechnung der Körperfettgehalte mittels BIA mit der engen Beziehung zwischen LKXL und Wassergehalt (%) der LKM gegeben (siehe 6.1). Der Zusammenhang zwischen Wasser- und Fettgehalt (%) des Eutergewebes war mit $r = -0,979$ ebenfalls sehr gut. Der Widerstand eines Körpers aus homogenem leitfähigem Material ist proportional zu seiner Länge und umgekehrt proportional zu seiner Querschnittsfläche. Obwohl der Korpus kein einheitlicher Zylinder ist und seine Leitfähigkeit nicht konstant ist, kann ein Zusammenhang zwischen dem Impedanzquotienten (Länge²/ Widerstand) und dem Wasservolumen hergestellt werden, das Elektro-

lyte enthält, die den elektrischen Strom durch den Körper leiten (Kyle et al., 2004). Um die beste Anpassung des statistischen Modells zu erreichen, wurden neben dem Quadrat der Strecke jeweils alle Kombinationen von Messstrecken getestet. Dabei konnten die Ergebnisse der Regressionsanalyse durch das Berücksichtigen von LM, LM² und Temperatur zum Teil deutlich verbessert werden. Die Genauigkeit der Schätzungen der verschiedenen Messpunkte schwankte in einem Bereich von $R^2_{\text{kor}} = 0,83$ (D) bis $R^2_{\text{kor}} = 0,92$ (A). Insgesamt gab es kaum Unterschiede in der Schätzgenauigkeit mittels R_5 oder R_{50} . Lediglich für Messpunkt A konnten signifikante Regressionsgleichungen ermittelt werden, die beide Messfrequenzen berücksichtigten. Dies ist erstaunlich, da niedrige Frequenzen eher extrazelluläres Wasser messen und hohe Frequenzen durch die Zellwände hindurch das intrazelluläre Wasser erfassen können (Kyle et al., 2004). Eine mögliche Erklärung wäre eine enge Korrelation zwischen intra- und extrazellulärem Wasser, die mit dem vorliegenden Datenmaterial aber nicht überprüft werden kann. Die Berücksichtigung deraufgezeichneten Temperaturen wirkte sich positiv auf die Schätzgenauigkeit der Regressionsgleichungen aus. Die Relevanz der Temperatur war zwar trotz der großen Schwankungsbreite (2,8 bis 22,0 °C) nur gering, aber signifikant. Damit zeigte sich, dass die Stalltemperatur einen Einfluss auf die Oberflächentemperatur der Tiere hatte und die Messung der BIA dementsprechend beeinflusste.

Insgesamt konnten für alle Messpunkte gute Schätzungen des $LKXL_{\text{kg}}$ ermittelt werden. Der Weg des Stroms in Messpunkt B ist der längste durch die Kuh und müsste den $LKXL$ dementsprechend am besten wiedergeben. Hier wurden die Werte für R und X_C der anderen Messpunkte um ein Vielfaches übertroffen. Dies ist durch die Lokalisation der Messpunkte zu begründen, da R bis zu >85 % an den Extremitäten entsteht (van Marken Lichtenbelt et al., 1994) und B der einzige Messpunkt ist, bei dem die Gliedmaßen der Kühe berücksichtigt werden. Allerdings werden die Widerstände R und X_C stark durch die Extremitäten beeinflusst, welche wiederum nur einen kleinen Beitrag zum Gesamtfettgehalt der Tiere leisten. Bei den übrigen Messpunkten handelt es sich um segmentale Messungen. Der Stromfluss der beiden Messpunkte mit den höchsten Bestimmtheitsmaßen (A und E) verläuft zentral durch den Rumpf der Kühe, der auch den größten Teil der Tiere darstellt.

Die Platzierung der Elektroden von Messpunkt C wurde in Anlehnung an Thompson et al. (1997) gewählt. Die Autoren erzielten mit dem beschriebenen Messpunkt sehr gute Ergebnisse bei Rindern mit einer weiten Spanne in der LM und Körperkondition. So konnte bei der Regressionsanalyse mit Hilfe von MS^2/R_∞ (bei durch Extrapolation ermittelter unendlicher Frequenz), LM und Geschlecht ein R^2 von 0,99 für die Schätzung des Wassergehalts erzielt werden. Die Präzision der Messung ist damit ~10 % besser als in der vorliegenden Studie. Die Berechnung des R bei unendlicher Frequenz war mit dem BIA-Gerät der vorliegenden Studie nicht möglich. Der verwendete Impedanzanalysator kann zwar mit 100 kHz messen, allerdings ist eine Verbesserung der Ergebnisse bei höherer Frequenz unwahrscheinlich, weil die bei 50 kHz erzielten Werte schon zu geringfügig schlechteren R^2 führen als die der Messung bei 5 kHz. Für Aussagen, die den Fettgehalt betreffen,

scheint daher die Messung des extrazellulären Wassers ausreichend. Eine Verbesserung der Messgenauigkeit mit der Frequenz 100 kHz sollte dennoch überprüft werden. Thompson et al. (1997) verwendeten Nadelelektroden, während im vorliegenden Versuch Klebeelektroden eingesetzt wurden. Nach Hall et al. (1989) sind Impedanz-Messungen an Ratten mit Nadelelektroden stabiler und genauer ($V_k = 2,0\%$) als mit Folien-Elektroden, die aufgeklebt werden ($V_k = 8,5\%$). Mit den im vorliegenden Versuch eingesetzten Klebeelektroden konnte allerdings ein sehr guter mittlerer V_k von 2 % erzielt werden. Berg und Marchello (1994) ermittelten für den Einsatz der BIA bei 50 kHz bei Lämmern ($\emptyset 55,1 \pm 4,95$ kg LM) für die Messung der fettfreien Masse ein R^2 von 0,78. Die dabei verwendete Elektrodenplatzierung wurde in der vorliegenden Studie mit Messpunkt D nachempfunden, für den ein höheres R^2 ermittelt werden konnte (0,83). Insgesamt gestaltet sich der Vergleich der Schätzgenauigkeiten der BIA-Ergebnisse schwierig, da Thompson et al. (1997) eine indirekte Bestimmung des LKXL (chemische Marker) durchgeführt haben und Berg und Marchello (1994) ihre Untersuchungen auf den Schlachtkörper begrenzten. Schäff et al. (2017) untersuchten die Schätzung der seziierten Fettdepotmenge bei Charolais x Holstein Friesian Kreuzungskühen in der Früh-laktation mittels Bioelektrischer Impedanzspektroskopie, einer dem vorliegend angewandten Verfahren sehr ähnliche Methode. Die dabei ermittelten Regressionsgleichungen erzielten Bestimmtheitsmaße von bis zu 0,99. Unter den untersuchten Messpunkten befanden sich auch die vorliegend gewählten Messpunkte A, C, D und E. Die ermittelten RMSE waren deutlich geringer (A: 4,11 kg, C: 0,73 kg, D: 5,04 kg, E: 4,67 kg). Einschränkend ist festzuhalten, dass je nach Messpunkt nur 7 bis 10 Tiere untersucht wurden. Die Autoren ermittelten die RMSE zusätzlich mittels Kreuzvalidierung. Dazu wurde die Differenz zwischen geschätzter und gemessener Fettdepotmenge für jedes Tier aus der Regression aus den Daten der anderen Tiere berechnet. Der auf diese Weise berechnete Schätzfehler lag mit mindestens 21 kg Fett wiederum deutlich über dem vorliegend ermittelten RMSE für Messpunkt A (14,7 kg).

Die genaue Erfassung der Messstrecken ist von großer Bedeutung für die Messgenauigkeit (Thompson et al., 1997). Da es relativ aufwendig ist, die MS eines Messpunkts zu lokalisieren, der nicht gemessen wird, wurden zusätzlich Gleichungen angegeben, bei denen MS anderer Messpunkte nicht erfasst werden müssen. Die Genauigkeit der Schätzungen ist dabei nur geringfügig schlechter. Die einzige Messstrecke, die nicht bei den Regressionen verwendet wurde, war der Brustumfang. Dies ist erstaunlich, da er die angenommene Zylinderform des Kuhrumpfes am besten wiedergeben müsste. Zwar ergaben sich unter Einsatz des Brustumfangs auch signifikante Zusammenhänge der Messung zum LKXL, die anderen Messstrecken konnten das Volumen der Kühe offensichtlich genauer beschreiben.

6.3.6 Hautfaltendicke

Die Messung der HFD ist eine im Bereich der Humanmedizin etablierte Methode zur Einschätzung des Ernährungszustandes. Im Nutztierbereich wurde diese Methode bereits vor Einführung der

Messung der RFD mittels Nadeln bzw. Ultraschall erprobt, um Rückschlüsse auf die Zusammensetzung der Schlachtkörper von Rindern zu ziehen. Tulloh (1961b) konnte dabei keinen Zusammenhang zwischen HFD und der am Schlachtkörper von Ochsen erfassten Fettauflage ermitteln und auch Somervaille et al. (1986) berichten von nur geringfügigen Korrelationen. Andere Autoren fanden dagegen mittelmäßige (Johnson und Davis, 1983) bis gute (Charles, 1974) Zusammenhänge zum Schlachtkörperfettgehalt von Rindern. Bruckmaier et al. (1998a) erhoben die HFD in der Früh-laktation bei Milchkühen und konnten einen ähnlichen Verlauf wie bei anderen Körperkonditionskennzahlen (LM, BCS und RFD) beobachten. Außerdem spiegelte auch die HFD Veränderungen von Hormonen und Metaboliten, welche bekanntermaßen von der energetischen Versorgung beeinflusst werden. Daher ist anzunehmen, dass auch die HFD als Indikator der Körperkondition zu sehen ist.

Insgesamt ist die Messung der HFD als Methode zur Einschätzung der Körperkondition nicht gut validiert und wenig angewendet (Schröder und Staufenbiel, 2006). Lediglich Nicholson und Little (1988) prüften bei Zebus den Zusammenhang der Messung der HFD am Schwanzansatz zum indirekt ermittelten LKXL_%. Die Korrelation war mit 0,48 deutlich schlechter als die mit dem parallel geprüften BCS ($r = 0,90$). Dabei berichten die Autoren von der Verbesserung des Zusammenhangs, wenn die HFD mit Hilfe von zwei Personen gemessen wird ($r = 0,69$), da das subkutane Fett beim Bilden der Hautfalte mit nur einer Hand entgleitete und daher nicht gut erfasst werden konnte. Diese Beobachtung konnte bei den Messungen der vorliegenden Untersuchung nicht bestätigt werden. Die Zusammenhänge zwischen LKXL und HFD dieser Studie sind mit einem Bestimmtheitsmaß von 0,5 gleich gut wie die der zwei Personen-Methode von Nicholson und Little (1988). Dies ist erstaunlich, da die Autoren nur die HFD am Schwanzansatz ermittelten und vorliegend die Summen mehrerer über den Körper verteilter HFD geprüft wurde. Dabei war die Korrelation der HFD von Messpunkt 1 (Kaudal über der Mitte des Sitzbeinhöckers), welcher dem Messpunkt von Nicholson und Little (1988) sehr nahe kommt, zum LKXL nicht signifikant. Im Bereich der Humanmedizin hat sich ebenfalls die Bildung der Summe verschiedener Hautfalten durchgesetzt (Durnin und Womersley, 1974; Jackson und Pollock, 1978; Jackson et al., 1980).

Eine Ursache für die nur mittelmäßigen Zusammenhänge zwischen HFD und LKXL könnte die Messgenauigkeit der Methode sein. Die von Nicholson und Little (1988) angedeuteten Schwierigkeiten bei der Erfassung der HFD werden von anderen Autoren aus dem Bereich der Humanmedizin bestätigt. So seien valide Ergebnisse mit guter Reproduzierbarkeit ($\pm 5\%$) nur von erfahrenen Untersuchern zu erwarten (Cameron, 1978) und signifikante Unterschiede zwischen den Ergebnissen verschiedener Messpersonen feststellbar (Bennett und Osborne, 1986; Fuller et al., 1991). Die vorliegenden Werte wurden immer von derselben Person erhoben, die hinsichtlich der HFD-Messung als unerfahren einzustufen war. Die bei der Wiederholbarkeitsprüfung ermittelten V_k der einzelnen Messpunkte lagen in einem Bereich von 4,9 bis 10,4 %. Der V_k für die SHFD war mit 4,6 % niedriger und damit im Rahmen guter Reproduzierbarkeit (Cameron, 1978). Auch Tulloh

(1961a) ermittelte sehr gute Wiederholbarkeiten für die Messung der HFD mit einer Intraklassenkorrelation von 0,94.

6.3.7 Fettzellgröße

Die mögliche Schätzung des LKXL mit Hilfe der FZG ist eine ältere Methode und beruht auf der Tatsache, dass das Fettgewebe im adulten Tierkörper weniger mit Zellvermehrung und Apoptose sondern hauptsächlich mit einer proportionalen Volumenänderung der Adipozyten auf Verfettung oder Abmagerung reagieren (Pond und Mattacks, 1985; Pond, 1986). Dies wird in der Literatur durch signifikante Zusammenhänge von Fettzelldurchmesser von Adipozyten verschiedener Depots und dem LKXL bei adulten Kühen bestätigt (Robelin, 1982; Robelin et al., 1989; Waltner et al., 1994). Ein Vergleich der vorliegend ermittelten Regressionsgleichungen mit den Literaturangaben ist allerdings nur bedingt möglich, da vorliegend die Fettzellgröße und nicht der Durchmesser der Adipozyten ermittelt wurde. Die von Pond (1986) beschriebene nahezu kugelförmige Gestalt der Adipozyten konnte am vorliegenden Material nur bedingt bestätigt werden (Abbildung 22). Daher scheint die Erhebung der Fläche der angeschnittenen Fettzellen exakter als die Vermessung der entsprechenden Durchmesser.

Für die vorliegend ermittelten Schätzungen des absoluten und des relativen LKXL mittels FZG konnten für FZGr ($R^2 = 0,83$ bzw. $0,78$) höhere Genauigkeiten als für FZGs ($R^2 = 0,67$ bzw. $0,68$) festgestellt werden. Waltner et al. (1994) berichten dagegen von ähnlichen Zusammenhängen der Durchmesser der Adipozyten zum LKXL_% aus dem subkutanen ($R^2 = 0,43$) und perirenal ($R^2 = 0,45$) Depot während die Schätzung des LKXL_{kg} mit den Durchmessern der perirenal Fettzellen genauer ist als mit denen der subkutanen ($R^2 = 0,68$ bzw. $0,26$). Die beobachtete höhere Aussagekraft der FZGr könnte auf die höhere metabolische Aktivität bzw. Flexibilität des retroperitonealen Depots zurückzuführen sein. Dies wurde zumindest in Studien, in denen retroperitoneales und subkutan Fettgewebe in der Früh-laktation untersucht wurde, beobachtet (Kenéz et al., 2015; Locher et al., 2011; Locher et al., 2012; von Soosten et al., 2011). Durch die Hinzunahme der LM als weiteren Regressor konnte in der vorliegenden Untersuchung eine minimale Verbesserung der Schätzung des LKXL_{kg} mittels FZGr erreicht werden ($R^2 = 0,83$ bzw. $0,85$). Dagegen konnten bei der Schätzung mittels FZGs mit Hilfe der LM für den absoluten und relativen LKXL erhebliche Verbesserungen erzielt werden ($R^2 = 0,68$ bzw. $0,73$ für LKXL_% und $R^2 = 0,67$ bzw. $0,79$ für LKXL_{kg}), so dass nahezu das Niveau der Schätzung mittels FZGr erreicht werden konnte. Bezüglich der Anwendung der Methode ist dies vorteilhaft, da subkutan Fettgewebe am lebenden Tier deutlich leichter zu gewinnen ist als viszerales. Auch Waltner et al. (1994) konnten im Vergleich zur alleinigen Schätzung mit den Fettzelldurchmessern des subkutanen bzw. perirenal Depots durch zusätzliche Berücksichtigung der LM die Schätzgenauigkeit erheblich verbessern.

Die vorliegend erhobenen mittleren FZG liegen mit $4.807 \pm 1.991 \mu\text{m}^2$ (FZGs) bzw. $4.063 \pm 1.991 \mu\text{m}^2$ (FZGr) unter den Literaturangaben für Milchkühe, die in Abhängigkeit von Laktationsstand und Versorgung im Mittel in einem Bereich von etwa 4.500 bis 8.000 μm^2 schwanken (Akter et al., 2011; Kenéz et al., 2015). Die von Locher et al. (2015) und Robelin (1982) bei Kühen beschriebene Stagnation der Zunahme der FZGs mit fortschreitender Verfettung konnte dabei nicht bestätigt werden. Wie auch bei Waltner et al. (1994) waren die vorliegend ermittelten Zusammenhänge durchgängig linear. Diese Unterschiede könnten rassespezifisch sein. Dagegen sprechen die Ergebnisse von Robelin et al. (1989), die für die Schätzung des LKXL mittels FZG nur geringfügige Unterschiede zwischen den untersuchten Rassen (Holstein, Charolaise und Limousine) fanden. Andererseits passen die gefundenen kleineren Adipozyten zu den vergleichsweise geringen LKXL der vorliegend untersuchten Fleckviehkühe. Eine Stagnation der Zunahme der FZG, wie sie von Locher et al. (2015) für FZGs bei 5.000 bis 6.000 μm^2 bei aufgemästeten Kühen beschrieben wurde, könnte bei den untersuchten Fleckviehkühen evtl. erst in einem Bereich mit noch höheren LKXL auftreten.

Neben der geringeren absoluten FZG ist auch das Größenverhältnis der vorliegend untersuchten Adipozyten aus dem subkutanen bzw. retroperitonealen Fettdepot im Widerspruch zu Literaturberichten. Während vorliegend die FZGs im Mittel größer waren als die FZGr, berichten Akter et al. (2011) und Waltner et al. (1994) von einem umgekehrten Größenverhältnis. Eine Erklärung könnten die Ergebnisse von Kenéz et al. (2015) sein. Demnach variieren die Größenverhältnisse je nach Laktationsstand, welcher bei den Tieren der vorliegenden Studie stark schwankte.

6.3.8 Leptinkonzentration im Blut

Das Fettgewebshormon Leptin wird nahezu ausschließlich in den Adipozyten synthetisiert und gelangt über den Blutweg zu den Zielorganen. Bei Primaten steht die Menge des Leptins in einem direkt proportionalen Zusammenhang zur Masse des Fettgewebes. Im Nutztierbereich konnte diese enge Beziehung in zahlreichen Studien bestätigt werden (siehe Review von Altmann und von Borell, 2007), wobei größtenteils indirekte Kenngrößen zur Schätzung des LKXL herangezogen wurden. Das Leptin als Indikator für die *in vivo* Schätzung des LKXL dienen kann, konnte in der vorliegenden Untersuchung bestätigt werden. Die ermittelte Schätzgenauigkeit ist mit einem RMSE von 4,22 % bzw. 36,0 kg allerdings als mäßig einzustufen. Dies ist unter anderem auf ein Wertepaar mit vergleichsweise hoher Leptinkonzentration von 9,8 ng/ml zurückzuführen (Abbildung 24). Die entsprechenden Regressionen ohne diesen hohen Wert führten zu geringfügig genaueren Schätzgleichungen:

$$\begin{aligned} \text{LKXL (\%)} &= 8,622 \ln(\text{Leptin (ng ml}^{-1}\text{)}) + 9,863 & (64) \\ \text{RMSE} &= 4,16 \%, P < 0,0001 \end{aligned}$$

$$\text{LKXL (kg)} = 80,49 \ln(\text{Leptin (ng ml}^{-1}\text{)}) + 50,09 \quad (65)$$

RMSE=34,0 kg, P < 0,0001

Ehrhardt et al. (2000) ermittelten bei männlichen Holstein-Kälbern (105 kg) eine engere lineare Beziehung zwischen LKXL_% und der Plasmaleptinkonzentration ($R^2 = 0,83$). Der entsprechende Korrelationskoeffizient lag mit $r = 0,91$ deutlich über dem vorliegend ermittelten ($r = 0,59$, $P = 0,0012$, Tabelle 23). Die untersuchten Tiere waren aber altersbedingt sehr mager (< 12 % LKXL), was die Vergleichbarkeit limitiert. Das von Yamada et al. (2003) untersuchte Tiermaterial ist hinsichtlich des Fettgehaltes mit einer Spanne von 4,8 bis 36,5 % eher mit dem vorliegend geprüften vergleichbar. Die Autoren ermittelten bei männlichen Kreuzungstieren (Japanese Black x Holstein) bei gemeinsamer Betrachtung aller Altersklassen (11 Monate und 21 bis 28 Monate) ebenfalls einen engeren Zusammenhang zwischen seziiertem Fett (viszeral, subkutan, intermuskulär und renal) und Plasmaleptinkonzentration ($r = 0,807$ für Fett % bzw. $0,802$ für Fett kg). Berichte über Studien, bei denen der Zusammenhang zwischen LKXL und Blutleptinkonzentration bei Milchkühen untersucht wurde, konnten nicht gefunden werden. Eine mögliche Erklärung für die schlechteren Zusammenhänge zwischen LKXL und Leptinspiegel in der vorliegenden Untersuchung sind weitere Einflussfaktoren auf die Leptinkonzentration im Blut, die bei dem vorliegend verwendeten Tiermaterial nicht so gut standardisiert waren, wie es bei wachsenden Rindern der Fall ist. Dazu gehören vor allem die Kenngrößen Futteraufnahme (Delavaud et al., 2002), Ernährungsniveau (Liefers et al., 2003), Laktationsnummer (Mann et al., 2018) und Laktationsstadium (Chillieard et al., 2005). Außerdem variierten die vorliegend gewählten Kühe hinsichtlich ihrer Blutmenge (21 bis 43 kg), was die Schätzung des LKXL beeinflussen könnte, da sie auf der Leptinkonzentration in ng/ml basiert. Die Berücksichtigung der Blutmenge führte allerdings zu keiner Verbesserung der Schätzungsgleichung. Vermutlich handelt es sich um eine Autokorrelation, da fette Kühe schwerer sind und dementsprechend über ein höheres Blutvolumen verfügen.

Es wird angenommen, dass die Leptinkonzentration im Blut nicht nur den LKXL spiegelt, sondern auch Rückschlüsse auf die Fettverteilung zulässt (Altmann und von Borell, 2007). So berichten Higashiyama et al. (2003) bei Ochsen von Korrelationen zwischen Plasmaleptingehalt und dem Schlachtkörperfett während es zu den viszeralen Fettmengen keine Beziehung gab. Dagegen ermittelten Geary et al. (2003) bei Mastrindern eine engere Beziehung zwischen Leptin und dem viszeralen Fettgehalt als zwischen Leptin und RFD, welche die subkutanen Reserven spiegeln sollte. Altmann et al. (2005, 2006a) bestätigen die engeren Korrelationen zum viszeralen Depot bei Lämmern im Vergleich zum Schlachtkörperfettgehalt. Auch bei dem vorliegenden Datenmaterial konnten signifikante Zusammenhänge zwischen dem Serumleptingehalt und einzelnen Schlachtkörperfraktionen bestimmt werden (Tabelle 23). Dabei waren die Beziehungen ohne das oben genannte auffällige Wertepaar (9,78 ng Leptin/ml Serum bei 151 kg LKXL) durchweg enger. Tendenziell können die oben genannten Literaturberichte über engere Korrelationen zu viszeralen Depots bestä-

tigt werden, wobei die Fraktion GIT die höchsten Korrelationen aufweist. Für die Fraktionen Leber, Knochen und Euter konnten keine signifikanten Beziehungen zum Leptingehalt ermittelt werden. Dies ist vermutlich auf den geringen Beitrag zum gesamten LKXL dieser Fraktionen zurückzuführen. Das zwischen dem XL-Gehalt der Haut und dem Serumleptin keiner, bzw. nur ein schlechter Zusammenhang besteht (Tabelle 23) sollte nicht überbewertet werden, da ein Teil des subkutanen Fettes methodisch bedingt der Fraktion Muskeln zugeordnet wurde.

Tabelle 23: Korrelationen zwischen der Serumleptinkonzentration, dem Leerkörperrohffettgehalt (LKXL) und den XL-Gehalten der verschiedenen Schlachtkörperfraktionen

	Leptin (n=27)	P	Leptin* (n=26)	P
LKXL (%)	0,59	0,0012	0,65	0,0003
LKXL (kg)	0,58	0,0015	0,71	<0,0001
GIT (kg XL)	0,67	<0,0001	0,82	<0,0001
Muskeln (kg XL)	0,57	0,0021	0,67	0,0002
Leber (kg XL)		n.s.		n.s.
Nierentalg (kg XL)	0,62	0,0005	0,74	<0,0001
Haut (kg XL)		n.s.	0,52	0,0062
Knochen (kg XL)		n.s.		n.s.
Organe (kg XL)	0,38	0,0496	0,60	0,0012
Euter (kg XL)		n.s.		n.s.

* ohne das auffällige Wertepaar 9,78 ng Leptin/ml Serum bei 151 kg LKXL

Die Blut-Leptinkonzentration in der vorliegenden Studie lag im Mittel bei $2,65 \pm 1,87$ ng/ml (0,91 bis 9,78 ng/ml). Eine Einordnung dieser Werte in Literaturberichte ist nur bedingt möglich, da die absoluten Messwerte aus verschiedenen Laboren aufgrund unterschiedlicher Untersuchungsmethoden nicht vergleichbar sind (Delavaud et al., 2002; Kulscár, 2007). Verglichen mit Literaturergebnissen, die ebenfalls mit der im vorliegenden Versuch angewendeten Methode bestimmt wurden (Sauerwein et al., 2004), sind die im vorliegenden Konzentrationen im Mittel als niedrig einzustufen. So ermittelten Akter et al. (2012) 5,33 ng/ml in primiparen Holstein-Friesian Kühen und 9,14 ng/ml in verfetteten Fleckviehfärsen. Weitere Autoren berichten ebenfalls von Serum-Leptinkonzentrationen von über 4 ng/ml bei Holstein Kühen (Hernández-Castellano et al., 2017; Locher et al., 2015; Mann et al., 2018; Saremi et al., 2014).

Wie in Abschnitt 5.2.9 beschrieben, wurde eine analysierte Leptinkonzentration (29,06 ng/ml) als Ausreißer bewertet und in der Datenauswertung nicht weiter berücksichtigt. Die FZGr derselben Kuh wurde ebenfalls als Ausreißer aus den Berechnungen ausgeschlossen, da sie die Ergebnisse der anderen Tiere deutlich übertraf ($11.603 \mu\text{m}^2$, siehe 5.2.8) während das Ergebnis der FZGs des betreffenden Tieres nicht außergewöhnlich war. Bis auf die genannten Werte waren weder die Kuh noch ihre Ergebnisse als auffällig zu bezeichnen. Da Leptin hauptsächlich in den Adipozyten gebildet wird, scheint ein Zusammenhang dieser beiden auffallend hohen Werte wahrscheinlich. Aus

Literaturberichten sind Korrelationen zwischen Leptinkonzentration und Fettzellgröße bei Rindern (Chilliard et al., 1998; Delavaud et al., 2002) und Schafen (Altmann et al., 2006b) bekannt. Die vorliegend ermittelten Korrelationen waren mit 0,49 ($P = 0,01$) für FZGr eher mäßig und für FZGs nicht signifikant. Werden die als Ausreißer klassifizierten Werte in die Rechnung einbezogen, ergibt sich für FZGr eine bessere Korrelation von 0,69 ($P < 0,0001$). Daher bestätigen sich die Leptinkonzentration und die FZGr gegenseitig. Ein physiologischer Hintergrund scheint wahrscheinlich, kann aber anhand der vorliegenden Ergebnisse nicht näher erklärt werden.

6.4 Überprüfung der ermittelten Schätzgleichungen mit Hilfe der Daten der Aufstallungsphase

Die Methoden BCS, BIA, HFD, LM, MD und RFD wurden zu Beginn und am Ende der Aufstallungsphase zur Schätzung des LKXL angewendet, um die Differenz zu den zeitgleich erfassten Energiesalden gegenüber stellen zu können. Diese Vorgehensweise entspricht keiner echten Validierung, da die entsprechenden Schätzgleichungen aus den Daten vom Ende der Aufstallungsphase generiert wurden. Dennoch sollte geprüft werden, ob die Ergebnisse der Schätzung des LKXL anhand der erhobenen Energiesalden plausibilisiert werden können. Dabei ist zu berücksichtigen, dass die bei der Berechnung der Energiesalden hinterlegten Bedarfsfaktoren eigentlich nur für das Mittel der Population und nicht für Einzeltiere gelten.

Insgesamt sind die Zusammenhänge zwischen geschätztem Δ LKXL und den berechneten Energiesalden nicht zufriedenstellend. Lediglich für die Methode LM konnte mit einem R^2 von 0,77 ein guter Zusammenhang ermittelt werden. Der entsprechende Anstieg der Regressionsgleichung (Gleichung 56) für die Schätzung der Energiesalden mittels Δ LKXL beträgt 54 MJ NEL/kg Δ LKXL. Der RMSE der Schätzung des $LKXL_{kg}$ mittels LM lag bei 24 kg (Gleichung 10). Unabhängig vom Schätzfehler aus der Schätzung des Energiesaldos mittels Δ LKXL ist daher bereits von einem mittleren Fehler von 1.296 MJ NEL auszugehen. Da für die Bestimmung der Veränderung des LKXL zwei Schätzungen durchzuführen sind, könnte der Fehler noch größer ausfallen. Hinzu kommt der RMSE für die Schätzung des Energiesaldos von 601 MJ NEL (Gleichung 56). Dabei lag das mittlere Energiesaldo der Aufstallungsphase lediglich bei 724 MJ NEL. Bei der Schätzung des LKXL mittels BIA war der RMSE mit 15 kg (Gleichung 32) geringer. Der Anstieg der Regressionsgeraden zwischen Energiesaldo und Δ LKXL betrug 30 MJ NEL/kg Δ LKXL (Gleichung 58). Daraus ergibt sich ein Fehler von 450 MJ NEL. Dagegen war der Fehler für die Schätzung des Energiesaldos mit 1.025 MJ NEL deutlich höher. Insgesamt sind die wiederholten Schätzungen des LKXL für Rückschlüsse auf die dazwischenliegenden Energiesalden zu ungenau. Inwieweit neue Empfehlungen zur Berechnung der Energiesalden (Susenbeth, 2018) zu berücksichtigen sind oder beispielsweise aufgrund unterschiedlicher Wirkungsgrade für Ansatz und Mobilisation von Energie ein Broken-Line-Modell für die Schätzung sinnvoller wären, braucht daher nicht weiter diskutiert zu werden.

6.5 Methodenvergleich

Ein großer Vorteil der vorliegenden Untersuchung ist, dass die verschiedenen Methoden zur Schätzung des LKXL parallel erprobt wurden und daher direkt verglichen werden können. In Tabelle 24 sind dazu die verschiedenen Methoden nach ihrem Schätzfehler gereiht. Bei dieser Reihung ist kein wesentlicher Unterschied zwischen der Schätzung des absoluten oder des relativen LKXL ersichtlich. Die Schätzung mittels Nierentalg (kg oder XL %) war am genauesten, auch die BIA funktionierte sehr gut. Die Methoden FZG, BCS und LM ermöglichten noch relativ gute Schätzungen des LKXL, während die Fehler der Schätzungen mittels RFD, Leptin und HFD vergleichsweise hoch waren. Daher können die zuletzt genannten Methoden nicht zur Schätzung des LKXL bei Fleckviehkühen empfohlen werden.

Tabelle 24: Reihung der geprüften Methoden zur Schätzung des absoluten bzw. relativen Leerkörperrohffettgehaltes hinsichtlich ihrer Genauigkeit (RMSE)

Methoden	RMSE kg	Methoden	RMSE %
Nierentalg (kg)	14,4	Nierentalg (kg)	1,96
BIA (Messpunkt A)	14,7	Nierentalg (XL %)	2,08
Nierentalg (XL %)	18,5	FZGr	2,84
FZGr + LM	19,9	FZGs + LM	3,03
FZGr	21,5	IMF	3,19
FZGs + LM	23,4	BCS	3,26
LM	23,6	RFD 2 + LM	3,30
BCS	28,4	MD	3,39
MD	29,5	FZGs	3,37
FZGs	30,0	LM	3,42
RFD 2	32,1	RFD 2	3,58
RFD 1	36,0	RFD 1	4,19
Leptin	36,0	RFD 3	4,20
RFD 3	36,3	Leptin	4,22
HFD	38,2	HFD	4,29

Die genaueste Methode zur Schätzung des LKXL war die einfache Wiegung des Nierentalgs für dessen Erfassung allerdings bisher die Schlachtung der Tiere erforderlich ist. Wiederholte Messungen sind daher ausgeschlossen. Abgesehen davon ist die Wiegung dieses Gewebes hinsichtlich Zeit und Geld ohne großen Aufwand verbunden, so dass diese Methode bei wissenschaftlichen Fragestellungen, bei denen die Tiere zu Versuchsende geschlachtet werden, die einfachste, genaueste und daher empfohlene Methode zur Schätzung des LKXL ist. Die Entwicklung einer nicht invasiven

Erfassung der Nierentalmenge, beispielsweise mittels Ultraschall (Raschka et al., 2016; Ribeiro et al., 2008; Ribeiro und Tedeschi, 2012), sollte daher weiter verfolgt werden.

Neben der Genauigkeit spielen bei der Bewertung der verschiedenen Schätzmethode auch die damit verbundenen Kosten und der Arbeitsaufwand eine Rolle. Hier ist je nach Fragestellung eine differenzierte Betrachtung vorzunehmen. Soll die Schätzung des LKXL in Rahmen der routinemäßigen Bestandskontrolle in der Praxis durchgeführt werden, müssen die entsprechenden Kosten minimal ausfallen. Außerdem sollte der Aufwand (inklusive der Erlernbarkeit der Methode) gering gestaltet werden können. Obwohl die BIA grundsätzlich einfach im Stall durchzuführen ist, wird sich die Methode in der breiten Praxis kaum durchsetzen können. Aufwand und Kosten der Methode sind mit denen der RFD-Messung vergleichbar, welche hauptsächlich auf Versuchstationen oder von vereinzelt Veterinären angewendet wird. Aufgrund der deutlich besseren Schätzgenauigkeit sollte die BIA die Messung der RFD in den genannten Bereichen ersetzen. Für die Bestimmung der FZG *in vivo* ist eine Biopsie notwendig. Der entsprechende bürokratische Aufwand (Tierversuchsantrag) beschränkt das Einsatzgebiet der Methode auf wissenschaftliche Fragestellungen. Auch der anschließende analytische Aufwand ist nicht unerheblich. Da mit der BIA eine einfachere nicht invasive Methode zur Verfügung steht, die genauere Schätzergebnisse liefert, kann der Einsatz der Bestimmung der FZG zur Schätzung des LKXL nicht empfohlen werden.

Die genauesten praxisrelevanten *in vivo* LKXL-Schätzungen sind demnach die Erfassung der LM und die Bestimmung des BCS. Eine Viehwaage ist mit entsprechenden Anschaffungskosten verbunden. Die anschließenden Wiegeungen können aber mittlerweile automatisch und vor allem objektiv erfolgen. Die vorliegend guten Schätzergebnisse für den LKXL mittels LM basieren auf der Minimierung des Einflusses der Füllung des GIT durch standardisierte Wiegeung vor der morgendlichen Fütterung. Dies ist beim Einsatz der Methode zu berücksichtigen. Inwieweit die Trächtigkeit die Genauigkeit der Schätzung beeinflusst muss noch geprüft werden, da die vorliegend untersuchten Tiere nicht tragend waren. Außerdem befanden sich die meisten Kühe in der mittleren bzw. Spätlaktation, so dass Schwankungen im Füllungszustand des GIT geringer ausfallen was nicht den Gegebenheiten in klassischen Milchviehherden entspricht. In der Literatur wird durchaus auch von höheren Korrelationen zwischen LM und $LKXL_{kg}$ berichtet. Wright und Russel (1984b) ermittelten bei polynomischer Betrachtung ein R^2 von 0,85 (RMSE 17,4 kg). Im Vergleich zu Deuteriumdilution, BCS, RFD und Körpermaßen war die LM hier der genaueste Einzelschätzer des $LKXL_{kg}$. Auch Ferrell und Jenkins (1984) und Waltner et al. (1994) berichten von engen Zusammenhängen zwischen LM und $LKXL_{kg}$. Hier wurden überwiegend ausgewachsene, nicht tragende Tiere untersucht, bei denen Veränderungen in der Lebendmasse hauptsächlich aus Fettauf- bzw. -abbau bestehen. Außerdem verbessern sich die Korrelationen zwischen LM und $LKXL_{kg}$ mit zunehmender Laktationsnummer, da mit zunehmendem Alter der Fettanteil am LM-Zuwachs ansteigt und die LM an Aussagekraft hinsichtlich LKXL gewinnt (Wappler, 1997). So kann der erstaunlich enge Zusammenhang zwischen LM und LKXL in der vorliegenden Studie erklärt werden. Die Kühe

waren ebenfalls ausgewachsen, nicht tragend und befanden sich überwiegend in der Spätlaktation, so dass die oben genannten Einflüsse auf die LM minimiert waren. Außerdem erfolgte die Erfassung sehr standardisiert, nach der morgendlichen Melkung und ohne Futtervorlage vor der Schlachtung. Der BCS ist vermutlich die in der Praxis am weitesten verbreitete Methode zur Beurteilung der Körperkondition. Die Methode wird mit den Ergebnissen der vorliegenden Untersuchung für Fleckviehkühe in ihrer Aussagekraft bestätigt. Sie ist somit für die Fragestellungen der Praxis neben der LM die Methode der Wahl, obwohl der Schätzfehler mit knapp 30 kg LKXL nicht geringfügig ist.

Die mittlere Mobilisation von Körperfett im Laktationsverlauf liegt in einem Bereich zwischen 19 und 42 kg (Andrew et al., 1994; Chibisa et al., 2008; Gibb et al., 1992; von Soosten et al., 2012). Demgegenüber stehen die vorliegend ermittelten Schätzfehler der geprüften Methoden zur Schätzung des LKXL von 14 bis 38 kg. Damit ist selbst die BIA als genaueste *in vivo* Methode mit einem RMSE von 14,7 kg nicht für einzeltierbezogene Aussagen geeignet. Inwieweit mit der Methode Unterschiede zwischen Gruppen nachgehalten werden können, obliegt den Anforderungen der jeweiligen Fragestellung.

7. Schlussfolgerungen

Vor dem Hintergrund einer optimalen Rationsgestaltung und Steuerungsmöglichkeiten im Fütterungsmanagement sollte mit der vorliegenden Untersuchung die Körperzusammensetzung ausgewachsener Fleckviehkühe und die mögliche Schätzung des LKXL geprüft werden. Auf der Grundlage einer Ganzkörperanalyse von 30 Tieren, die gezielt ausgewählt wurden, um eine weite Bandbreite an Körperkonditionen abzudecken, können dabei für die untersuchten nicht tragenden Fleckviehkühe folgende Schlussfolgerungen abgeleitet werden:

- Die Fleckviehkuh besteht bei einer LM von 736 ± 101 kg (414 – 865 kg) und einer LKM von 654 ± 106 kg (340 – 804 kg) im Mittel aus 117 ± 52 kg XL (10 – 231 kg), 121 ± 16 kg XP (71 – 149 kg), 386 ± 45 kg Rohwasser (226 – 449 kg), 30 ± 4 kg XA (16 – 41 kg), $47,8 \pm 14,8$ g Ca (21,2 - 91,3 g), $542 \pm 94,8$ g P (267 – 680 g), 978 ± 163 g K (507 - 1.223 g), $68,0 \pm 12,8$ g Mg (31,2 - 86,4 g), 645 ± 126 g S (283 - 843 g), 1.234 ± 334 mg Cu (419 - 1.853 mg), 15.744 ± 3.154 mg Fe (6.453 - 21.255 mg) und 14.579 ± 3.731 mg Zn (5.893 - 22.777 mg).
- Der LKXL der vorliegend untersuchten Fleckviehkühe ist nach der Einordnung in Literaturberichte als vergleichsweise gering einzustufen, wobei zu berücksichtigen ist, dass auch gezielt magere Tiere mit ausgewählt wurden. Außerdem streuen die LKXL aus Literaturangaben stark in Abhängigkeit von Rasse, Gravidität, Laktationsnummer und Laktationsstand. Die Erhebung von rassespezifischen Daten in Abhängigkeit der oben genannten Kenngrößen ist daher in ihrer Bedeutung bestätigt.
- Die mengenmäßig bedeutendsten Depots des LKXL sind in Übereinstimmung mit Literaturberichten die Fraktionen Muskeln, Knochen und GIT, wobei der Anteil des LKXL aus den Knochen mit zunehmender Verfettung rückläufig ist, während er bei allen anderen Depots ansteigt. Die größten Veränderungen der absoluten XL-Gehalte in Abhängigkeit des LKXL finden sich in den Fraktionen Muskeln (124 kg), GIT (43 kg) und Nierentalg (27 kg).
- Die Fe-Konzentration der vorliegend geprüften Kühe übersteigt mit $77,1$ mg/kg LKM die für Spurenelemente festgelegte Konzentration von weniger als 50 mg/kg Körpermasse. Der größte Anteil stammte dabei aus der Fraktion Muskeln.
- Die genaueste Schätzung des LKXL ist mit Hilfe der Wiegung des Nierentalgs möglich (RMSE = $14,4$ kg bzw. $1,96$ % LKXL). Nicht invasive Methoden zur Erfassung der Nierentalgmenge sollten daher weiter verfolgt und entwickelt werden.
- Die Schätzung des LKXL mittels RFD (RMSE = $32,1$ kg bzw. $3,58$ %) liegt trotz des objektiven Charakters der Methode ungenauer als die Schätzung mittels BCS. Daher kann die Methode nicht empfohlen werden. Sollte dennoch von der Ultraschallmessung Gebrauch gemacht werden, empfiehlt sich aufgrund der höchsten Schätzge-

nauigkeit die Messung der MD. Die genaueste Schätzung mittels RFD erfolgt an Messpunkt 2. Allerdings sollte bei der Interpretation der Ergebnisse der logarithmische Zusammenhang zum LKXL beachtet werden, da je nach Körperkonditionsbereich hinter der Änderung von einem mm RFD eine variierende Menge LKXL steht und die bisher angenommenen 5 kg LKXL/mm RFD nur im Mittel gelten.

- Die für den breiten Einsatz in der Praxis geeignetsten Methoden zur Schätzung des LKXL sind der BCS (RMSE = 28,4 kg bzw. 3,26 %) und die Erfassung der LM (RMSE = 23,6 kg bzw. 3,42 %). Letztere sollte dabei unbedingt unter standardisierten Bedingungen vor der morgendlichen Futtervorlage durchgeführt werden, um die Schwankungen der Füllung des GIT zu minimieren.
- Die BIA bietet bei vertretbarem Aufwand die genaueste *in vivo* Schätzung des LKXL und kann somit für Forschungszwecke empfohlen werden. Dabei ist die Schätzung an Messpunkt A aufgrund der höchsten Genauigkeit zu präferieren (RMSE = 14,7 kg). Weitere Untersuchungen insbesondere an trächtigen Kühen sind wünschenswert, um die Methode zu verfeinern und evtl. rasseübergreifend einsetzen zu können.
- Die Schätzung des LKXL mittels Erfassung der Serumleptinkonzentration oder der Messung der HFD ist grundsätzlich möglich, kann aber aufgrund vergleichsweise hoher Schätzfehler (RMSE \geq 36 kg bzw. $>$ 4,2 %) nicht empfohlen werden.
- Die Messung der retroperitonealen FZG ist die der subkutanen aufgrund der genaueren Schätzung des LKXL vorzuziehen. Für die Schätzung des LKXL_{kg} steht mit der BIA eine genauere, nicht invasive Methode zur Verfügung weshalb die Methode nicht präferiert werden sollte. Für die Schätzung des LKXL_% (RMSE = 2,84 %) stehen keine genaueren Methoden zur Verfügung. Hier kann die Methode nach Abwägen von Nutzen und Aufwand in der Forschung eingesetzt werden.
- Für keine der untersuchten Methoden zur Schätzung des LKXL konnte eine für einzel-tierbezogene Aussagen ausreichend hohe Genauigkeit ermittelt werden, da allein die mittlere Mobilisation von Körperfett im Laktationsverlauf nur unwesentlich über dem Niveau der Schätzfehler liegt.
- Da es bei den Beziehungen zwischen LKXL und den geprüften Methoden tendenziell Unterschiede zu Literaturdaten anderer Rassen gab, sollten Daten, die nicht an der Rasse Fleckvieh erhoben wurden, auch nicht auf die andere Rasse übertragen werden. Desweiteren wurden die vorliegenden Daten zum Körperfettgehalt und dessen Abschätzung mit den untersuchten Methoden an nicht tragenden Kühen erhoben und sind daher nicht direkt auf gravide Tiere übertragbar.

8. Zusammenfassung

Ziel der vorliegenden Arbeit war es, Kenntnisse über die Körperzusammensetzung von ausgewachsenen Fleckviehkühen zu gewinnen und verschiedene Methoden zur indirekten Schätzung des Leerkörperrohffettgehalts (LKXL) vergleichend zu validieren. Dazu wurden 30 mehrkalbige nicht tragende Fleckviehkühe, die gezielt nach ihrem Body Condition Score ausgewählt wurden, um eine Spreizung der Körperkonditionen abzudecken, geschlachtet und einer Ganzkörperanalyse unterzogen. Für die Verarbeitung wurden die Leerkörper in Fraktionen unterteilt, von denen der Gastrointestinaltrakt, die Leber, die Organe (inkl. Blut), der Nierentalg und das Euter komplett homogenisiert wurden, während von den Fraktionen Haut, Muskeln (und anhaftendes Gewebe) und Knochen nur die jeweils rechte Körperhälfte beprobt wurde. Am Tag der Schlachtung wurden folgende Methoden zur Schätzung des Leerkörperrohffettgehalts geprüft: Body Condition Score (BCS), Sonographische Messung der Rückenfettdicke an drei Messpunkten, Sonographische Messung der Muskeldicke (*Musculus longissimus dorsi*), Intramuskulärer Fettgehalt, Bioelektrische Impedanzanalyse (BIA, fünf Messpunkte), Hautfaltendicke mittels Caliper (elf Messpunkte), Fettzellgröße in retroperitonealen und subkutanem Fettgewebe sowie die Serumleptinkonzentration.

Die Lebend- und die Leerkörpermasse betragen im Mittel 736 ± 101 kg bzw. 654 ± 106 kg mit einer erheblichen Spanne von 414 – 865 kg bzw. 340 – 804 kg. Diese Werte sind vergleichsweise hoch und sind auf den Zuchtfortschritt zurückzuführen. Der Leerkörperrohffettgehalt belief sich auf $17,1 \pm 5,9$ % (2,3 – 28,9 %) bzw. 117 ± 52 kg (10 – 231 kg). Die entsprechenden Anteile für Rohprotein, Rohwasser und Rohasche bezifferten sich auf $18,6 \pm 1,9$ %, $57,9 \pm 4,7$ % und $4,7 \pm 0,4$ % bzw. 121 ± 16 kg, 386 ± 45 kg und 30 ± 4 kg. Damit waren die untersuchten Fleckviehkühe tendenziell magerer als aus früheren Studien berichtet wird wobei zu berücksichtigen ist, dass auch gezielt magere Tiere mit geprüft wurden. Die bedeutendsten Depots des LKXL waren in Übereinstimmung mit Literaturberichten die Fraktionen Muskeln, Knochen und Gastrointestinaltrakt, wobei der Anteil des LKXL aus den Knochen mit zunehmender Verfettung rückläufig war, während er bei allen anderen Depots anstieg. Die größten Veränderungen der absoluten XL-Gehalte in Abhängigkeit des LKXL fanden sich in den Fraktionen Muskeln (124 kg), Gastrointestinaltrakt (43 kg) und Nierentalg (27 kg). Die Konzentrationen der untersuchten Mineralstoffe in den Leerkörpern waren wie folgt: 37,2 g Ca/kg TM, 20,9 g P/kg TM, 5,11 g K/kg TM, 4,28 g S/kg TM, 0,95 g Mg/kg TM, 195,7 mg Fe/kg TM, 87,0 mg Zn/kg TM und 13,1 mg Cu/kg TM.

Für alle geprüften Methoden zur Schätzung des Leerkörperrohffettgehalts konnten signifikante Regressionsgleichungen hergeleitet werden, allerdings waren große Unterschiede in der Schätzgenauigkeit zu verzeichnen. Die im direkten Vergleich genaueste *in vivo* Schätzung des Leerkörperrohffettgehalts erfolgte mit der Bioelektrischen Impedanzanalyse (RMSE = 14,7 kg). Daher wird die Methode für wissenschaftliche Fragestellungen empfohlen. Die Messung der retroperitonealen Fettzellgröße lieferte ebenfalls recht genaue Schätzungen des Leerkörperrohffettgehalts

(RMSE = 21,5 kg). Da es sich um eine invasive und sehr aufwändige Methode handelt, kann keine Einsatzempfehlung ausgesprochen werden, da mit der Bioelektrischen Impedanzanalyse eine nicht invasive Methode zur Verfügung steht. Der Body Condition Score (RMSE = 28,4 kg) ermöglichte im Vergleich mit den anderen geprüften Methoden noch relativ gute Schätzungen des Leerkörperroh fettgehalts. Die Eignung dieser Methode im praktischen Fütterungsmanagement wird daher bestätigt. Die Erhebung der Lebendmasse lieferte ebenfalls ein gutes Schätzergebnis (RMSE = 23,6 kg), während die Methoden Muskeldicke (RMSE = 29,5 kg) und Intramuskulärer Fettgehalt (RMSE = 3,19 %) sich hinsichtlich ihrer Schätzgenauigkeit im Mittelfeld einordneten. Die Schätzung des Leerkörperroh fettgehalts mittels Rückenfettdicke, Serumleptinkonzentration oder Hautfaltendicke kann aufgrund der vergleichsweise hohen Schätzfehler nicht empfohlen werden (RMSE = 32,1 kg, 36,0 kg bzw. 38,2 kg). Im Rahmen der Auswertungen der vorliegenden Ergebnisse wurde auch ein enger Zusammenhang zwischen der Menge des Nierentalgs und dem Leerkörperroh fettgehalt festgestellt. Mit einem RMSE von 14,4 kg ist diese Methode die genaueste der geprüften und sollte daher präferiert werden, wenn eine Schlachtung der Kühe geplant ist. Einschränkung ist festzuhalten, dass selbst die besseren Schätzmethode für einzeltierbezogene Aussagen zu ungenau sind, da das Ausmaß der normalen Mobilisation von Körperfett im Laktationsverlauf nur unwesentlich über dem Niveau der ermittelten Schätzfehler liegt.

Von einer direkten Übertragung der Ergebnisse der vorliegenden Untersuchung auf gravide Fleckviehkühe ist abzusehen, da die Daten ausschließlich an nicht tragenden Tieren erhoben wurden. Ebenso zeigte die Einordnung der Ergebnisse in Literaturberichte, dass Angaben zum Körperfettgehalt und dessen Beziehung zu den geprüften Schätzmethode an der entsprechenden Zielspezies erhoben werden sollten. Daher ist die Erweiterung der Datenbasis für das vorliegende Tiermaterial anzustreben. Dabei sollten insbesondere die Methoden Bioelektrische Impedanzanalyse und die *in vivo* Erfassung der Nierentalgmenge zukünftig weiter entwickelt werden, da es sich um vielversprechende Methoden handelt.

9. Summary

The aim of the present work was to gain knowledge about the body composition of adult Fleckvieh cows and to validate different methods for the indirect estimation of the empty body crude fat content (LKXL). For this purpose, 30 multiparous, non-pregnant Fleckvieh cows were slaughtered and subjected to a whole-body analysis. These cows were specifically selected according to their body condition score to cover a wide range of body conditions. For processing, the empty bodies were divided into fractions, of which the gastrointestinal tract, liver, organs (including blood), kidney fat and udder were completely homogenized, while only the right half of the body was sampled from the fractions skin, muscles (and adherent tissue) and bone. On the day of slaughter, the following methods for estimating the empty body crude fat content were tested: Body Condition Score (BCS), sonographic measurement of back fat thickness at three measuring points, sonographic measurement of muscle thickness (*Musculus longissimus dorsi*), intramuscular fat content, Bioelectrical Impedance Analysis (BIA, five measuring points), skin fold thickness using a caliper (eleven measuring points), fat cell size in retroperitoneal and subcutaneous fat tissue and serum leptin concentration.

The live and empty body masses averaged 736 ± 101 kg and 654 ± 106 kg, respectively, with a considerable range of 414 – 865 kg and 340 – 804 kg respectively. These values are comparatively high and can be attributed to breeding progress. The empty body crude fat content was 17.1 ± 5.9 % (2.3 - 28.9 %) and 117 ± 52 kg (10 – 231 kg) respectively. The corresponding proportions for crude protein, crude water and crude ash were 18.6 ± 1.9 %, 57.9 ± 4.7 % and 4.7 ± 0.4 % and accordingly 121 ± 16 kg, 386 ± 45 kg and 30 ± 4 kg. Thus the Fleckvieh cows examined tend to be leaner than those reported in earlier studies, although it should be noted that lean cows were also specifically tested. The most important depots of the LKXL are, in accordance with literature reports, the fractions muscle, bone and gastrointestinal tract. The proportion of the LKXL from the bones decreased with increasing obesity, while it increased in all other depots. The largest changes in the absolute crude fat content as a function of LKXL were found in the fractions muscle (124 kg), gastrointestinal tract (43 kg) and kidney fat (27 kg). The concentrations of the examined minerals in the empty bodies were as follows: 37.2 g Ca/kg dry matter (DM), 20.9 g P/kg DM, 5.11 g K/kg DM, 4.28 g S/kg DM, 0.95 g Mg/kg DM, 195.7 mg Fe/kg DM, 87.0 mg Zn/kg DM and 13.1 mg Cu/kg DM.

Significant regression equations could be derived for all tested methods for estimating the empty body crude fat content, but there were large differences in the estimation accuracy. The most accurate *in vivo* estimation of the empty body crude fat content in a direct comparison was performed with the Bioelectric Impedance Analysis (RMSE = 14.7 kg). Therefore, the method is recommended for scientific issues. The measurement of the retroperitoneal fat cell size also provided fairly accurate estimates of the empty body crude fat content (RMSE = 21.5 kg). As this is an invasive and

very complex method, no recommendation for use can be made, as a non-invasive method is available in the form of Bioelectrical Impedance Analysis. The Body Condition Score (RMSE = 28.4 kg) allowed relatively good estimates of the empty body crude fat content compared to the other methods tested. The suitability of this method in practical feeding management is therefore confirmed. The survey of the live mass also provided a good estimation result (RMSE = 23.6 kg), while the methods muscle thickness (RMSE = 29.5 kg) and intramuscular fat content (RMSE = 3.19 %) were classified in the midfield with regard to their estimation accuracy. The estimation of the empty body crude fat content by means of back fat thickness, serum leptin concentration or skin fold thickness cannot be recommended due to the comparatively high estimation errors (RMSE = 32.1 kg, 36.0 kg and 38.2 kg respectively). In the course of the evaluation of the available results, a close correlation between the amount of kidney fat and the empty body crude fat content was also found. With an RMSE of 14.4 kg, this method is the most accurate of the tested methods and should therefore be preferred if slaughter of the cows is planned. It should be noted, however, that even the better estimation methods for individual animal-related statements are too inaccurate, since the extent of normal mobilization of body fat during lactation is only slightly above the level of the estimation errors determined.

The results of the present study should not be applied directly to pregnant Fleckvieh cows, as the data were only collected from non-pregnant animals. The classification of the results in literature reports also showed that data on body fat content and its relationship to the estimation methods tested should be collected for the corresponding target species. Therefore, the expansion of the database for the available animal material should be aimed at. In particular, the methods of Bioelectrical Impedance Analysis and the *in vivo* recording of kidney fat should be developed further in the future, as these are promising methods.

10. Literaturverzeichnis

- Agnew, R.E., Yan, T., McCaughey, W.J., McEvoy, J.D., Patterson, D.C., Porter, M.G., Steen, R.W.J. (2005): Relationships between urea dilution measurements and body weight and composition of lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.* 88: 2476-2486.
- Akter, S.H., Häussler, S., Dänicke, S., Müller, U., Von Soosten, D., Rehage, J., Sauerwein, H. (2011): Physiological and conjugated linoleic acid-induced changes of adipocyte size in different fat depots of dairy cows during early lactation. *J. Dairy Sci.*, 94: 2871-2882.
- Akter, S.H., Häussler, S., Germeroth, D., von Soosten, D., Dänicke, S., Südekum, K.H., Sauerwein, H. (2012): Immunohistochemical characterization of phagocytic immune cell infiltration into different adipose tissue depots of dairy cows during early lactation. *J. Dairy Sci.* 95: 3032-3044.
- Alonso, M.L., Benedito, J.L., Miranda, M., Castillo, C., Hernández, J., Shore, R.F. (2000): Arsenic, cadmium, lead, copper and zinc in cattle from Galicia, NW Spain. *Sci Total Environ* 246: 237-248.
- Altmann, M., Sauerwein, H., Von Borell, E. (2005): Relationship between plasma leptin concentrations and carcass composition in fattening mutton: a comparison with ultrasound results. *J. Anim. Physiol. a. Anim. Nutr.* 89: 326-330.
- Altmann, M., Sauerwein, H., Von Borell, E. (2006a): The relationships between leptin concentrations and body fat reserves in lambs are reduced by short - term fasting. *J. Anim. Physiol. a. Anim. Nutr.* 90: 407-413.
- Altmann, M., Sauerwein, H., Von Borell, E. (2006b): Plasma leptin in growing lambs as a potential predictor for carcass composition and daily gain. *Meat Sci.* 74: 600-604.
- Altmann, M., Von Borell, E. (2007): Leptin as an indicator for carcass composition in farm animals. *Anim. Sci. J.* 78: 449-459.
- Ammerman, C.B., Loaiza, J.M., Blue, W.G., Gamble, J.F., Martin, F.G. (1974): Mineral composition of tissues from beef cattle under grazing conditions in Panama. *J. Anim. Sci.* 38: 158-162.
- Andrew, S.M., Erdman, R.A., Waldo, D.R. (1994): Direct analysis of body composition of dairy cows at three physiological stages. *J. Dairy Sci.* 77, 3022-3033.
- Azzaro, G., Caccamo, M., Ferguson, J.D., Battiato, S., Farinella, G.M., Guarnera, G.C., Puglisi, G., Petriglieri, R., Licitra, G. (2011): Objective estimation of body condition score by modeling cow body shape from digital images. *J. Dairy Sci.* 94: 2126-2137.
- Bagg, J.G., Grieve, D.G., Burton, J.H., Stone, J.B. (1985): Effect of protein on growth of Holstein heifer calves from 2 to 10 months. *J. Dairy Sci.* 68: 2929-2939.
- Bartle, S.J., Preston, R.L. (1986): Plasma, rumen and urine pools in urea dilution determination of body composition in cattle. *J. Anim. Sci.* 63: 77-83.
- Bauer, J. (1990): Untersuchungen zur Anwendung der invasiven Rückenfettdickenmessung beim Rind. Dissertation Humboldt-Universität zu Berlin.
- Bellmann, O., Wegner, J., Rehfeldt, C., Teuscher, F., Schneider, F., Voigt, J., Derno, M., Sauerwein, H., Weingärtner, J., Ender, K. (2004): Beef versus dairy cattle: a comparison of metabolically relevant hormones, enzymes, and metabolites. *Livest. Prod. Sci.*, 89: 41-54.
- Bennett, K.A., Osborne, R.H. (1986): Interobserver measurement reliability in anthropometry. *Hum. Biol.* 58: 751-759.
- Berg E.P., Marchello M.J. (1994): Bioelectrical impedance analysis for the prediction of fat-free mass in lambs and lamb carcasses. *J. Anim. Sci.* 72: 322-329.
- Bewley, J.M., Peacock, A.M., Lewis, O., Boyce, R.E., Roberts, D.J., Coffey, M.P., Kenyon, S.J., Schutz, M.M. (2008): Potential for estimation of body condition scores in dairy cattle from digital images. *J. Dairy Sci.* 91: 3439-3453.
- Bewley, J.M., Boyce, R.E., Roberts, D.J., Coffey, M.P., Schutz, M.M. (2010): Comparison of two methods of assessing dairy cow body condition score. *J. Dairy Res.* 77: 95-98.

- Bidewell, C.A., Drew, J.R., Payne, J.H., Sayers, A.R., Higgins, R.J., Livesey, C.T. (2012): Case study of copper poisoning in a British dairy herd. *Vet. Rec.* 170: 464-468.
- Borkan, G.A., Hults, D.E., Gerzof, S.G., Robbins, A.H. (1985): Comparison of body composition in middle-aged and elderly males using computed tomography. *Am. J. Phys. Anthropol.* 66: 289-295.
- Brethour, J.R. (1992): The repeatability and accuracy of ultrasound in measuring backfat of cattle. *J. Anim. Sci.* 70: 1039-1044.
- Bruckmaier, R.M., Gregoretta, L., Jans, F., Faissler, D., Blum, J. W. (1998a): Longissimus dorsi muscle diameter, backfat thickness, body condition scores and skinfold values related to metabolic and endocrine traits in lactating dairy cows fed crystalline fat or free fatty acids. *J. Vet. Med. A* 45: 397-410.
- Bruckmaier, R.M., Lehmann, E., Hugi, D., Hammon, H.M., Blum, J.W. (1998b): Ultrasonic measurement of longissimus dorsi muscle and backfat, associated with metabolic and endocrine traits, during fattening of intact and castrated male cattle. *Livest. Prod. Sci.* 53, 123-134.
- Buckley, B.A., Baker, J.F., Dickerson, G.E., Jenkins, T.G. (1990): Body composition and tissue distribution from birth to 14 months for three biological types of beef heifers. *J. Anim. Sci.* 68: 3109-3123.
- Butler, W.R., Everett, R.W., Coppock, C.E. (1981): The relationships between energy balance, milk production and ovulation in postpartum Holstein cows. *J. Anim. Sci.* 53: 742-748.
- Butler-Hogg, B.W., Wood, J.D., Bines, J.A. (1985): Fat partitioning in British Friesian cows: the influence of physiological state on dissected body composition. *J. agric. Sci., Camb.* 104: 519-528.
- Cameron, N. (1978): The methods of anthropological anthropometry. In: Falkner, F., Tanner, J.M., eds. *Human growth. 2 Postnatal growth.* New York: Plenum Press, 35-90. Zitiert nach: Lukaski, H.C. (1987): Methods for the assessment of human body composition: traditional and new. *Am. J. Clin. Nutr.* 46: 537-556.
- Chang, X., Mowat, D.N., Spiers, G.A. (1992): Carcass characteristics and tissue-mineral contents of steers fed supplemental chromium. *Can. J. Anim. Sci.* 72: 663-669.
- Charles, D.D. (1974): method of estimating carcass components in cattle. *Res. Vet. Sci.* 16: 89-94. Zitiert aus: Gregory, N.G., Robins, J.K., Thomas, D.G., Purchas, R.W. (1998): Relationship between body condition score and body composition in dairy cows. *New. Zeal. J. Agr.Res.* 41: 527-532.
- Chibisa, G.E., Gozho, G.N. Van Kessel, A.G. Olkowski, A.A., Mutsvangwa T. (2008): Effects of peripartum propylene glycol supplementation on nitrogen metabolism, body composition, and gene expression for the major protein degradation pathways in skeletal muscle in dairy cows. *J. Dairy Sci.* 91: 3512-3527.
- Chilliard Y, Ferlay A, Delavaud C, Bocquier F. (1998): Plasma leptin in underfed or overfed adult Holstein and Charolais cows, and its relationship with adipose tissue cellularity. *Int. J. Obesity* 22 (Suppl 3), 171. Zitiert nach: Altmann, M., Von Borell, E. (2007): Leptin as an indicator for carcass composition in farm animals. *Anim. Sci. J.* 78: 449-459.
- Chilliard, Y., Cissé, M., Lefaiivre, R. and Rémond, B. (1991): Body composition of dairy cows according to lactation stage, somatotropin treatment, and concentrate supplementation. *J. Dairy Sci.* 74: 3103-3116.
- Chilliard, Y., Delavaud, C., Bonnet, M. (2005): Leptin expression in ruminants: nutritional and physiological regulations in relation with energy metabolism. *Domest. Anim. Endocrin.* 29: 3-22.
- Cohn, S.H., Ellis, K.J., Wallach, S. (1974): *In vivo* neutron activation analysis: clinical potential in body composition studies. *Am. J. Med.* 57: 683-686.
- Coppock, C.E. (1985): Energy nutrition and metabolism of the lactating dairy cow. *J. Dairy Sci.* 68: 3403-3410.
- Davis, H.P., Swett, W.W., Harvey, W.R. (1961): Relation of Heart Girth to Weight in Holsteins and Jerseys. *Historical Research, Bulletins of the Nebraska Agricultural Experiment Sta-*

- tion (1913-1993). 112, <http://digitalcommons.unl.edu/ardhistrb/112>, Abgerufen am 07.04.2018.
- Delavaud, C., Ferlay, A., Faulconnier, Y., Bocquier, F., Kann, G., Chilliard, Y. (2002): Plasma leptin concentration in adult cattle: effects of breed, adiposity, feeding level, and meal intake. *J. Anim. Sci.* 80: 1317-1328.
- Deutsche Landwirtschaftsgesellschaft (DLG) (1997): Futterwerttabellen: Wiederkäuer: Hrsg.: Universität Hohenheim – Dokumentationsstelle. 7., erw. und überarb. Aufl. – Frankfurt am Main, DLG-Verlag.
- Domecq, J.J., Skidmore, A.L., Lloyd, J.W., Kaneene, J. B. (1995): Validation of body condition scores with ultrasound measurements of subcutaneous fat of dairy cows. *J. Dairy Sci.* 78: 2308-2313.
- Dörhöfer, R.P. und Pirlich, M. (2007): Das B.I.A.-Kompendium 3. Ausgabe 04/2007, Data Input GmbH, Darmstadt.
- Doyle, J.J., Spaulding, J.E. (1978): Toxic and essential trace elements in meat – a review. *J. Anim. Sci.* 47 (2): 398-419.
- Durnin, J.V.G.A. Womersley, J. (1974): Body fat assessed from total body density and its estimation from skinfold thickness: measurements on 481 men and women aged from 16 to 72 years. *Br. J. Nutr.* 32: 77-97.
- Edmonson A.J., Lean, I.J., Weaver, L.D., Farver, T. und Webster, G. (1989): A body condition scoring chart for holstein dairy cows.
- Ehrhardt, R.A., Slepatis, R.M., Siegal-Willott, J., Van Amburgh, M.E., Bell, A.W., Boisclair, Y.R. (2000): Development of a specific radioimmunoassay to measure physiological changes of circulating leptin in cattle and sheep. *J. Endocrinol.* 166: 519-528.
- Ellenberger, H.B., Newlander, J.A., Jones C.H. (1950): Composition of the bodies of dairy cattle. *Univ. Vermont Agric. Exp. Stn. Bull. No. 558*, Burlington. Zitiert bei: Schulz et al., 1974.
- Ellis, K.J. (2000): Human body composition: *in vivo* methods. *Physiol. Rev.* 80: 649-680.
- Ellis, K.J. (2001): Selected body composition methods can be used in field studies. *J. Nutr.* 131: 1589S-1595S.
- Erdogan, S., Celik, S., Erdogan, Z. (2004): Seasonal and locational effects on serum, milk, liver and kidney chromium, manganese, copper, zinc, and iron concentrations of dairy cows. *Biol. Trace Elem. Res.* 98: 51-61.
- Ferguson, J.D., Galligan, D.T., Thomsen, N. (1994): Principal descriptors of body condition score in Holstein cows. *J. Dairy Sci.* 77: 2695-2703.
- Ferrell, C.L., Garrett, W.N., Hinman, N. (1976): Estimation of body Composition in pregnant and non-pregnant heifers. *J. Anim. Sci.* 42: 1158-1166.
- Ferrell, C.L., Jenkins, T.G. (1984): Relationships among various body components of mature cows. *J. Anim. Sci.* 58: 222-233.
- Fiems, L.O., Boucqué, C.V., De Brabander, D.L., Cottyn, B.G. (1995): The effect of the β -adrenergic agonist cimaterol on performance and carcass and meat quality in culled dairy cows. *Anim. Sci.* 61: 19-23.
- Fiems, L.O., Van Caelenbergh, W., Vanacker, J.M., De Campeneere S., Seynaeve, M. (2005): Prediction of empty body composition of double-muscle beef cows. *Livest. Prod. Sci.* 92: 249-259.
- Flatt, W.P., Moore, L.A., Hooven, N.W., Plowman, R.D. (1965): Energy metabolism studies with a high producing lactating dairy cow. *J. Dairy Sci.* 48: 797-798 (Abstract).
- Foster, K.R., Lukaski, H.C. (1996): Whole-body impedance – what does it measure? *Am. J. Clin. Nutr.* 64 (suppl.): 388S-396S.
- Fuller, N.J., Jebb, S.A., Goldberg, G.R., Pullicino, E., Adams, C., Cole, T.J., Elia, M. (1991): Inter-observer variability in the measurement of body composition. *Eur. J. Clin. Nutr.* 45: 43-49 (Abstract).

- Garnsworthy, P.C. (2006). Body condition score in dairy cows: targets for production and fertility. In: Recent advances in animal nutrition. P.C. Garnsworthy and J. Wiseman, ed. Nottingham University Press, Nottingham, UK, Seiten 61-86.
- Garrett, W.N., Hinman, N. (1969): Re-evaluation of the relationship between carcass density and body composition of beef steers. *J. Anim. Sci.* 28: 1-5.
- Geary, T.W., McFadin, E.L., MacNeil, M.D., Grings, E.E., Short, R.E., Funston, R.N., Keisler, D.H. (2003): Leptin as a predictor of carcass composition in beef cattle. *J. Anim. Sci.* 81: 1-8.
- Gerhardy, H. (1995): Quality of beef from commercial fattening systems in Northern Germany. *Meat Sci.* 40: 103-120.
- GfE (Gesellschaft für Ernährungsphysiologie) (1991): Leitlinien für die Bestimmung der Verdaulichkeit von Roh Nährstoffen am Wiederkäuer. *J. Anim. Phys. Anim. Nutr.*, 65: 229-235
- GfE (Gesellschaft für Ernährungsphysiologie) (2001): Empfehlungen zur Energie- und Nährstoffversorgung der Milchkühe und Aufzuchttrinder. DLG Verlag, Frankfurt am Main.
- Gibb, M.J., Ivings, W.E., Dhanoa, M.S., Sutton, J.D. (1992): Changes in body components of autumn-calving Holstein-Friesian cows over the first 29 weeks of lactation. *Anim. Prod.* 55: 339-360.
- Grace, N.D. (1983): Amounts and distribution of mineral elements associated with fleece-free empty body weight gains in the grazing sheep. *New Zeal. J. Agr. Res.*, 26(1): 59-70.
- Greiner, S.P., Rouse, G.H., Wilson, D.E., Cundiff, L.V., Wheeler, T.L. (2003): The relationship between ultrasound measurements and carcass fat thickness and longissimus muscle area in beef cattle. *J. Anim. Sci.* 81: 676-682.
- Gresham, J.D., Holloway, J.W., Butts, W.T., McCurley, J.R. (1986): Prediction of mature cow carcass composition from live animal measurements. *J. Anim. Sci.* 63: 1041-1048.
- Halachmi, I., Polak, P., Roberts, D.J., Klopčič, M. (2008): Cow body shape and automation of condition scoring. *J. Dairy Sci.* 91: 4444-4451.
- Hall, C.B., Lukaski H.C., Marchello, M.J. (1989): Estimation of rat body composition using tetrapolar bioelectrical impedance analysis. *Nutr. Rep. Int.* 39: 627-633.
- Hampe, J. (2005): Untersuchungen zur Körperzusammensetzung und zum Wachstum von Kälbern unterschiedlicher genetischer Herkunft mittels Dualenergie-Röntgenabsorptiometrie (DXA). Dissertation, Tierärztliche Fakultät der Ludwig-Maximilians-Universität München.
- Hassen, A., Wilson, D.E., Amin, V.R., Rouse, G.H., & Hays, C.L. (2001): Predicting percentage of intramuscular fat using two types of real-time ultrasound equipment. *J. Anim. Sci.* 79: 11-18.
- Hassen, A., Wilson, D.E., Willham, R.L., Rouse, G.H., Trenkle, A.H. (1998): Evaluation of ultrasound measurements of fat thickness and longissimus muscle area in feedlot cattle: Assessment of accuracy and repeatability. *Can. J. Anim. Sci.* 78: 277-285.
- Heinrichs, A.J., Rogers, G.W., Cooper, J.B. (1992): Predicting body weight and wither height in Holstein heifers using body measurements. *J. Dairy Sci.* 75: 3576-3581.
- Hernández-Castellano, L.E., Hernandez, L.L., Sauerwein, H., Bruckmaier, R.M. (2017): Endocrine and metabolic changes in transition dairy cows are affected by prepartum infusions of a serotonin precursor. *J. Dairy Sci.* 100: 5050-5057.
- Higashiyama, Y., Abe, H., Hayashi, M., Hodate, K. (2003): The comparison of plasma level and mRNA expression of leptin from Japanese Black steers and Holstein steers. *Livest. Prod. Sci.* 81: 247-255.
- Hocquette, J.F., Gondret, F., Baéza, E., Médale, F., Jurie, C., Pethick, D.W. (2010): Intramuscular fat content in meat-producing animals: development, genetic and nutritional control, and identification of putative markers. *Animal* 4: 303-319.
- Hood, R.L. (1982): Relationships among growth, adipose cell size, and lipid metabolism in ruminant adipose tissue. *Fed. Proc.* 41: 2555-2561 (Abstract)

- Houghton, P.L., Turlington, L.M. (1992): Application of ultrasound for feeding and finishing animals: A review. *J. Anim. Sci* 70: 930-941.
- Jackson, A.S., Pollock, M.L. (1978): Generalized equations for predicting body density of men. *Br. J. Nutr.* 40: 497-504.
- Jackson, A.S., Pollock, M.L., Ward, A. (1980): Generalized equations for predicting body density of women. *Med. Sci. Sport. Exer.* 12: 175-182.
- Jenkins, T.G., Ferrell, C.L. (1997): Changes in proportions of empty body depots and constituents for nine breeds of cattle under various feed availabilities. *J. Anim. Sci.* 75: 95-104.
- Jenkins, T.G., Leymaster, K.A., Turlington, L.M. (1988): Estimation of fat-free soft tissue in lamb carcasses by use of carcass and resistive impedance measurements. *J. Anim. Sci.* 66: 2174-2179.
- Jilg, T., Weinberg, L. (1998): Konditionsbewertung: Jetzt auch beim Fleckvieh. *Top Agrar* 6: 12-15.
- Johnson, E.R., Davis, C.B. (1983): A caliper for determining carcass composition in live cattle and skin-on carcass. *Aust. J. Agr. Res.* 34: 825-832 (Abstract).
- Kempster, A.J. (1981): Fat partition and distribution in the carcasses of cattle, sheep and pigs: a review. *Meat Sci.* 5: 83-98.
- Kenéz, Á., Kulcsár, A., Kluge, F., Benbelkacem, I., Hansen, K., Locher, L., Huber, K. (2015): Changes of adipose tissue morphology and composition during late pregnancy and early lactation in dairy cows. *Plos One*, 10: e0127208.
- Kirchgessner, M., Heindl, U., Schwarz, F.J. (1994): Gehalte und Ansatz von Spurenelementen in Geweben und Ganzkörper von wachsenden Jungbullen der Rasse Fleckvieh. *J. Anim. Physiol. a. Anim. Nutr.* 72: 260-271.
- Kirchgeßner, M., Neeße, K.R. (1976): Kupfer-, Mangan- und Zinkgehalte im Ganzkörper und einzelnen Teilstücken unterschiedlich schwerer Mastkälber. *Z. Lebensm. Unters.-Forsch.* 161: 1-6.
- Kirton, A.H., Feist, C.L., Duganzich, D.M., Jordan, R.B., O'Donnell, K.P., Woods, E.G. (1987): Use of the hennessy grading probe (GP) for predicting the meat, fat and bone yields of beef carcasses. *Meat Sci.* 20: 51-63.
- Klawuhn, D. (1992): Vergleich der Rückenfettdicke mit dem über die Gesamtkörperwasserbestimmung ermittelten Körperfettgehalt bei Rindern. Dissertation, Veterinärmedizinische Fakultät der Humboldt-Universität zu Berlin.
- Klawuhn, D., Staufenbiel, R. (1997): Aussagekraft der Rückenfettdicke zum Körperfettgehalt beim Rind. *Tierärztl. Prax.* 25: 133-138.
- Koch, R.M., Dikeman, M.E., Allen, D.M., May, M., Crouse, J.D., Champion, D.R. (1976): Characterization of biological types of cattle III. Carcass composition, quality and palatability. *J. Anim. Sci.* 43: 48-62.
- Komaragiri, M.V.S., Casper, D.P., Erdman, R.A. (1998): Factors Affecting Body Tissue Mobilization in Early Lactation Dairy Cows. 2. Effect of Dietary Fat on Mobilization of Body Fat and Protein. *J. Dairy Sci.* 81: 169-175.
- Komaragiri, M.V.S., Erdman, R.A. (1997): Factors Affecting Body Tissue Mobilization in Early Lactation Dairy Cows. 1. Effect of Dietary Protein on Mobilization of Body Fat and Protein. *J. Dairy Sci.* 80: 929-937.
- Kulcsár, M. (2007): Clinical endocrinology of leptin in ruminants. Dissertation, Szent-István-Universität, Budapest.
- Kushner, R.F. (1992). Bioelectrical impedance analysis: a review of principles and applications. *J. Am. Coll. Nutr.* 11: 199-209.
- Kyle, U.G., Bosaeus, I., De Lorenzo, A.D., Deurenberg, P., Elia, M., Gómez, J.M., Scharfetter, H. (2004): Bioelectrical impedance analysis - part I: review of principles and methods. *Clin. Nutr.* 23: 1226-1243.

- Laurenz, J.C., Byers, F.M., Schelling, G.T., Greene, L.W. (1992): Periodic changes in body composition and in priorities for tissue storage and retrieval in mature beef cows. *J. Anim. Sci.* 70: 1950-1956.
- Liefers, S.C., Veerkamp, R.F., Te Pas, M.F.W., Delavaud, C., Chilliard, Y., Van der Lende, T. (2003): Leptin concentrations in relation to energy balance, milk yield, intake, live weight, and estrus in dairy cows. *J. Dairy Sci.* 86: 799-807.
- Lister, D. [ed.] (1984): *In vivo* measurement of body composition in meat animals. Elsevier applied science publishers, London and New York.
- Little, D.A., McLean, R.W. (1981): Estimation of the body chemical composition of live cattle varying widely in fat content. *J. Agric. Sci.* 96: 213-220.
- Littledike, E.T., Wittum, T.E., Jenkins, T.G. (1995): Effect of breed, intake, and carcass composition on the status of several macro and trace minerals of adult beef cattle. *J. Anim. Sci.* 73: 2113-2119.
- Locher, L., Häussler, S., Laubenthal, L., Singh, S.P., Winkler, J., Kinoshita, A., Dänicke, S. (2015): Effect of increasing body condition on key regulators of fat metabolism in subcutaneous adipose tissue depot and circulation of nonlactating dairy cows. *J. Dairy Sci.* 98: 1057-1068.
- Locher, L.F., Meyer, N., Weber, E.M., Rehage, J., Meyer, U., Dänicke, S., Huber, K. (2011): Hormone-sensitive lipase protein expression and extent of phosphorylation in subcutaneous and retroperitoneal adipose tissues in the periparturient dairy cow. *J. Dairy Sci.* 94: 4514-4523.
- Locher, L.F., Rehage, J., Khraim, N., Meyer, U., Dänicke, S., Hansen, K., Huber, K. (2012): Lipolysis in early lactation is associated with an increase in phosphorylation of adenosine monophosphate-activated protein kinase (AMPK) α 1 in adipose tissue of dairy cows. *J. Dairy Sci.* 95: 2497-2504.
- Löffler, K. (2002). *Anatomie und Physiologie der Haustiere*. 10. Auflage. Stuttgart: Eugen Ulmer, S. 202.
- Looper, M.L., Reiter, S.T., Williamson, B.C., Sales, M.A., Hallford, D.M., Rosenkrans, C.F. (2010): Effects of body condition on measures of intramuscular and rump fat, endocrine factors, and calving rate of beef cows grazing common bermudagrass or endophyte-infected tall fescue. *J. Anim. Sci.* 88: 4133-4141.
- Lowman, B.G., Scott, N.A., Somerville, S.H. (1976): Condition scoring of cattle. In: East of Scotland College of Agriculture, Edinburgh, Scotland.
- Lukaski, H.C. (1987): Methods for the assessment of human body composition: traditional and new. *Am. J. Clin. Nutr.* 46: 537-556.
- Lukaski, H.C. (1996): Biological indexes considered in the derivation of the bioelectrical impedance analysis. *Am. J. Clin. Nutr.* 64 (suppl.): 397S-404S.
- Mann, S., Urh, C., Sauerwein, H., Wakshlag, J.J., Yepes, F.L., Overton, T.R., Nydam, D.V. (2018): The association of adiponectin and leptin concentrations with prepartum dietary energy supply, parity, body condition, and postpartum hyperketonemia in transition dairy cows. *J. Dairy Sci.* 101: 806-811.
- Marchello, M.J., Berg, P.T., Swantek, P.M., Tilton, J.E. (1999): Predicting live and carcass lean using bioelectrical impedance technology in pigs. *Livest. Prod. Sci.*, 58: 151-157.
- Marchello, M.J., Slinger, W.D. (1994): Bioelectrical impedance can predict skeletal muscle and fat-free skeletal muscle of beef cows and their carcasses. *J. Anim. Sci.* 72: 3118-3123.
- Martin, R.A., Ehle, F.R. (1986): Body composition of lactating and dry Holstein cows estimated by deuterium dilution. *J. Dairy Sci.* 69: 88-98.
- Matulis, R.J., McKeith, F.K., Faulkner, D.B., Berger, L.L., George, P. (1987): Growth and carcass characteristics of cull cows after different times-on-feed. *J. Anim. Sci.* 65: 669-674.
- McWilliams, S.R., Whitman, M. (2013): Non-destructive techniques to assess body composition of birds: a review and validation study. *J. Ornithol.* 154: 597-618.

- Mitchell, A.D., Scholz, A.M., Wang, P.C., Song, H. (2001): Body composition analysis of the pig by magnetic resonance imaging. *J. Anim. Sci.* 79: 1800-1813.
- Moe, P.W., Tyrrell, H.F. und Flatt, W.P. (1971): Energetics of body tissue mobilization. *J. Dairy Sci.* 54: 548-553.
- Mulvany, P. (1977): Dairy cow condition scoring. In: National Institute for Research in Dairying Paper No 4468, Shinfield, Reading, UK.
- Nelsen, T.C., Short, R.E., Reynolds, W.L., Urick, J.J. (1985): Palpated and visually assigned condition scores compared with weight, height and heart girth in Hereford and crossbred cows. *J. Anim. Sci.* 60: 363-368 (Abstract).
- Nicholson, M.J., Little, D.A. (1988): Skinfold thickness, condition score and tritiated water space in Boran cattle. *ILCA Bulletin No. 30*, April 1988. ILCA, Addis Ababa, Ethiopia. URL: https://cgspace.cgiar.org/bitstream/handle/10568/4593/Skinfold_thickness_30.pdf?sequence=1 (01.11.2017)
- Odwongo, W.O., Conrad, H.R., Staubus, A.E. (1984): The use of deuterium oxide for the prediction of body composition in live dairy cattle. *J. Nutr.* 114: 2127-2137.
- Otto, K.L., Ferguson, J.D., Fox, D.G., Sniffen, C.J. (1991): Relationship Between Body Condition Score and Composition of Ninth to Eleventh Rib Tissue in Holstein Dairy Cows. *J. Dairy Sci.* 74: 852-859.
- Perkins, T.L., Green, R.D., Hamlin, K.E., Shepard, H.H., Miller, M.F. (1992): Ultrasonic prediction of carcass merit in beef cattle: evaluation of technician effects on ultrasonic estimates of carcass fat thickness and longissimus muscle area. *J. Anim. Sci.* 70: 2758-2765.
- Pond, C.M. (1986): The natural history of adipocytes. *Sci. Prog.* 70: 45-71.
- Pond, C.M., Mattacks, C.A. (1985): Body mass and natural diet as determinants of the number and volume of adipocytes in eutherian mammals. *J. Morphol.* 185: 183-193.
- Pothmann, H., Erlen, A., Pichler, M., Huber, J., Drillich, M. (2015): Korrelation und Vergleich der Wiederholbarkeit von Body Condition Scoring und Rückenfettdicken-Messung unterschiedlicher Untersucher bei Milchkühen. *Berl. Münch. Tierärztl. Wochenschr.* 128: 319-325.
- Raschka, C., Ruda, L., Wenning, P., von Stemm, C.I., Pfarrer, C., Huber, K., Meyer, U., Dänicke, S., Rehage, J. (2016): *In vivo* determination of subcutaneous and abdominal adipose tissue depots in German Holstein dairy cattle. *J. Anim. Sci.* 94: 2821-2834.
- Reichardt, W., Warzecha, H., Wassmuth, R. (2006): Der intramuskuläre Fettgehalt, sein Fettsäurenmuster und der Hämipigmentgehalt im Musculus longissimus dorsi von Rindern in Abhängigkeit von Rassetyp, Geschlecht und Mastform. URL: www.tll.de/ainfo/pdf/rind0105.pdf (26.05. 2009).
- Reid, J.T., Robb, J. (1971): Relationship of body composition to energy intake and energetic efficiency. *J. Dairy Sci.* 54: 553-564.
- Reid, J.T., Wellington, G.H.; Dunn, H.O. (1955): Some relationships among the major chemical components of the bovine body and their application to nutritional investigations. *J. Dairy Sci.* 38, 1344-1359.
- Reist, M., Erdin, D., von Euw, D., Tschuemperlin, K., Leuenberger, H., Delavaud, C., Chilliard, Y., Hammon, H.M., Kuenzi, N., Blum, J.W. (2003): Concentrate Feeding Strategy in Lactating Dairy Cows: Metabolic and Endocrine Changes with Emphasis on Leptin. *J. Dairy Sci.* 86: 1690-1706.
- Rémond, B., Robelin, J., Chilliard, Y. (1988): Estimation de la teneur en lipides des vaches laitières Pie Noires par la méthode de notation de l'état d'engraissement. *INRA Prod. Anim.* 1 (2): 111-114.
- Ribeiro, F.R.B., Tedeschi, L.O. (2012): Using real-time ultrasound and carcass measurements to estimate total internal fat in beef cattle over different breed types and managements. *J. Anim. Sci.* 90: 3259-3265.
- Ribeiro, F.R.B., Tedeschi, L.O., Stouffer, J.R., Carstens, G.E. (2008): A novel technique to assess internal body fat of cattle by using real-time ultrasound. *J. Anim. Sci.* 86: 763-767.

- Rieckhoff, T. (1992): Aussage der Gesamtkörperwasserbestimmung und der Rückenfettdickenmessung zum Körperfettgehalt der Milchkuh. Dissertation, Veterinärmedizinische Fakultät der Humboldt-Universität zu Berlin.
- Robelin, J. (1982): A note on the estimation *in vivo* of body fat in cows using deuterium oxide or adipose-cell size. *Anim. Prod.*, 34 (03): 347-350.
- Robelin, J., Agabriel, J., Malterre, C., Bonnemaire, J. (1990): Changes in body composition of mature dry cows of Holstein, Limousin and Charolais breeds during fattening. I. Skeleton, muscles, fatty tissues and offal. *Livest. Prod. Sci.* 25: 199-215.
- Robelin, J., Chilliard, Y., Agabriel, J. (1989): Estimation of body lipids and proteins of Holstein Charolaise and Limousine cows by dilution technique and adipose cell size. In 11. Symposium on Energy Metabolism of Farm Animals, Lunteren (Netherlands), 18-24 Sep 1988. Pudoc.
- Robinson, D.L., McDonald, C.A., Hammond, K., Turner, J.W. (1992): Live animal measurement of carcass traits by ultrasound: assessment and accuracy of sonographers. *J. Anim. Sci.* 70: 1667-1676.
- Roche, J.R., Dillon, P.G., Stockdale, C.R., Baumgard, L.H., VanBaale, M.J. (2004): Relationships Among International Body Condition Scoring Systems. *J. Dairy Sci.* 87: 3076-3079.
- Roche, J.R., Friggens, N.C., Kay, J.K., Fisher, M.W., Stafford, K.J., Berry, D.P. (2009): Invited review: Body condition score and its association with dairy cow productivity, health, and welfare. *J. Dairy Sci.* 92: 5769-5801.
- Röhrmoser, G., Kirchgessner, M. (1982): Milchleistung und Milchinhaltsstoffe von Kühen bei energetischer Unterversorgung und anschließender Realimentation. *Züchtungskunde*, 54: 276-287.
- Russel, A.J.F., Doney, J.M., Gunn, R.G. (1971): The distribution of chemical fat in the bodies of Scottish Blackface ewes. *Anim. Prod.* 13 (3): 503-509.
- Saremi B., Winand S., Friedrichs P., Kinoshita A., Rehage J., Dänicke, S., Häussler, S., Breves, G., Mielenz, M., Sauerwein, H. (2014): Longitudinal profiling of the tissue-specific expression of genes related with insulin sensitivity in dairy cows during lactation focusing on different fat depots. *PLoS ONE* 9(1): e86211. doi:10.1371/journal.pone.0086211
- Sauerwein, H., Heintges, U., Hennies, M., Selhorst, T., Daxenberger, A. (2004): Growth hormone induced alterations of leptin serum concentrations in dairy cows as measured by a novel enzyme immunoassay. *Livest. Prod. Sci.* 87: 189-195.
- Schäff, C.T., Pliquett, U., Tuchscherer, A., Pfuhl, R., Görs, S., Metges, C.C., Hammon, H.M., Kröger-Koch, C. (2017): Evaluation of electrical broad bandwidth impedance spectroscopy as a tool for body composition measurement in cows in comparison with body measurements and the deuterium oxide dilution method. *J. Anim. Sci.* 95: 2041-2051.
- Schneider, S., Bellof, G., Preißinger, W., Spiekers, H., Hitzlsperger, L. (2005): Die Aussagefähigkeit und der Einsatz der Rückenfettdickenmessung mittels Ultraschall bei Milchkühen der Rasse Fleckvieh. In: Forum angewandte Forschung in der Rinder- und Schweinefütterung, Fulda 2005, Herausgeber: Verband der Landwirtschaftskammern Bonn, 85-90.
- Schröder, U.J. (2000): Untersuchungen zur Konditionsbeurteilung mittels ultrasonografischer Messung der Rückenfettdicke als Grundlage zur Anwendung in der Bestandsbetreuung von Milchviehherden. Dissertation, Freie Universität Berlin.
- Schröder, U.J. und Staufenbiel, R. (2006): Invited Review: Methods to determine body fat reserves in the dairy cow with special regard to ultrasonographic measurement of backfat thickness. *J. Dairy Sci.*, 89:1-14.
- Schulz, E., Oslage, H.J., Daenicke, R. (1974): Untersuchungen über die Zusammensetzung der Körpersubstanz sowie den Stoff- und Energieansatz bei wachsenden Mastbullen. *Fortschritte in der Tierphysiologie und Tierernährung (Beihefte zur Zeitschrift für Tierphysiologie, Tierernährung und Futtermittelkunde)*, 4: 1-70

- Schwarz, F.J., Heindl, U., Kirchgessner, M. (1995): Gehalte und Ansatz von Mengenelementen in Geweben und im Ganzkörper von wachsenden Jungbullen der Rasse Fleckvieh. *Arch. Anim. Nutr.* 48: 183-199.
- Scott, I., Selman, C., Mitchell, P. (2001): The use of total body electrical conductivity (TOBEC) to determine body composition. In: Speakman J.R. (ed) *Body composition analysis of animals: A handbook of non-destructive methods*. Cambridge University Press, Cambridge, S. 127–160.
- Smith, T.H., McNamara, J.P. (1990): Regulation of bovine adipose tissue metabolism during lactation. 6. Cellularity and hormone-sensitive lipase activity as affected by genetic merit and energy intake. *J. Dairy Sci.* 73: 772-783.
- Somervaille, A.J., Eveleigh, C.S., Thwaites, C.J. (1986): Accuracy, repeatability and reproducibility of the anal fold measurement for predicting carcass backfat depth in cattle. *Livest. Prod. Sci.* 15: 103-106.
- Spiekers, H., Steinke, K., Steyer, M., Obermaier, A., Ettle, T. (2008): Beurteilung der Körperkondition bei Fleckviehkühen. 120. VDLUFA-Kongress Jena, VDLUFA-Schriftenreihe 64, 205 – 213.
- Standish, J.F., Ammerman, C.B., Palmer, A.Z., Simpson, C.F. (1971): Influence of dietary iron and phosphorus on performance, tissue mineral composition and mineral absorption in steers. *J. Anim. Sci.* 33: 171-178.
- Standish, J.F., Ammerman, C.B., Simpson, C.F., Neal, F.C., Palmer, A.Z. (1969): Influence of graded levels of dietary iron, as ferrous sulfate, on performance and tissue mineral composition of steers. *J. Anim. Sci.* 29: 496-503.
- Statistisches Bundesamt (2018): Land und Forstwirtschaft, Fischerei – Viehbestand. Fachserie 3 Reihe 4.1, Artikelnummer: 2030410185314.
- Staufenbiel, R. (1992): Energie- und Fettstoffwechsel des Rindes – Untersuchungskonzept und Messung der Rückenfettdicke. *Mh. Vet.-Med.* 47: 467-474
- Staufenbiel, R. (1997): Konditionsbeurteilung von Milchkühen mit Hilfe der sonographischen Rückenfettdickenmessung. *Prakt. Tierarzt coll. vet.* 27: 87-92.
- Staufenbiel, R., Rossow, N., Staufenbiel, B., Bauer, J. (1990): Untersuchungsgrößen des Energie- und Fettstoffwechsels beim Rind. Symposiumsbericht Energie und Fettstoffwechsel der Milchkuh, Humboldt-Universität Berlin, Vet. Med. Fakultät, 23. und 24.10.1990, 26.
- Staufenbiel, R., Staufenbiel, B., Rossow, N., Wiedemann, F. (1993): Energie- und Fettstoffwechsel des Rindes - Vergleich der Aussage der Rückenfettdicke mit anderen Untersuchungsgrößen. *Mh. Vet. Med.* 48: 167-174.
- Steyer, M., Ettle, T., Rodehutsord, M., Spiekers, H. (2011): Zur Methodik und Aussagekraft der Rückenfettdickenmessung (RFD). In: *Forum angewandte Forschung in der Rinder- und Schweinefütterung, Fulda 2011*, Herausgeber: Verband der Landwirtschaftskammern, Bonn, 32-35.
- Susenbeth, A. (1984): Berechnung der Körperzusammensetzung von Schweinen aus dem mit Hilfe von D2O bestimmten Körperwasser. Dissertation Universität Hohenheim.
- Susenbeth, A. (2018): Der Energiebedarf von Milchkühen heutiger Rassen. In: *Tagungsband Abschlussveranstaltung Verbundprojekt optiKuh 30.-31.01.2018*. LfL Schriftenreihe 2/2018, Herausgeber: Spiekers, H., Hertel-Böhnke, P., Meyer, U..
- Swantek, P.M., Crenshaw, J.D., Marchello, M.J., Lukaski, H.C. (1992): Bioelectrical impedance: a nondestructive method to determine fat-free mass of live market swine and pork carcasses. *J. Anim. Sci.* 70: 169-177.
- Swantek, P.M., Marchello, M.J., Tilton, J.E., Crenshaw, J.D. (1999): Prediction of fat-free mass of pigs from 50 to 130 kilograms live weight. *J. Anim. Sci.* 77: 893-897.
- Thompson B.C., Thomas B.J., Ward L.C. und Sillence M.N (1997): Evaluation of multifrequency bioelectrical impedance data for predicting lean tissue mass in beef cattle. *Aust. J. Exp. Agr.*, 37:743-749.

- Thompson, W.R., Theuninck, D.H., Meiske, J.C., Goodrich, R.D., Rust, J.R., Byers, F.M. (1983): Linear measurements and visual appraisal as estimators of percentage empty body fat of beef cows. *J. Anim. Sci.* 56: 755-760.
- Tulloh, N.M. (1961a): Variations in the skin and skin-fold thickness of beef cattle. *Aust. J. Agr. Res.* 12: 992-1004.
- Tulloh, N.M. (1961b): Skin and skinfold thickness in relation to depth of subcutaneous fat in beef cattle. *Aust. J. Exp. Agr.* 1: 27-28.
- Tuma, H.J., Henrickson, R.L., Stephens, D.F., Moore, R. (1962): Influence of marbling and animal age on factors associated with beef quality. *J. Anim. Sci.* 21: 848-851.
- Van Marken Lichtenbelt, W.D., Westerterp, K.R., Wouters, L., Luijendijk, S.C.M. (1994): Validation of bioelectrical-impedance measurements as a method to estimate body-water compartments. *Am. J. Clin. Nutr.* 60: 159-166.
- Verband deutscher landwirtschaftlicher Untersuchungs- und Forschungsanstalten (VDLUFA) 2012: VDLUFA-Methodenbuch, Bd. III. Die Chemische Untersuchung von Futtermitteln. 8. Erg. 2012: VDLUFA-Verlag, Darmstadt.
- Vestergaard, M., Madsen, N.T., Bligaard, H.B., Bredahl, L., Rasmussen, P.T., Andersen, H.R. (2007): Consequences of two or four months of finishing feeding of culled dry dairy cows on carcass characteristics and technological and sensory meat quality. *Meat Sci.* 76: 635-643.
- Von Soosten, D., Meyer, U., Piechotta, M., Flachowsky, G., Dänicke, S. (2012): Effect of conjugated linoleic acid supplementation on body composition, body fat mobilisation, protein accretion, and energy utilization in early lactation dairy cows. *J. Dairy Sci.* 95, 1222-1239.
- Von Soosten, D., Meyer, U., Weber, E.M., Rehage, J., Flachowsky, G., Dänicke, S. (2011): Effect of trans-10, cis-12 conjugated linoleic acid on performance, adipose depot weights, and liver weight in early-lactation dairy cows. *J. Dairy Sci.* 94: 2859-2870.
- Waltner, S.S., McNamara, J.P., Hillers, J.K., Brown, D.L. (1994): Validation of indirect measures of body fat in lactating cows. *J. Dairy Sci.* 77: 2570-2579.
- Wappler, O. (1997): Vergleichende Untersuchungen zur Aussage des Harnstoffverteilungsraumes, der Lebendmasse und der Rückenfettdicke zum Körperfettgehalt der Milchkuh. Dissertation, Freie Universität Berlin.
- Weber, A., Salau, J., Haas, J.H., Junge, W., Bauer, U., Harms, J., Suhr, O., Schönrock, K., Rothfuß, H., Bielecki, S., Thaller, G. (2014): Estimation of backfat thickness using extracted traits from an automatic 3D optical system in lactating Holstein-Friesian cows. *Livest. Sci.* 165: 129-137.
- Wiedemann, F. (1989): Untersuchungen zur Rückenfettdicke und dem über das Gesamtkörperwasser bestimmten Körperfettgehalt bei weiblichen Jungrindern und Jungkühen. Dissertation, Agrarwissenschaftliche Fakultät der Humboldt-Universität zu Berlin.
- Wildman, E.E., Jones, G.M., Wagner, P.E., Boman, R.L., Troutt Jr, H.F., Lesch, T.N. (1982): A dairy cow body condition scoring system and its relationship to selected production characteristics. *J. Dairy Sci.* 65: 495-501.
- Williams, C.B., Jenkins, T.G. (1997): Predicting empty body composition and composition of empty body weight changes in mature cattle. *Agricultural Systems* 53: 1-25.
- Wright, I.A., Russel, A.J.F. (1984a): Partition of fat, body composition and body condition score in mature cows. *Anim. Prod.* 38: 23-32.
- Wright, I.A., Russel, A.J.F. (1984b): Estimation *in vivo* of the chemical composition of the bodies of mature cows. *Anim. Prod.* 38: 33-44.
- Yamada, T., Kawakami, S.I., Nakanishi, N. (2003): The relationship between plasma leptin concentrations and the distribution of body fat in crossbred steers. *Anim. Sci. J.* 74: 95-100.
- Yan, T., Mayne, C.S., Patterson, D.C., Agnew, R.E. (2009): Prediction of body weight and empty body composition using body size measurements in lactating dairy cows. *Livest. Sci.* 124: 233-241.

- Yang, X.J., Albrecht, E., Ender, K., Zhao, R.Q., Wegner, J. (2006): Computer image analysis of intramuscular adipocytes and marbling in the longissimus muscle of cattle. *J. Anim. Sci.* 84: 3251-3258.
- Zollinger, B.L., Farrow, R.L., Lawrence, T.E., Latman, N.S. (2010): Prediction of beef carcass saleable yield and trimmable fat using bioelectrical impedance analysis. *Meat Sci.* 84: 449-454.

11. Anhang

Tabelle A-1: Überblick über wesentliche Kenndaten der 30 Kühe am Tag der Schlachtung

Kuh	Laktations- nummer	Laktations- tag	Milch- leistung (kg)*	Alter zur Schlachtung (Jahre)	Gen- Anteil Fleckvieh (%)**	Lebend- masse (kg)	BCS	Abgangsursache
32	6	91	8.123	7,7	100	788	4,50	Unfruchtbarkeit
62	3	524	8.622	6,0	98	809	4,25	Unfruchtbarkeit
68	4	223	8.014	6,6	97	690	3,75	Milchleistung
109	3	290	8.088	5,5	97	708	3,50	Fundamente
117	3	276	8.665	5,7	100	748	4,00	Melkbarkeit
125	4	61	8.999	5,7	98	708	3,00	Abort/Totgeburt
127	4	189	10.615	6,4	95	864	5,00	Abort/Totgeburt
180	3	251	9.015	5,1	95	819	4,00	Melkbarkeit
192	3	94	8.336	4,6	90	798	3,25	Milchleistung
200	2	368	8.944	4,7	95	733	3,50	Unfruchtbarkeit
208	2	-	4.592	4,3	97	826	4,50	Milchleistung
209	2	-		4,4	98	869	4,25	Unfruchtbarkeit
210	3	53	7.194	4,7	100	751	4,25	Zellzahlen
217	2	-	5.890	4,5	95	762	4,25	Milchleistung
230	2	156		4,2	100	769	4,00	Zellzahlen
236	2	-	6.171	3,5	96	737	4,25	Abort/Totgeburt
243	2	159	7.431	4,2	92	630	2,50	Fundamente
245	3	52	7.343	4,3	97	723	3,75	Abort/Totgeburt
288	2	143	7.611	3,8	100	705	3,75	Milchleistung
298	2	78	8.412	3,6	96	817	4,25	Abort/Totgeburt
345	2	-	7.844	3,7	93	583	3,00	Melkbarkeit
368	2	-		7,1	88	416	1,75	Milchleistung
383	8	-	9.256	11,6	97	862	4,50	Abort/Totgeburt
416	3	401	7.267	4,6	98	616	3,25	Abort/Totgeburt
462	2	-	9.112	4,2	96	777	3,75	Milchleistung
463	2	326	8.500	4,2	94	836	3,75	Milchleistung
512	8	56	7.172	9,8	100	802	3,75	Fundamente
751	6	156	8.383	7,8	97	846	4,25	Unfruchtbarkeit
894	5	239	8.758	7,7	100	672	3,25	Melkbarkeit
904	5	115		7,4	84	586	2,00	Fundamente

* mittlere Lebensjahresleistung (LKV-Daten), ** LKV Bayern

Tabelle A-2: Übersicht über die Lebendmasse und Leerkörpermasse (LKM) sowie die chemische Zusammensetzung der Leerkörper der Einzeltiere

Kuh	Lebendmasse	Leerkörpermasse	Rohfett (% LKM)	Rohfett (kg)	Rohprotein (% LKM)	Rohprotein (kg)	Rohwasser (% LKM)	Rohwasser (kg)	Rohasche (% LKM)	Rohasche (kg)
32	784	688	22,8	157,1	17,3	119,3	55,7	383,1	4,1	28,3
62	807	742	21,2	157,0	17,9	133,1	56,4	418,3	4,4	32,9
68	677	580	15,7	91,2	18,9	109,9	60,3	349,7	5,1	29,5
109	705	613	13,4	82,3	19,2	117,8	62,4	382,8	5,0	30,5
117	736	654	15,8	103,5	18,2	119,0	61,6	402,4	4,4	28,7
125	707	607	7,7	46,6	20,1	122,0	67,3	408,6	4,9	29,7
127	860	800	28,9	231,4	16,4	131,3	50,7	406,0	3,9	31,3
180	811	729	22,1	161,2	17,8	129,7	55,8	406,4	4,2	30,8
192	798	703	17,7	124,3	18,1	127,4	59,3	416,9	4,8	33,6
200	732	634	14,0	88,4	19,3	122,6	61,9	392,0	4,8	30,7
208	818	743	22,7	168,6	18,4	136,6	54,4	404,4	4,5	33,6
209	865	804	25,4	204,0	16,8	134,7	52,8	424,3	5,1	40,9
210	746	651	13,4	87,2	19,2	124,9	63,0	409,8	4,4	28,6
217	757	693	19,6	135,6	18,1	125,5	57,7	399,5	4,6	32,0
230	757	667	14,1	93,8	19,3	128,7	61,5	410,1	5,2	34,4
236	736	654	23,1	151,2	18,0	117,7	54,0	353,1	4,9	32,3
243	625	564	12,0	67,7	19,7	111,2	63,6	358,7	4,6	26,0
245	714	637	15,9	101,4	18,4	117,4	61,0	389,0	4,6	29,2
288	697	621	14,5	89,9	18,7	116,3	62,2	386,2	4,5	28,0
298	811	749	22,1	165,7	17,9	133,8	56,2	420,8	3,8	28,3
345	577	513	12,2	62,6	19,8	101,5	62,5	320,3	5,5	28,0
368	414	340	7,6	25,9	20,9	71,1	66,5	225,9	4,8	16,4
383	855	785	21,0	165,1	18,9	148,7	55,5	435,5	4,5	35,2
416	608	545	13,4	73,1	18,8	102,5	62,9	343,1	4,8	26,2
462	768	675	22,6	152,4	17,3	116,7	56,0	377,8	4,2	28,1
463	830	757	22,3	168,7	18,1	137,1	55,1	416,7	4,5	33,9
512	798	710	13,5	95,7	18,6	132,3	63,2	448,6	4,7	33,5
751	836	740	21,0	155,1	17,6	130,3	57,0	421,8	4,4	32,6
894	672	602	13,5	81,6	19,1	115,2	62,4	375,9	4,9	29,4
904	577	425	2,3	9,8	20,3	86,3	71,7	305,0	5,6	23,8

Tabelle A-3: Übersicht über die chemische Zusammensetzung und die Mineralstoffgehalte der Fraktion Muskeln der Einzeltiere

Kuh	Gewicht	XL	XP	XA	TM	g/kg TM						mg/kg TM						Fe	Zn	Cu	S	Mg	K	P	Ca	Zn	Fe	Zn
						Ca	P	K	Mg	S	Cu	Fe	Zn	Ca	P	K	Mg											
32	377	26,0	17,6	0,73	443	0,24	3,23	5,71	0,42	4,11	9,99	108	91	40,9	540	956	70,0	687	1,671	18,053	15,294							
62	417	20,2	18,4	0,70	393	0,32	4,02	7,34	0,52	5,01	8,88	115	133	51,7	659	1,202	85,3	820	1,455	18,890	21,825							
68	299	17,2	19,2	0,87	373	0,50	4,29	7,56	0,57	5,31	12,65	160	105	55,9	479	843	63,7	592	1,411	17,844	11,664							
109	309	14,1	19,6	0,88	345	0,44	4,62	8,58	0,59	5,56	10,80	168	116	47,1	493	914	62,8	593	1,151	17,920	12,327							
117	337	16,0	18,8	0,87	357	0,28	4,58	8,56	0,56	5,08	6,34	101	114	33,3	550	1,028	66,9	611	761	12,088	13,637							
125	294	6,6	21,3	1,04	290	0,50	6,47	11,42	0,77	7,29	13,60	175	144	42,8	552	974	65,4	622	1,160	14,912	12,272							
127	434	29,2	17,5	0,59	473	0,31	3,03	5,28	0,35	3,68	7,27	85	82	64,2	623	1,083	71,7	754	1,491	17,437	16,918							
180	397	22,2	18,8	0,78	418	0,32	3,65	6,56	0,48	4,53	9,59	100	103	53,4	605	1,087	79,9	752	1,590	16,577	16,996							
192	358	18,3	19,1	0,82	382	0,29	4,17	7,67	0,53	5,19	9,43	129	109	39,9	571	1,049	72,5	709	1,289	17,672	14,948							
200	324	13,5	19,9	0,94	343	0,35	4,79	8,78	0,63	5,77	10,11	126	121	38,6	531	975	69,8	640	1,121	14,029	13,471							
208	411	20,7	19,1	0,83	406	0,24	3,87	7,05	0,49	4,72	9,05	106	137	40,5	646	1,177	82,1	788	1,510	17,693	22,777							
209	433	26,3	16,5	0,81	436	0,44	3,27	5,84	0,41	3,89	7,51	85	82	83,9	618	1,105	77,9	736	1,419	15,979	15,424							
210	338	13,5	20,2	0,89	346	0,47	4,90	9,00	0,59	5,48	7,33	147	164	54,9	573	1,052	69,2	641	857	17,187	19,191							
217	364	20,7	18,2	0,82	398	0,36	3,85	6,98	0,34	4,41	7,68	96	96	52,7	556	1,008	49,2	637	1,110	13,873	13,872							
230	340	15,6	19,4	1,14	361	0,55	4,49	8,12	0,57	5,47	9,95	134	125	67,6	550	995	70,4	671	1,221	16,452	15,293							
236	366	23,6	18,6	0,84	430	0,42	3,46	6,20	0,44	4,23	8,67	90	84	66,1	544	976	69,0	665	1,366	14,128	13,166							
243	266	12,7	20,2	0,90	338	0,33	4,81	8,86	0,59	5,54	8,26	125	143	29,3	432	795	53,3	497	742	11,257	12,882							
245	341	15,9	19,2	0,86	359	0,45	4,44	7,97	0,55	5,50	12,97	150	118	54,6	544	976	67,5	674	1,588	18,309	14,432							
288	327	15,3	19,6	0,90	358	0,37	4,76	8,62	0,60	5,57	9,46	131	134	43,5	557	1,008	70,5	651	1,105	15,320	15,649							
298	417	22,7	18,4	0,79	419	0,52	3,76	6,54	0,48	4,58	10,61	122	88	91,3	656	1,142	83,5	800	1,853	21,255	15,409							
345	257	12,5	20,2	0,93	336	0,36	5,14	9,24	0,61	5,47	10,28	155	111	30,9	443	798	52,4	472	887	13,383	9,581							
368	161	5,5	22,0	0,94	284	0,47	5,81	11,05	0,68	6,16	9,14	141	128	21,7	267	507	31,2	283	419	6,453	5,893							
383	435	20,6	19,6	0,83	410	0,29	3,81	6,85	0,48	4,73	9,44	102	111	51,3	680	1,223	86,4	843	1,685	18,112	19,753							
416	281	13,7	19,4	0,92	339	0,39	4,77	8,63	0,60	5,83	13,83	169	112	37,4	455	823	57,0	556	1,319	16,128	10,714							
462	379	23,3	17,3	0,81	415	0,28	3,74	6,56	0,46	4,23	7,91	95	87	44,5	588	1,030	71,8	665	1,241	14,871	13,583							
463	396	19,4	19,8	0,84	400	0,38	4,10	7,09	0,54	4,96	9,58	129	114	59,9	649	1,123	85,7	787	1,518	20,468	18,140							
512	357	12,8	19,9	0,94	337	0,53	5,16	9,28	0,63	5,82	9,49	145	127	64,0	620	1,114	75,7	699	1,140	17,407	15,299							
751	382	22,7	18,5	0,83	420	0,34	3,51	6,50	0,45	4,16	7,55	101	109	54,9	564	1,044	72,0	669	1,212	16,178	17,446							
894	296	13,1	20,5	0,91	345	0,36	4,87	8,69	0,58	5,71	10,65	141	118	36,8	497	887	59,4	583	1,087	14,375	12,014							
904	182	1,4	21,7	0,98	241	0,48	6,87	13,01	0,83	7,98	14,65	206	171	21,2	302	572	36,4	351	644	9,077	7,503							

Tabelle A-4: Übersicht über die chemische Zusammensetzung und die Mineralstoffgehalte der Fraktion Knochen der Einzeltiere

Kuh	Gewicht kg	XL	XP	Wasser %	XA	TM	Ca	g/kg TM				mg/kg TM				Cu	Fe	Zn				
								P	K	Mg	S	P	K	Mg	S				P	K	Mg	S
32	65,9	19,9	19,7	25,2	35,2	748	172	84,9	0,87	2,64	1,66	3,08	74,9	72,2	8,456	4,185	42,8	130	81,9	152	3,690	3,558
62	71,5	18,9	19,2	22,8	39,1	772	189	91,9	0,63	2,57	1,68	2,59	75,1	88,1	10,456	5,071	35,0	142	92,6	143	4,147	4,862
68	66,1	16,0	21,2	24,9	37,9	751	186	91,5	0,61	2,98	2,23	2,93	64,3	77,9	9,221	4,541	30,1	148	110,5	145	3,191	3,868
109	75,0	22,0	19,4	24,6	33,9	754	170	83,2	0,73	2,73	1,88	3,32	167,2	84,9	9,588	4,703	41,2	154	106,4	187	9,449	4,800
117	68,5	19,8	19,7	26,7	33,8	733	164	80,0	0,66	2,42	1,87	4,36	85,9	60,0	8,254	4,014	33,2	121	93,9	219	4,313	3,012
125	72,4	17,6	19,9	29,1	33,4	709	171	85,1	0,95	2,68	1,93	3,67	124,4	62,1	8,778	4,366	48,6	138	99,1	188	6,385	3,186
127	68,8	19,3	20,5	21,5	38,7	785	180	87,7	0,67	2,49	1,59	4,20	40,7	76,4	9,713	4,743	36,0	134	85,9	227	2,202	4,130
180	68,5	18,4	19,8	24,4	37,4	756	177	86,4	0,64	2,65	1,64	3,31	68,8	82,0	9,156	4,471	32,9	137	84,7	171	3,562	4,246
192	76,0	20,2	19,4	23,3	37,1	767	181	87,6	0,63	2,68	1,45	4,17	75,6	73,0	10,517	5,102	36,9	156	84,6	243	4,407	4,255
200	74,4	19,8	20,2	27,2	32,8	728	163	80,1	0,77	2,54	2,04	4,53	167,6	76,9	8,830	4,339	41,8	137	110,6	246	9,082	4,169
208	71,5	13,7	22,0	24,9	39,4	751	197	96,6	0,92	2,81	1,79	3,20	70,6	89,3	10,591	5,182	49,5	151	96,2	172	3,789	4,790
209	87,7	18,2	20,4	22,0	39,3	780	189	92,6	0,80	3,40	1,24	1,03	103,9	85,9	12,927	6,336	54,4	233	84,6	70	7,105	5,877
210	68,6	20,7	19,3	26,0	34,0	740	176	86,0	0,63	2,56	1,74	3,78	68,9	79,7	8,949	4,363	31,8	130	88,4	192	3,496	4,045
217	73,2	16,7	21,1	25,9	36,2	741	180	87,8	1,13	2,48	2,16	1,49	205,2	104,0	9,761	4,759	61,1	134	116,9	81	11,130	5,638
230	73,2	17,7	20,5	25,2	36,6	748	193	93,7	0,63	3,42	1,72	2,54	81,6	85,6	10,547	5,126	34,5	187	94,2	139	4,463	4,683
236	64,2	12,5	21,7	23,5	42,3	765	208	100,8	0,83	3,46	1,82	3,92	211,5	90,2	10,212	4,948	40,9	170	89,2	193	10,382	4,428
243	66,3	19,2	20,4	29,0	31,5	710	163	80,2	0,97	2,63	2,04	3,80	145,1	81,7	7,675	3,772	45,5	124	96,0	179	6,828	3,845
245	72,7	18,7	20,0	27,4	33,9	726	174	86,1	0,84	2,68	1,76	4,00	73,0	67,5	9,159	4,540	44,2	141	92,6	211	3,851	3,560
288	64,3	16,4	21,1	26,6	35,9	734	179	88,1	0,87	2,77	1,95	3,27	66,7	72,2	8,442	4,158	41,0	131	92,3	154	3,151	3,408
298	66,3	20,6	19,7	25,3	34,4	747	169	83,9	0,77	2,66	1,82	6,02	65,6	68,3	8,375	4,154	38,0	132	90,3	298	3,247	3,379
345	69,4	17,6	20,4	27,2	34,8	728	182	89,9	0,83	2,72	1,73	2,61	59,1	86,5	9,186	4,542	41,8	138	87,2	132	2,984	4,372
368	53,6	20,4	20,5	33,5	25,5	665	134	66,4	0,98	2,29	2,89	4,36	81,2	69,2	4,762	2,365	34,8	82	103,0	155	2,893	2,464
383	74,1	16,4	20,2	23,8	39,6	762	196	96,3	0,63	3,76	1,69	4,20	105,0	84,0	11,042	5,434	35,4	212	95,5	237	5,930	4,744
416	65,0	20,2	19,8	26,9	33,1	731	150	74,0	0,67	2,27	1,79	4,24	67,1	64,3	7,140	3,516	31,7	108	84,9	202	3,187	3,057
462	68,5	20,5	20,5	25,0	33,9	750	159	78,9	0,75	2,65	2,08	3,34	58,7	61,4	8,142	4,051	38,3	136	106,7	171	3,013	3,150
463	79,8	22,4	19,1	22,8	35,7	772	169	83,3	0,66	2,38	1,36	2,98	53,1	73,8	10,426	5,130	40,6	146	83,5	184	3,272	4,548
512	71,6	19,5	19,6	22,9	38,0	771	179	87,2	0,70	2,51	1,57	3,76	111,5	76,5	9,900	4,813	38,4	138	86,8	208	6,157	4,224
751	72,5	19,4	20,2	24,2	36,3	758	182	87,4	0,78	2,52	2,03	4,09	79,1	75,2	10,018	4,804	42,9	139	111,4	225	4,350	4,133
894	66,0	22,7	18,5	22,9	36,0	771	165	81,3	0,57	2,54	1,53	3,11	60,9	67,4	8,396	4,139	28,8	129	77,9	158	3,101	3,431
904	70,0	6,4	18,6	46,2	28,9	538	193	94,9	1,14	3,06	2,29	6,31	105,9	87,3	7,282	3,580	42,9	115	86,4	238	3,993	3,292

Tabelle A-5: Übersicht über die chemische Zusammensetzung und die Mineralstoffgehalte der Fraktion Gastrointestinaltrakt der Einzeltiere

Kuh	Gewicht kg	XL	XP	Wasser %	XA	TM	g/kg						mg/kg TM						Fe mg/Tier	Zn			
							Ca	P	K	Mg	S	Cu	Fe	Zn	Ca	P	K	Mg			S	Cu	
32	62,1	26,9	11,1	61,2	0,74	388	2,56	2,78	3,94	0,42	2,92	7,99	276	41,2	61,7	66,9	95,0	10,06	70,2	193	6.645	994	
62	68,9	37,9	9,5	52,0	0,59	480	1,22	2,07	2,65	0,32	1,83	4,17	200	43,8	40,2	68,5	87,4	10,54	60,4	138	6.614	1.447	
68	51,5	23,9	11,1	64,2	0,74	358	2,24	3,32	4,17	0,41	2,94	3,32	240	52,0	41,4	61,3	76,9	7,52	54,2	61	4.423	959	
109	53,3	17,6	13,1	68,4	0,86	316	4,22	3,93	5,03	0,68	4,03	10,13	642	60,1	71,0	66,2	84,7	11,41	67,9	171	10.820	1.013	
117	60,9	23,8	12,3	63,2	0,70	368	1,15	2,81	4,06	0,30	2,85	3,80	356	43,4	25,7	63,1	91,0	6,82	64,1	85	7.978	974	
125	52,1	12,9	12,9	73,1	1,08	269	4,72	5,27	6,38	0,68	4,07	5,58	312	66,9	66,1	73,8	89,4	9,48	57,0	78	4.376	938	
127	84,2	52,0	8,2	39,4	0,47	606	0,33	1,19	1,62	0,11	1,11	2,18	136	20,0	16,8	60,7	82,5	5,69	56,7	111	6.944	1.020	
180	69,7	38,4	10,0	51,0	0,57	490	1,14	1,83	2,59	0,25	2,14	6,32	304	30,6	39,0	62,5	88,4	8,57	73,1	216	10.385	1.046	
192	64,1	30,1	10,4	58,8	0,67	412	1,28	2,64	3,40	0,35	2,50	3,88	238	48,5	33,7	69,7	89,8	9,36	66,2	103	6.282	1.282	
200	43,5	23,8	11,1	64,1	0,97	359	2,88	3,69	4,07	0,69	3,50	10,30	490	44,5	45,1	57,6	63,7	10,74	54,7	161	7.656	696	
208	84,0	48,9	9,3	41,3	0,50	587	0,76	1,54	1,98	0,19	1,34	2,75	96	45,0	37,7	76,1	97,5	9,29	66,3	136	4.730	2.218	
209	74,3	42,1	8,5	48,8	0,65	512	0,85	1,88	2,58	0,21	2,60	5,07	411	25,6	32,4	71,4	98,4	8,06	98,8	193	15.623	973	
210	55,3	21,7	11,9	65,6	0,84	344	2,59	3,81	4,81	0,56	4,17	14,54	611	55,3	49,2	72,4	91,4	10,62	79,3	277	11.617	1.051	
217*	63,5																						
230	56,3	16,8	12,8	68,6	1,79	314	8,08	6,13	5,27	1,30	3,90	9,56	325	82,8	142,8	108,4	93,1	23,03	68,9	169	5.743	1.464	
236	65,3	41,7	8,6	49,0	0,61	510	0,45	1,54	2,10	0,15	3,22	8,63	592	15,7	15,0	51,3	69,7	5,03	107,2	287	19.721	522	
243	48,1	18,0	12,4	68,8	0,82	312	1,39	3,50	4,78	0,37	3,54	4,80	355	80,0	20,9	52,6	71,9	5,63	53,2	72	5.339	1.203	
245	56,9	29,6	10,7	59,2	0,53	408	0,55	2,23	3,00	0,27	2,67	7,85	184	36,8	12,8	51,7	69,7	6,20	61,9	182	4.269	854	
288	51,9	24,1	12,0	63,1	0,75	369	0,76	3,23	4,52	0,38	3,02	5,42	244	46,0	14,6	61,8	86,7	7,37	57,9	104	4.671	882	
298	66,5	39,9	10,1	49,4	0,66	506	1,21	2,07	2,44	0,36	1,66	2,17	129	39,5	40,7	69,6	82,1	12,24	56,0	73	4.323	1.330	
345	41,9	21,5	12,1	65,7	0,70	343	1,62	3,19	4,10	0,45	2,78	4,66	469	46,6	23,3	45,8	59,0	6,49	39,9	67	6.746	670	
368	30,1	9,3	14,4	75,4	0,87	246	1,17	4,91	7,68	0,46	4,64	5,27	751	69,0	8,7	36,5	57,0	3,43	34,4	39	5.569	512	
383	83,1	38,6	10,3	50,5	0,64	495	1,83	1,88	2,54	0,66	2,04	5,03	408	53,7	75,2	77,4	104,5	27,02	84,1	207	16.790	2.209	
416	51,3	21,3	11,7	66,0	0,93	340	1,92	3,55	4,48	0,39	3,05	4,71	521	53,0	33,4	61,8	78,0	6,77	53,2	82	9.080	923	
462	58,4	39,2	9,3	51,0	0,57	490	0,46	1,80	2,44	0,19	1,55	2,86	86	28,6	13,0	51,5	69,7	5,55	44,3	82	2.453	818	
463	84,5	49,9	8,2	41,4	0,52	586	0,49	1,28	1,64	0,18	1,52	5,80	163	17,1	24,2	63,6	81,0	8,80	75,2	287	8.072	845	
512	72,5	22,1	12,0	64,9	0,99	351	3,28	3,66	4,32	0,47	3,21	5,42	673	45,6	83,4	93,0	109,8	12,04	81,6	138	17.110	1.160	
751	72,5	29,1	10,9	59,1	0,93	409	3,46	3,01	3,24	0,53	2,79	8,79	344	56,2	102,6	89,2	96,3	15,66	82,9	261	10.223	1.668	
894	54,7	22,7	13,5	62,9	0,90	371	2,11	3,53	3,99	0,49	3,29	7,82	437	51,2	42,8	71,5	81,1	10,01	66,8	159	8.861	1.039	
904	41,1	1,8	14,6	82,7	0,97	173	3,72	8,10	10,92	0,91	8,21	22,49	1586	121,1	26,5	57,7	77,8	6,49	58,5	160	11.303	863	

* Die Fraktionen Gastrointestinaltrakt und Organe wurden gemischt verarbeitet, daher sind keine Einzelwerte vorhanden.

Tabelle A-6: Übersicht über die chemische Zusammensetzung und die Mineralstoffgehalte der Fraktion Organe der Einzeltiere

Kuh	Gewicht kg	XL	XP	Wasser %	XA	TM	g/kg						mg/kg TM						Fe mg/Tier	Zn			
							Ca	P	K	Mg	S	Cu	Fe	Zn	Ca	P	K	Mg			S	Cu	Fe
32	53,5	8,1	17,1	74,0	0,77	260	0,64	2,79	3,58	0,29	6,54	17,3	1.191	38,4	8,88	38,9	49,8	4,06	91,0	241	16.576	535	
62	56,1	10,6	17,6	71,2	0,68	288	0,43	2,39	3,54	0,26	5,93	17,3	1.255	55,5	7,01	38,7	57,3	4,20	96,0	280	20.294	897	
68	50,6	6,5	16,5	76,2	0,81	238	1,25	2,87	3,97	0,34	6,74	14,3	1.320	30,3	15,07	34,4	47,7	4,10	81,0	172	15.863	364	
109	56,8	5,2	16,2	77,7	0,84	223	1,65	3,33	4,13	0,41	7,30	17,1	1.249	40,4	20,85	42,0	52,2	5,23	92,3	216	15.796	511	
117	61,5	5,4	17,8	76,0	0,75	240	0,57	2,50	3,50	0,26	6,63	11,7	1.382	37,6	8,43	36,9	51,6	3,88	97,7	172	20.366	554	
125	61,6	3,4	16,8	78,9	0,88	211	0,83	3,19	5,69	0,34	7,80	17,5	1.337	52,1	10,78	41,5	73,9	4,37	101,3	228	17.368	677	
127	58,7	11,3	16,6	71,4	0,76	286	0,64	2,43	3,56	0,28	6,12	15,0	1.167	31,5	10,74	40,8	59,8	4,69	102,7	252	19.596	528	
180	60,3	8,4	16,9	73,9	0,76	261	0,30	2,36	5,12	0,23	5,49	6,5	1.163	34,5	4,77	37,2	80,5	3,68	86,3	103	18.280	543	
192	67,5	7,4	15,5	76,5	0,65	235	0,73	2,92	4,12	0,34	7,47	21,7	1.207	34,0	11,55	46,3	65,4	5,40	118,6	344	19.176	540	
200	55,4	6,9	16,9	75,3	0,86	247	0,76	2,76	3,75	0,32	6,96	19,1	1.391	32,4	10,42	37,7	51,3	4,38	95,1	260	19.009	443	
208	49,6	10,4	17,2	71,5	0,81	285	0,56	2,78	3,75	0,31	5,97	18,6	983	80,8	7,89	39,3	53,0	4,37	84,4	263	13.894	1.141	
209	55,5	10,0	16,8	72,4	0,86	276	2,61	2,38	3,34	0,28	2,35	4,7	80	36,2	39,99	36,6	51,1	4,27	36,0	72	1.220	555	
210	56,9	4,1	15,5	79,6	0,83	204	0,70	3,32	4,68	0,43	8,36	24,5	1.434	44,1	8,14	38,6	54,5	4,95	97,2	285	16.678	512	
217																							
230	57,9	4,2	17,0	77,8	1,03	222	0,69	2,92	3,92	0,31	7,25	15,8	1.401	40,6	8,92	37,5	50,3	4,00	93,2	203	18.013	521	
236	41,6	9,0	17,0	73,2	0,83	268	2,53	3,48	4,70	0,43	2,88	6,3	134	48,4	28,28	38,8	52,5	4,78	32,1	71	1.497	541	
243	47,4	5,5	15,3	78,3	0,85	217	0,66	3,07	4,27	0,31	6,80	15,2	1.130	60,0	6,78	31,5	43,9	3,22	69,9	156	11.618	616	
245	54,9	7,0	15,1	77,1	0,79	229	0,78	3,02	4,34	0,37	7,37	21,9	1.250	43,7	9,76	37,8	54,5	4,61	92,5	274	15.687	549	
288	53,5	5,2	17,4	76,6	0,83	234	2,41	3,59	3,75	0,33	7,21	15,8	1.566	34,1	30,16	45,0	47,1	4,17	90,3	198	19.627	428	
298	58,0	9,8	16,2	73,2	0,77	268	0,64	2,73	3,81	0,30	5,82	11,9	1.068	33,6	9,92	42,5	59,2	4,64	90,5	186	16.588	522	
345	42,9	6,4	16,5	76,2	0,87	238	0,70	3,42	4,81	0,34	6,59	18,9	1.144	42,1	7,12	34,9	49,1	3,52	67,2	193	11.674	429	
368	31,4	4,2	15,9	79,1	0,82	209	0,75	3,74	5,21	0,39	7,24	19,1	1.153	43,0	4,90	24,6	34,2	2,55	47,6	126	7.575	283	
383	59,0	9,7	18,3	71,2	0,79	288	0,50	2,52	3,81	0,29	6,20	15,9	1.193	34,7	8,50	43,0	64,8	4,96	105,5	272	20.310	590	
416	47,8	6,1	15,5	77,6	0,82	224	0,48	3,11	4,45	0,31	6,89	16,0	1.217	35,7	5,16	33,3	47,7	3,35	73,9	172	13.055	383	
462	56,7	10,4	16,4	72,4	0,80	276	0,88	2,72	4,11	0,31	6,02	16,6	1.125	36,2	13,77	42,6	64,4	4,87	94,3	261	17.627	567	
463	61,4	10,1	18,5	70,5	0,89	295	0,62	2,18	3,20	0,23	5,59	12,9	1.307	27,2	11,18	39,4	57,9	4,11	101,2	233	23.643	491	
512	70,7	7,0	16,6	75,6	0,80	244	0,26	1,99	2,89	0,18	5,74	7,8	1.184	94,2	4,52	34,4	49,9	3,18	99,1	134	20.432	1.626	
751	66,4	9,8	16,7	72,7	0,81	273	0,55	2,43	3,76	0,27	5,90	12,8	993	33,0	9,90	44,0	68,1	4,98	106,9	232	18.000	598	
894	54,8	4,3	15,9	79,0	0,82	210	0,93	3,27	4,21	0,37	7,87	23,8	1.355	33,3	10,69	37,7	48,5	4,22	90,7	274	15.624	384	
904	45,5	1,7	16,3	81,2	0,82	188	0,53	3,76	5,78	0,33	7,29	10,6	1.227	53,1	4,55	32,1	49,5	2,82	62,4	91	10.499	455	

* Die Fraktionen Gastrointestinaltrakt und Organe wurden gemischt verarbeitet, daher sind keine Einzelwerte vorhanden.

Tabelle A-7: Übersicht über die chemische Zusammensetzung und die Mineralstoffgehalte der Fraktion Haut der Einzeltiere

Kuh	Gewicht kg	XL	XP	Wasser %	XA	TM	g/kg							mg/kg TM							g/Tier							mg/Tier						
							Ca	P	K	Mg	S	Cu	Fe	Zn	Ca	P	K	Mg	S	Cu	Fe	Zn	Ca	P	K	Mg	S	Cu	Fe	Zn				
32	56,3	16,6	28,4	54,2	0,76	458	1,08	0,93	2,29	0,37	5,09	8,96	96,1	48,1	27,8	23,9	58,9	9,63	131	231	2,477	1.238												
62	61,6	8,9	31,6	58,8	0,65	412	0,65	0,89	2,10	0,22	6,41	7,29	77,8	51,0	16,4	22,7	53,3	5,54	162	185	1,972	1.294												
68	57,0	6,2	31,7	61,5	0,58	385	0,56	0,83	2,00	0,23	5,74	9,19	90,6	38,2	12,4	18,2	44,0	5,02	126	202	1,988	839												
109	58,9	4,1	32,3	63,1	0,52	369	0,68	1,10	2,06	0,28	5,32	4,34	67,7	37,9	14,8	23,9	44,8	6,01	116	94	1,473	825												
117	56,5	9,9	27,6	61,8	0,75	382	1,52	1,64	3,38	0,52	6,60	10,20	183,1	52,3	32,7	35,3	73,0	11,24	142	220	3,953	1.129												
125	62,6	2,8	32,0	64,6	0,71	354	0,82	1,25	2,83	0,35	6,78	8,18	98,7	45,1	18,2	27,7	62,7	7,76	150	182	2,191	1.002												
127	53,0	9,6	30,4	59,3	0,76	407	1,60	1,60	2,46	0,40	6,02	10,81	115,5	49,1	34,6	34,6	53,1	8,69	130	233	2,489	1.059												
180	56,6	12,4	28,1	58,8	0,68	412	0,93	1,11	2,22	0,35	5,76	10,20	97,1	38,8	21,8	25,9	51,8	8,27	134	238	2,265	906												
192	59,6	8,0	30,8	60,1	1,04	399	1,71	1,59	4,16	0,84	6,17	13,30	223,3	55,2	40,6	37,8	98,9	19,90	147	316	5,304	1.311												
200	58,8	5,9	31,1	62,3	0,73	377	0,94	1,26	2,22	0,39	5,89	9,29	119,4	45,1	20,8	27,8	49,2	8,64	131	206	2,646	999												
208	62,0	8,1	29,8	61,5	0,53	385	1,43	1,70	3,39	0,53	6,82	10,66	153,4	59,8	34,0	40,4	80,8	12,71	163	254	3,657	1.426												
209	72,8	10,8	28,9	59,7	0,65	403	0,63	1,09	2,42	0,27	5,76	8,44	101,8	37,2	18,4	31,9	71,0	8,01	169	247	2,984	1.092												
210	63,1	6,3	32,6	60,2	0,96	398	1,99	1,46	4,12	0,88	7,36	12,81	198,4	65,3	50,1	36,6	103,5	22,16	185	322	4,988	1.642												
217	65,0	8,7	29,4	61,5	0,52	385	0,59	1,05	2,19	0,24	5,62	8,82	98,6	33,7	14,8	26,2	54,9	5,92	141	221	2,472	846												
230	71,8	10,4	30,1	58,4	1,08	416	2,67	1,69	3,55	1,14	5,72	12,02	170,7	67,3	79,7	50,6	105,9	34,03	171	359	5,098	2.010												
236	54,7	8,1	29,5	61,8	0,70	382	0,61	1,05	2,99	0,26	5,87	8,89	86,3	39,2	12,8	22,0	62,6	5,52	123	186	1,804	820												
243	60,0	2,4	34,3	62,6	0,73	374	1,45	1,46	2,75	0,53	6,23	11,48	136,2	53,4	32,6	32,8	61,7	12,00	140	258	3,060	1.200												
245	56,4	7,5	31,4	60,5	0,57	395	0,45	0,68	1,62	0,19	4,26	6,84	60,8	22,8	9,9	15,2	36,0	4,23	95	152	1,353	507												
288	53,8	7,6	30,6	61,1	0,68	389	0,71	1,11	2,52	0,31	6,61	8,23	84,9	41,2	14,9	23,3	52,8	6,51	138	172	1,777	861												
298	60,9	8,6	30,9	60,0	0,59	400	0,56	0,85	1,82	0,18	4,92	6,99	72,4	30,0	13,7	20,8	44,4	4,51	120	171	1,766	731												
345	57,6	3,1	32,8	63,5	0,60	365	0,50	0,93	2,14	0,27	5,60	9,03	84,9	35,6	10,6	19,5	44,9	5,65	118	190	1,786	749												
368	34,8	1,5	34,3	63,6	0,60	364	0,73	0,92	1,94	0,21	6,08	7,96	98,8	35,7	9,3	11,6	24,6	2,68	77	101	1,254	453												
383	71,0	10,4	31,4	57,4	0,77	426	0,85	0,99	2,44	0,33	6,57	9,86	136,1	46,9	25,9	29,9	73,8	9,87	199	298	4,119	1.420												
416	51,5	3,5	30,6	65,2	0,73	348	0,82	1,24	2,76	0,40	5,35	8,62	86,2	34,5	14,7	22,2	49,5	7,10	96	154	1,544	618												
462	55,8	8,1	30,1	61,1	0,68	389	0,85	1,15	2,23	0,32	5,39	6,68	77,1	38,5	18,5	25,1	48,6	6,86	117	145	1,674	837												
463	60,6	6,3	31,1	61,9	0,73	381	0,77	1,12	2,57	0,30	5,68	7,35	83,9	39,3	17,7	25,9	59,2	6,97	131	170	1,939	909												
512	53,8	5,1	32,1	62,0	0,70	380	0,79	1,05	2,36	0,26	6,11	12,65	134,4	42,2	16,1	21,5	48,3	5,33	125	258	2,745	861												
751	64,4	12,9	25,5	60,9	0,71	391	1,28	1,32	2,46	0,49	5,54	9,72	127,8	56,2	32,2	33,4	62,0	12,30	140	245	3,221	1.417												
894	54,9	6,2	29,9	62,9	0,95	371	1,99	1,72	2,64	0,72	7,08	14,55	250,6	64,7	40,4	35,0	53,7	14,71	144	296	5,104	1.317												
904	46,4	0,8	33,7	64,9	0,67	351	1,06	1,28	2,01	0,25	5,76	7,69	96,8	39,9	17,2	20,9	32,8	4,13	94	125	1,577	650												

Tabelle A-8: Übersicht über die chemische Zusammensetzung und die Mineralstoffgehalte der Fraktion Leber der Einzeltiere

Kuh	Gewicht kg	XL	XP	Wasser %	XA	TM	g/kg							mg/kg TM							g/Tier							mg/Tier						
							Ca	P	K	Mg	S	Cu	Fe	Zn	Ca	P	K	Mg	S	Cu	Fe	Zn	Ca	P	K	Mg	S	Cu	Fe	Zn				
32	12,0	5,0	20,7	72,7	1,62	273	0,25	12,5	11,2	0,76	9,77	623	300	183	0,83	40,8	36,6	2,49	32,0	2,037	982	599												
62	11,4	6,3	19,6	72,9	1,24	271	0,26	12,2	10,9	0,69	9,17	329	340	177	0,81	37,4	33,6	2,12	28,2	1,010	1.044	545												
68	9,5	4,1	20,5	74,0	1,46	260	0,37	12,5	11,9	0,77	10,03	644	326	121	0,90	30,8	29,4	1,88	24,7	1,584	803	297												
109	10,7	3,8	19,7	75,0	1,56	250	0,40	13,1	11,7	0,78	9,72	441	296	112	1,08	35,0	31,3	2,09	26,1	1,183	793	300												
117	12,8	4,1	20,9	73,4	1,56	266	0,20	12,2	11,1	0,72	9,40	331	271	113	0,68	41,5	37,9	2,45	32,0	1,128	923	385												
125	11,3	4,3	20,9	73,4	1,45	266	0,37	12,6	12,0	0,71	9,65	346	274	113	1,11	37,9	36,0	2,14	29,0	1,041	823	338												
127	11,3	5,5	19,9	73,1	1,61	269	0,37	13,0	11,3	0,71	9,50	266	282	137	1,12	39,6	34,5	2,16	28,9	809	859	418												
180	13,7	4,1	22,4	72,0	1,50	280	0,21	13,3	11,4	0,73	9,34	346	332	132	0,79	50,9	43,6	2,81	35,8	1,326	1.274	507												
192	12,9	4,2	20,6	73,8	1,41	262	0,40	13,3	11,8	0,79	9,70	502	320	179	1,34	45,0	39,7	2,66	32,8	1,695	1.083	606												
200	11,7	4,4	20,5	73,6	1,53	264	0,30	12,9	11,4	0,80	11,36	708	401	125	0,94	40,0	35,2	2,47	35,1	2,191	1.241	386												
208	12,0	4,6	21,3	72,7	1,42	273	0,23	12,5	11,0	0,71	9,33	484	235	194	0,77	41,1	36,1	2,33	30,6	1,588	770	638												
209	11,7	4,7	21,1	72,7	1,44	273	0,34	12,6	10,6	0,75	9,50	490	380	146	1,07	40,0	33,8	2,38	30,3	1,563	1.214	467												
210	10,9	6,6	21,0	70,9	1,43	291	0,24	11,3	10,2	0,68	9,28	365	285	117	0,75	35,7	32,2	2,15	29,3	1,154	901	369												
217	10,8	4,1	20,9	73,6	1,38	264	0,33	13,1	11,0	0,78	9,74	338	333	155	0,95	37,1	31,3	2,20	27,7	959	946	441												
230	11,7	3,9	21,7	72,9	1,52	271	0,40	12,3	11,0	0,73	9,71	490	358	118	1,26	39,0	34,9	2,32	30,7	1,551	1.132	373												
236	9,5	5,9	21,7	71,0	1,50	290	0,38	11,8	10,3	0,71	9,51	426	269	134	1,05	32,8	28,5	1,97	26,3	1,178	744	372												
243	10,4	6,0	20,9	71,5	1,52	285	0,25	12,6	10,9	0,70	8,88	460	334	144	0,75	37,5	32,4	2,09	26,4	1,368	992	428												
245	9,3	5,8	19,6	73,2	1,47	268	0,31	12,0	11,7	0,75	9,17	338	440	116	0,78	30,2	29,4	1,87	23,0	846	1.102	290												
288	10,4	4,0	18,7	75,9	1,36	241	0,22	13,0	12,0	0,73	9,65	549	294	120	0,56	32,6	30,0	1,84	24,2	1,378	739	302												
298	11,2	5,7	22,6	70,2	1,44	298	0,21	12,7	10,1	0,67	8,81	375	255	124	0,68	42,5	33,6	2,23	29,3	1,249	851	414												
345	6,8	5,0	20,5	72,8	1,73	272	0,28	12,8	12,2	0,76	8,96	285	727	389	0,52	23,7	22,5	1,41	16,5	525	1.342	719												
368	4,5	4,4	20,6	73,7	1,38	263	0,23	12,1	12,6	0,70	8,43	113	605	126	0,27	14,2	14,9	0,83	9,9	134	714	148												
383	11,2	4,6	20,8	73,1	1,56	269	0,31	11,9	10,9	0,72	9,90	493	334	141	0,94	35,7	32,7	2,15	29,8	1,481	1.004	424												
416	9,1	4,9	20,4	73,3	1,42	267	0,27	12,7	11,4	0,73	9,40	449	325	112	0,65	31,0	27,9	1,77	22,9	1,093	793	273												
462	9,3	6,0	19,8	72,6	1,54	274	0,51	11,5	11,4	0,73	9,43	466	398	234	1,31	29,2	28,9	1,85	24,0	1,184	1.013	595												
463	10,7	5,6	21,3	71,5	1,52	285	0,40	11,8	11,2	0,74	9,49	384	400	172	1,22	36,0	34,2	2,26	28,9	1,170	1.220	524												
512	12,4	5,1	20,7	72,9	1,28	271	0,24	12,5	10,9	0,72	9,99	246	291	129	0,82	42,0	36,5	2,43	33,5	827	978	433												
751	13,5	4,5	20,1	74,0	1,43	260	0,29	12,4	10,2	0,70	8,93	378	258	123	1,01	43,6	35,9	2,44	31,3	1,327	904	432												
894	9,9	4,0	21,4	73,2	1,51	268	0,39	12,9	11,8	0,78	9,93	623	350	112	1,05	34,5	31,4	2,09	26,5	1,663	934	298												
904	6,3	3,5	21,9	73,1	1,44	269	0,26	12,3	12,3	0,79	9,97	876	524	204	0,44	20,9	21,1	1,36	17,0	1,494	894	349												

Tabelle A-9: Übersicht über die chemische Zusammensetzung und die Mineralstoffgehalte der Fraktion Nierentalg der Einzeltiere

Kuh	Gewicht kg	XL	XP	Wasser %	XA	TM	g/kg							mg/kg TM							g/Tier							mg/Tier						
							Ca	P	K	Mg	S	Cu	Fe	Zn	Zn	Ca	P	K	Mg	S	Cu	Fe	Zn	Ca	P	K	Mg	S	Cu	Fe	Zn			
32	9,39	86,36	2,91	10,70	0,03	893	0,04	0,19	0,21	0,02	0,27	1,90	11,20	3,36	0,31	1,63	1,79	0,15	2,25	15,96	93,9	28,2												
62	18,21	89,59	2,51	7,82	0,08	922	0,04	0,20	0,20	0,02	0,21	2,17	11,93	19,53	0,75	3,31	3,33	0,27	3,48	36,42	200,3	327,8												
68	6,77	80,58	4,29	14,89	0,24	851	0,09	0,35	0,38	0,03	0,33	0,99	8,80	4,56	0,54	2,02	2,21	0,16	1,88	5,69	50,7	26,3												
109	3,79	71,30	5,72	22,73	0,25	773	0,14	0,43	0,49	0,04	0,50	1,29	16,82	5,18	0,40	1,26	1,42	0,11	1,47	3,79	49,2	15,1												
117	8,53	82,19	4,41	13,40	0,00	866	0,06	0,29	0,36	0,03	0,35	1,15	16,17	5,77	0,46	2,18	2,67	0,19	2,59	8,53	119,4	42,7												
125	2,07	52,16	7,95	39,38	0,51	606	0,23	0,83	0,95	0,05	0,85	1,65	21,45	9,90	0,29	1,04	1,19	0,07	1,07	2,07	26,9	12,4												
127	29,26	91,91	2,21	5,88	0,00	941	0,03	0,12	0,13	0,01	0,14	0,74	5,31	2,13	0,82	3,22	3,60	0,23	3,83	20,48	146,3	58,5												
180	15,89	87,36	3,45	9,18	0,00	908	0,01	0,17	0,20	0,02	0,22	3,52	14,31	5,51	0,16	2,40	2,94	0,22	3,16	50,85	206,6	79,5												
192	10,01	80,19	4,21	15,56	0,04	844	0,04	0,31	0,38	0,03	0,35	1,54	14,21	13,03	0,36	2,58	3,24	0,23	2,96	13,01	120,1	110,1												
200	6,77	79,00	3,77	17,23	0,00	828	0,17	0,42	0,42	0,03	0,44	5,44	15,71	6,04	0,93	2,37	2,35	0,18	2,46	30,47	88,0	33,9												
208	19,26	86,21	5,63	8,04	0,12	920	0,05	0,23	0,26	0,02	0,23	1,09	9,79	17,40	0,81	4,08	4,60	0,33	4,08	19,26	173,3	308,2												
209	21,29	92,00	2,20	5,90	0,00	941																												
210	5,28	76,20	4,16	19,42	0,22	806	0,06	0,25	0,31	0,02	0,33	1,37	17,37	3,72	0,26	1,05	1,34	0,09	1,41	5,81	73,9	15,8												
217	9,92	82,21	3,09	14,51	0,19	855	0,09	0,31	0,41	0,03	0,35	1,64	12,87	5,85	0,79	2,61	3,45	0,25	2,94	13,89	109,1	49,6												
230	4,68	70,46	5,16	23,45	0,93	765	0,09	0,46	0,62	0,04	0,52	2,22	18,29	9,14	0,34	1,65	2,24	0,16	1,86	7,96	65,5	32,8												
236	15,90	85,67	4,17	9,61	0,54	904	0,04	0,25	0,33	0,02	0,26	1,99	9,96	4,43	0,64	3,64	4,69	0,33	3,75	28,62	143,1	63,6												
243	3,52	59,79	6,43	33,43	0,36	666	0,16	0,79	0,94	0,07	0,81	2,55	33,05	24,03	0,38	1,86	2,20	0,15	1,91	5,98	77,4	56,3												
245	5,63	75,20	4,04	20,75	0,02	793	0,03	0,35	0,46	0,03	0,37	1,26	17,66	7,57	0,15	1,55	2,03	0,14	1,67	5,63	78,8	33,8												
288	6,49	80,56	2,91	16,51	0,02	835	0,04	0,24	0,27	0,02	0,32	1,32	13,17	4,79	0,21	1,29	1,47	0,12	1,74	7,14	71,4	26,0												
298	14,32	85,04	5,62	9,32	0,01	907	0,08	0,21	0,24	0,04	0,60	4,41	17,64	3,31	1,03	2,71	3,06	0,47	7,83	57,28	229,1	43,0												
345	4,07	69,29	6,27	24,30	0,14	757	0,03	0,47	0,52	0,03	0,45	3,83	23,78	7,93	0,09	1,44	1,62	0,11	1,37	11,80	73,3	24,4												
368	0,83	45,24	8,20	46,32	0,24	537	0,20	0,74	1,18	0,06	0,95	2,42	29,80	9,31	0,09	0,33	0,53	0,03	0,42	1,08	13,3	4,2												
383	15,80	85,04	4,38	10,41	0,17	896	0,04	0,21	0,23	0,02	0,26	1,12	11,16	3,35	0,62	2,95	3,32	0,24	3,62	15,80	158,0	47,4												
416	4,06	62,94	6,44	30,35	0,27	697	0,10	0,58	0,62	0,04	0,58	1,72	20,10	8,61	0,29	1,63	1,77	0,12	1,64	4,87	56,8	24,4												
462	11,57	89,52	1,94	8,47	0,07	915	0,06	0,13	0,16	0,02	0,37	2,62	10,93	3,28	0,60	1,42	1,67	0,23	3,97	27,77	115,7	34,7												
463	17,66	91,57	2,63	5,73	0,07	943	0,09	0,14	0,13	0,04	0,57	4,24	18,03	2,12	1,54	2,30	2,21	0,58	9,48	70,64	300,2	35,3												
512	7,80	80,41	3,54	15,86	0,20	841	0,06	0,46	0,48	0,03	0,46	2,97	14,26	4,75	0,41	3,01	3,18	0,21	3,03	19,50	93,6	31,2												
751	11,49	82,62	3,79	13,50	0,09	865	0,14	0,29	0,35	0,04	0,54	3,93	17,34	8,09	1,41	2,87	3,47	0,38	5,41	39,07	172,4	80,4												
894	5,18	68,16	6,10	25,62	0,12	744	0,09	0,50	0,60	0,04	0,53	1,21	16,13	6,72	0,35	1,92	2,32	0,15	2,05	4,66	62,2	25,9												
904	1,01	4,16	12,14	83,14	0,56	169	1,49	3,27	3,77	0,32	4,84	7,12	166,04	53,37	0,25	0,56	0,64	0,05	0,83	1,21	28,3	9,1												

Tabelle A-10: Übersicht über die chemische Zusammensetzung und die Mineralstoffgehalte der Fraktion Euter der Einzeltiere

Kuh	Gewicht kg	XL	XP	Wasser %	XA	TM	g/kg							mg/kg TM							g/Tier						
							Ca	P	K	Mg	S	Cu	Fe	Zn	Ca	P	K	Mg	S	Cu	Fe	Zn	Ca	P	K	Mg	S
32	25,7	14,6	10,4	73,6	1,43	264	11,45	11,62	6,28	0,84	3,91	11,75	102,4	91,0	77,6	78,7	42,6	5,68	26,5	79,7	694	617					
62	19,3	14,8	10,5	73,2	1,44	268	11,12	11,02	5,77	0,87	4,01	11,20	115,8	149,4	57,5	56,9	29,8	4,48	20,7	57,9	598	772					
68	27,7	11,7	10,1	77,1	1,03	229	5,43	8,01	7,20	0,68	4,29	10,94	99,8	60,8	34,3	50,7	45,6	4,32	27,1	69,3	632	385					
109	25,1	10,4	10,8	77,6	1,25	224	8,38	10,09	6,92	0,82	4,15	8,03	75,8	102,6	47,2	56,8	39,0	4,65	23,4	45,2	427	578					
117	29,9	11,3	9,5	77,1	2,02	229	21,53	19,56	7,03	0,99	4,55	13,11	131,1	135,5	147,3	133,8	48,1	6,76	31,1	89,7	897	927					
125	25,7	5,5	11,7	81,8	1,01	182	4,07	9,88	10,00	0,65	4,89	7,16	66,1	60,6	19,0	46,1	46,7	3,03	22,8	33,4	308	283					
127	37,5	14,5	9,9	74,8	0,82	252	4,35	6,17	5,41	0,53	4,14	10,31	83,2	63,4	41,1	58,4	51,2	4,99	39,2	97,5	788	600					
180	31,1	17,5	9,8	71,7	1,04	283	5,17	6,82	5,15	0,51	2,55	5,65	74,1	60,0	45,6	60,1	45,4	4,48	22,5	49,8	653	529					
192	32,9	11,1	10,0	78,0	0,95	220	5,54	8,61	7,48	0,68	3,89	5,91	63,6	63,6	40,1	62,3	54,2	4,90	28,1	42,8	461	461					
200	24,7	10,4	9,9	78,2	1,54	218	13,30	13,72	7,70	1,06	3,97	6,41	64,1	142,0	71,7	74,0	41,5	5,73	21,4	34,6	346	766					
208	9,8	25,4	12,0	61,9	0,68	381	0,51	2,46	2,65	0,18	2,23	4,72	42,0	55,1	1,9	9,2	9,9	0,67	8,3	17,6	157	206					
209	11,8	25,3	11,6	62,5	0,62	375	0,31	2,22	2,57	0,17	2,49	5,87	64,1	21,4	1,4	9,8	11,4	0,76	11,0	26,0	283	94					
210	34,9	9,3	9,4	80,4	0,90	196	3,80	8,85	9,32	0,66	4,34	6,63	81,6	56,1	26,0	60,5	63,8	4,54	29,7	45,4	558	384					
217	12,5	21,5	12,4	65,5	0,69	345	0,46	2,77	3,27	0,22	2,67	3,77	52,2	26,1	2,0	11,9	14,1	0,94	11,5	16,3	225	113					
230	27,7	8,7	10,2	79,8	1,23	202	5,60	9,65	9,14	0,74	4,96	16,83	123,8	64,4	31,3	54,0	51,2	4,13	27,7	94,2	693	360					
236	12,4	30,8	11,7	56,9	0,64	431	0,43	2,10	2,39	0,17	2,39	7,66	48,7	18,6	2,3	11,2	12,7	0,92	12,7	40,8	260	99					
243	28,5	10,3	9,6	79,1	0,99	209	5,42	8,86	8,29	0,73	3,86	6,70	105,3	91,0	32,2	52,8	49,3	4,36	23,0	39,9	627	542					
245	19,7	13,2	9,0	77,0	0,85	230	2,53	7,37	7,62	0,60	4,81	18,69	169,5	34,8	11,5	33,4	34,5	2,70	21,8	84,7	768	158					
288	34,5	10,0	8,4	80,7	0,90	193	4,46	7,41	8,12	0,63	4,24	10,36	113,9	51,8	29,7	49,3	54,1	4,21	28,3	69,0	759	345					
298	26,3	13,4	9,9	75,9	0,81	241	2,09	5,29	6,10	0,48	4,85	19,10	161,9	37,4	13,2	33,5	38,6	3,02	30,7	121,0	1026	237					
345	16,7	7,3	12,2	79,7	0,86	203	1,20	5,74	6,52	0,51	5,85	18,69	191,8	44,3	4,1	19,5	22,1	1,74	19,9	63,5	651	150					
368	6,5	5,7	12,5	79,8	1,98	202	22,06	18,43	8,18	1,46	4,25	6,94	79,4	153,8	29,0	24,2	10,8	1,92	5,6	9,1	104	202					
383	13,7	15,0	14,2	70,1	0,77	299	0,82	3,75	4,03	0,32	4,51	15,37	137,0	33,4	3,4	15,4	16,5	1,33	18,5	63,0	562	137					
416	17,3	7,9	10,4	80,5	1,20	195	8,49	11,61	8,41	0,89	5,85	21,05	195,1	97,6	28,6	39,1	28,3	3,01	19,7	70,9	657	329					
462	18,1	22,5	10,1	66,4	1,02	336	4,11	4,73	2,98	0,48	3,27	9,83	92,3	41,7	25,0	28,7	18,1	2,91	19,9	59,7	561	253					
463	25,3	14,7	9,9	74,6	0,83	254	3,36	5,13	4,91	0,51	3,88	12,18	129,7	43,2	21,6	33,0	31,6	3,26	25,0	78,4	835	278					
512	42,5	8,5	9,7	80,7	1,11	193	6,97	10,07	7,86	0,56	4,32	7,26	83,0	62,2	57,1	82,6	64,5	4,59	35,4	59,5	680	510					
751	27,3	15,5	11,3	71,3	1,79	287	14,37	12,40	6,24	1,01	3,29	9,07	76,8	157,0	112,4	97,0	48,8	7,86	25,8	71,0	601	1229					
894	35,5	9,7	10,6	78,3	1,35	217	11,57	13,13	7,61	0,77	4,76	15,24	129,3	92,3	88,9	100,9	58,5	5,89	36,6	117,2	994	710					
904	14,0	3,4	12,4	82,4	1,79	176	22,50	20,09	9,35	1,72	6,57	21,53	232,3	187,0	55,6	49,6	23,1	4,26	16,2	53,2	574	462					

Tabelle A-11: Ergebnisse der Regressionsanalyse der in Abbildung 12 dargestellten Zusammenhänge zwischen Rohett- und Rohproteingehalt der einzelnen Fraktionen und dem Leerkörperrohffettgehalt (LKXL)

Gastrointestinaltrakt	
XL (%)=	$0,9812 \text{ LKXL } (\%)^{1,1850}$ RMSE = 4,44 %; P < 0,0001
XP (%) =	$15,72566 - 0,27031 \text{ LKXL } (\%)$ $R^2 = 0,83$; RMSE = 0,76 %; P < 0,0001
Muskeln	
XL (%)=	$0,9416 \text{ LKXL } (\%)^{1,0239}$ RMSE = 1,23 %; P < 0,0001
XP (%) =	$22,38517 - 0,18212 \text{ LKXL } (\%)$ $R^2 = 0,76$; RMSE = 0,61 %; P < 0,0001
Leber	
XL (%)=	$3,1946 \text{ LKXL } (\%)^{0,1490}$ RMSE = 0,79 %; P < 0,0001
XP (%):	P = 0,9747
Nierentalg	
XL (%)=	$35,5577 \ln(\text{LKXL } (\%)) - 22,0465$ RMSE = 4,51 %; P < 0,0001
XP (%) =	$-3,9077 \ln(\text{LKXL } (\%)) + 15,4257$ RMSE = 1,07 %; P < 0,0001
Haut	
XL (%)=	$0,4228 \text{ LKXL } (\%)^{1,0092}$ RMSE = 2,35 %; P < 0,0001
XP (%) =	$34,22779 - 0,203044 \text{ LKXL } (\%)$ $R^2 = 0,38$; RMSE = 1,55 %; P = 0,0003
Knochen	
XL (%)=	$12,4583 \text{ LKXL } (\%)^{0,1409}$ RMSE = 3,01 %; P < 0,0001
XP (%):	P = 0,0917
Euter	
XL (%)=	$4,6567 e^{0,0588 \text{ LKXL } (\%)}$ RMSE = 4,23 %; P < 0,0001
XP (%):	P = 0,6728
Organe	
XL (%)=	$0,395 + 0,399 \text{ LKXL } (\%)$ $R^2 = 0,85$; RMSE = 1,01 %; P < 0,0001
XP (%) =	$15,73909 + 0,05227 \text{ LKXL } (\%)$ $R^2 = 0,14$; RMSE = 0,79 %; P = 0,0445

Tabelle A-12: Konzentration (in der TM) und gesamte Masse an Mengen- und Spurenelementen im Leerkörper der Einzeltiere

Kuh	Mineralstoffkonzentration							
	Ca	P	K	Mg	S	Cu	Fe	Zn
	g/kg TM					mg/kg TM		
32	29,0	16,6	4,3	0,8	3,8	15,4	164,5	76,5
62	33,3	18,7	4,7	0,8	4,0	10,4	168,6	100,5
68	41,0	22,8	4,9	1,0	4,5	16,0	196,4	80,8
109	43,3	24,0	5,4	1,1	4,6	13,5	251,2	90,4
117	34,4	19,7	5,5	0,9	4,4	10,9	205,0	83,8
125	45,7	26,4	6,8	1,2	5,6	14,9	237,9	96,1
127	25,4	14,4	3,6	0,6	3,1	8,3	129,8	63,7
180	29,2	16,7	4,5	0,8	3,7	11,8	167,1	78,1
192	38,0	21,1	5,1	1,0	4,2	14,4	194,2	84,1
200	39,0	22,1	5,5	1,0	4,7	18,4	234,3	91,0
208	32,2	18,1	4,5	0,8	3,7	11,9	134,9	100,9
209	37,6	20,5	4,1	1,0	3,4	10,3	127,8	70,5
210	38,3	21,7	6,0	1,0	4,8	13,2	233,2	114,5
217	34,8	19,4	4,7	0,7	4,0	10,2	180,9	84,9
230	43,3	23,8	5,5	1,3	4,6	14,9	206,2	99,0
236	35,0	19,2	4,3	0,9	3,6	11,4	165,4	68,2
243	39,7	22,5	5,6	1,0	4,6	14,4	203,2	106,2
245	37,7	21,4	5,1	0,9	4,3	13,6	185,4	83,4
288	37,0	21,3	5,7	1,0	4,7	13,8	199,4	94,9
298	26,6	15,6	4,5	0,8	3,8	12,5	153,7	68,9
345	48,4	26,8	5,5	1,1	4,3	10,9	202,5	87,6
368	43,4	24,6	6,0	1,1	5,0	8,9	220,9	89,7
383	32,4	18,3	4,5	1,0	4,0	12,4	194,2	85,1
416	36,6	21,0	5,5	0,9	4,6	15,7	225,0	82,6
462	28,1	16,4	4,4	0,8	3,7	10,8	140,7	67,6
463	31,3	17,7	4,2	0,8	3,7	11,0	177,3	76,5
512	39,4	22,2	5,7	0,9	4,5	10,9	255,5	94,2
751	33,2	18,3	4,5	0,8	3,8	11,7	173,0	87,2
894	39,2	22,4	5,4	1,0	4,7	17,1	223,5	87,7
904	62,5	34,3	6,9	1,4	5,8	23,7	320,7	115,2

Fortsetzung Tabelle A-12

Kuh	Masse an Mineralstoffen							
	Ca	P	K	Mg	S	Cu	Fe	Zn
	g/Tier					mg/Tier		
32	8.674	4.979	1.287	233	1.125	4.627	49.294	22.934
62	10.631	5.961	1.509	255	1.289	3.312	53.887	32.123
68	9.382	5.220	1.124	235	1.021	3.659	44.902	18.477
109	9.790	5.424	1.214	247	1.029	3.058	56.798	20.438
117	8.503	4.880	1.371	220	1.077	2.690	50.718	20.733
125	8.937	5.150	1.338	230	1.086	2.920	46.494	18.782
127	9.883	5.607	1.409	233	1.205	3.249	50.552	24.826
180	9.321	5.317	1.436	245	1.194	3.752	53.266	24.912
192	10.686	5.941	1.445	271	1.194	4.054	54.616	23.650
200	9.019	5.113	1.265	240	1.094	4.257	54.191	21.048
208	10.717	6.050	1.526	264	1.253	3.965	44.936	33.606
209	13.067	7.081	1.345	328	1.127	3.600	44.572	24.579
210	9.138	5.184	1.437	244	1.156	3.146	55.611	27.312
217	9.875	5.458	1.251	223	1.005	2.898	51.455	24.157
230	10.880	5.971	1.375	325	1.163	3.752	51.770	24.854
236	10.333	5.638	1.230	256	1.026	3.358	48.835	20.120
243	7.798	4.416	1.107	205	911	2.826	39.884	20.852
245	9.259	5.257	1.251	229	1.065	3.349	45.505	20.460
288	8.576	4.932	1.328	226	1.089	3.195	46.273	22.014
298	8.546	5.025	1.447	243	1.230	4.019	49.409	22.164
345	9.262	5.132	1.043	211	824	2.076	38.718	16.748
368	4.836	2.745	686	124	563	988	24.626	9.997
383	11.209	6.322	1.559	344	1.383	4.268	67.086	29.410
416	7.260	4.163	1.092	187	911	3.107	44.604	16.378
462	8.259	4.820	1.305	230	1.079	3.178	41.416	19.907
463	10.564	5.982	1.434	258	1.244	3.718	59.847	25.843
512	10.127	5.712	1.468	242	1.166	2.789	65.676	24.207
751	10.333	5.682	1.409	255	1.178	3.627	53.805	27.123
894	8.617	4.921	1.198	226	1.032	3.768	49.163	19.289
904	7.408	4.066	823	171	689	2.810	37.995	13.642

Tabelle A-13: Zusammenstellung der tierindividuellen Daten zur Schätzung des Leerkörperrohffettgehalts am Tag der Schlachtung*

Kuh	LM	BCS	RFD	RFD	RFD	MD	HFD						
	kg		1	2	3	mm	1	2	3	4	5	6	7
			mm	mm	mm		mm						
32	784	4,50	16,3	25,8	13,9	81	23	9	9	13	21	8	17
62	807	4,25	20,2	26,3	11,6	83	27	13	14	11	24	9	24
68	677	3,75	14,2	16,6	9,9	64	22	12	13	12	16	10	19
109	705	3,50	6,9	15,2	7,6	64	24	12	13	14	20	10	18
117	736	4,00	12,2	24,7	12,1	92	27	11	12	13	15	8	18
125	707	3,00	7,1	6,4	8,9	68	31	10	13	12	17	9	17
127	860	5,00	34,2	38,9	13,4	93	16	8	8	15	19	8	12
180	811	4,00	13,4	15,2	14,2	76	16	9	9	10	19	8	18
192	798	3,25	11,5	18,4	8,3	70	26	11	11	11	22	9	18
200	732	3,50	13,1	15,5	10,4	75	24	10	12	12	19	9	19
208	818	4,50	31,8	33,4	15,5	80	32	15	14	16	21	9	21
209	865	4,25	18,9	22,1	14,7	92	35	12	17	14	28	11	17
210	746	4,25	6,3	19,5	13,4	67	26	11	11	10	21	10	15
217	757	4,25	22,3	31,5	14,5	78	40	18	17	17	21	8	26
230	757	4,00	16,0	20,5	9,9	67	27	10	13	13	22	10	18
236	736	4,25	11,3	23,1	10,0	80	34	13	15	15	17	10	21
243	625	2,50	8,7	8,7	8,0	44	21	10	11	11	17	9	16
245	714	3,75	11,1	15,6	9,7	64	25	11	12	15	16	8	14
288	697	3,75	13,1	20,5	11,8	87	24	9	11	14	18	9	16
298	811	4,25	14,2	23,9	11,6	98	21	11	12	12	22	10	20
345	577	3,00	9,4	11,1	8,7	49	21	12	12	15	19	11	20
368	414	1,75	5,4	5,6	6,8	32	12	9	10	8	13	7	11
383	855	4,50	14,0	20,0	18,4	85	27	13	14	15	22	9	21
416	608	3,25	10,5	15,0	8,7	66	25	11	12	10	17	8	14
462	768	3,75	13,4	17,6	9,9	88	22	10	11	12	18	8	21
463	830	3,75	10,5	19,2	9,7	91	22	12	12	11	17	11	18
512	798	3,75	21,8	25,5	10,0	68	21	10	11	12	17	8	20
751	836	4,25	11,3	21,3	9,5	80	22	13	12	17	20	11	17
894	672	3,25	8,9	11,6	8,7	57	28	11	11	10	17	9	18
904	577	2,00	6,4	6,2	5,6	26	14	10	12	11	14	7	12

* LM: Lebendmasse, BCS: Body Condition Score, RFD: Rückenfettdicke, MD: Muskeldicke, HFD: Hautfaltendicke, MS: Messstrecke, WRH: Widerristhöhe, KBH: Kreuzbeinhöhe, BU: Brustumfang, R5: Resistanz (5 kHz), R50: Resistanz (50 kHz), IMF: Intramuskulärer Fettgehalt, FZGr: Fettzellgröße retroperitoneal, FZGs: Fettzellgröße subkutan

Fortsetzung Tabelle A-13

Kuh	BIA Messstrecken											
	HFD	HFD	HFD	HFD	MS	MS	MS	MS	WR	KBH	BU	Euter
	8	9	10	11	I	II	III	IV	H			
	mm	mm	mm	mm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm
32	22	11	20	12	108	155	145	79	139	141	240	42
62	30	12	13	22	124	178	157	91	144	147	233	39
68	22	10	12	21	115	163	144	87	140	144	217	40
109	20	12	10	19	127	169	164	114	148	148	216	40
117	26	10	12	17	134	177	164	101	144	148	212	43
125	19	12	11	15	124	166	159	91	146	148	222	42
127	26	10	11	18	110	157	148	82	143	147	236	42
180	24	9	11	13	131	174	164	96	144	147	224	40
192	19	10	9	18	120	164	159	97	149	153	231	44
200	29	11	13	23	122	166	151	85	142	146	211	39
208	27	10	11	15	131,5	170	164	101	145	143,5	224	24
209	26	14	13	26	131,5	175	156	99	153	156	237,5	26
210	29	11	12	15	139	175	165	96	145	146	220	40
217	23	12	14	21	116	163	155	98	143,5	141	224,5	27
230	27	13	12	19	123	164	162	94	146	150	227	41
236	23	11	13	21	121,5	169	148	99	140,5	143,5	218,5	24
243	18	11	10	19	119	160	150	85	137	141	209	33
245	23	9	11	19	145	149	154	89	148	148	216	25
288	25	9	11	14	119	172	150	92	140	144	212	44
298	28	11	12	19	120	176	145	83	141	148	222	37
345	20	12	12	24	113	161	153	91	145	148	208	33
368	12	8	12	11	104	145	142	86	139	137	183	18
383	19	11	11	21	130	176	161	94	147	150	238	29
416	19	8	11	17	106	165	150	90	143	142	208	29
462	29	10	13	14	116	163	146	82	143	148	226	35
463	28	11	13	19	123	176	155	86	147	149	228	36
512	18	10	11	10	124	166	157	89	148	148	228	47
751	23	10	23	25	137,5	173,5	164,5	107	143,5	146,5	234	39
894	24	11	11	22	116	157	156	87	141	141	224	42
904	16	8	10	18	114	158	152	88	146	148	208	25

Fortsetzung Tabelle A-13

Kuh	BIA Resistanz (Messpunkt/Frequenz)											
	A/ R5	A/ R50	B/ R5	B/ R50	C/ R5	C/ R50	D/ R5	D/ R50	E/ R5	E/ R50	F/ R5	F/ R50
	Ω	Ω	Ω	Ω	Ω	Ω	Ω	Ω	Ω	Ω	Ω	Ω
32	36	24	207	179	32	24	33	22	36	25	13	9
62	45	29	240	206	43	29	35	25	41	27	17	12
68	37	24	243	219	32	25	32	22	36	25	12	9
109	31	22	235	208	33	24	32	24	33	23	12	9
117	40	25	223	194	37	25	33	24	38	26	16	11
125	32	20	226	203	29	22	32	21	35	23	12	9
127	39	30	268	206	34	24	38	26	40	38	.	.
180	39	25	221	189	32	24	32	22	35	23	13	10
192	35	23	192	167	37	29	34	24	38	25	13	9
200	35	23	199	173	32	24	33	22	35	25	8	6
208	33	24	219	194	33	24	25	18	36	24	9	8
209	36	26	173	148	36	28	30	21	31	22	7	6
210	35	25	213	187	34	42	28	19	32	23	15	10
217	29	21	180	159	31	25	26	20	34	24	10	9
230	35	23	216	190	31	26	32	22	32	23	19	14
236	33	23	240	210	35	26	28	21	35	26	6	7
243	30	21	191	168	32	25	30	21	35	25	12	9
245	38	25	222	196	28	21	33	23	39	29	6	5
288	33	21	243	232	31	23	34	22	33	23	16	10
298	37	25	229	203	33	25	36	25	37	26	16	11
345	37	25	197	180	33	29	32	22	37	27	7	6
368	31	23	223	247	37	30	28	21	36	29	15	12
383	33	22	205	183	33	25	36	25	35	25	7	5
416	32	22	208	184	30	22	34	24	33	24	14	10
462	33	23	248	221	32	25	40	28	41	27	10	7
463	37	24	235	193	31	23	37	24	39	27	16	12
512	32	21	220	197	33	24	34	24	30	21	16	11
751	36	24	212	182	33	24	33	24	32	21	6	4
894	34	23	206	178	31	23	35	24	35	25	16	11
904	33	22	131	118	26	21	30	22	30	23	7	6

Fortsetzung Tabelle A-13

Kuh	BIA				
	Temperatur °C	Leptin ng/ml	IMF %	FZGr µm ²	FZGs µm ²
32	8,1	2,03	4,6	4.788	8.207
62	3,2	3,09	4,9	7.175	5.069
68	19,3	1,82	2,7	3.491	3.964
109	19,8	2,72	4,1	3.190	2.785
117	8,5	2,16	2,6	3.766	4.219
125	5,4	1,02	1,3	2.099	3.021
127	16,5	3,85	6,8	7.986	7.652
180	9,6	3,92		4.060	6.852
192	8,4	1,71	3,1	5.710	5.309
200	8,0	1,58	2,8	3.228	4.970
208	18,6	5,43	3,0	6.534	7.033
209	18,5	3,43	5,0		
210	9,6	1,60	1,9	3.419	4.775
217	16,0		4,9		
230	9,0	2,56	2,0	4.890	4.751
236	19,1	9,78	5,6	4.931	5.133
243	5,2	0,91	1,6	2.004	3.362
245	16,9	1,48	2,9	2.673	6.322
288	17,4	1,99	2,1	3.653	5.950
298	10,3	3,45	2,7	8.037	6.884
345	16,1	1,15	1,9	2.515	4.013
368	22,0	1,47	1,0	1.129	1.553
383	2,8	5,89	3,3	5.233	4.457
416	9,9	1,24	4,1	1994	2.307
462	10,4	2,20	4,4	5.638	4.617
463	10,3	29,06	3,4	11.603	6.758
512	9,2	2,29		3.505	2.324
751	19,5	1,89	8,3	5.386	8.066
894	10,0	2,42	2,5	2.529	3.958
904	18,9	1,20	0,7	143	283

Tabelle A-14: Zusammenstellung der tierindividuellen Daten der Aufstallungsphase (AP)

Kuh	geplante Energieversorgung*	Aufstallungstage	Futteraufnahme (kg TM)	Milchleistung (kg ECM/Tag)	LM (kg) Beginn AP	LM (kg) Ende AP	Energiesaldo (MJ NEL)	BCS Beginn AP	BCS Ende AP	RFD 1 (mm) Beginn AP	RFD 1 (mm) Ende AP	RFD 2 (mm) Beginn AP	RFD 2 (mm) Ende AP	RFD 3 (mm) Beginn AP	RFD 3 (mm) Ende AP
32	2	34	19	26	799	788	21	4,50	4,50	19,2	16,3	28,7	25,8	24,0	13,9
62	2	40	16	16	807	809	361	4,25	4,25	20,0	20,2	28,9	26,3	13,7	11,6
68	2	36	17	22	674	690	351	3,50	3,75	16,0	14,2	17,9	16,6	12,4	9,9
109	2	55	19	25	698	708	848	3,50	3,50	8,3	6,9	18,9	15,2	7,9	7,6
117	2	37	19	27	737	748	23	4,00	4,00	14,8	12,2	28,1	24,7	12,5	12,1
125	1	37	17	29	697	708	-787	3,25	3,00	7,4	7,1	14,5	6,4	8,9	8,9
127	2	44	18	19	872	864	561	4,75	5,00	32,6	34,2	37,3	38,9	12,1	13,4
180	1	58	19	24	788	819	654	4,00	4,00	15,2	13,4	17,9	15,2	10,2	14,2
192	1	30	24	30	791	798	659	3,50	3,25	13,4	11,5	16,6	18,4	10,0	8,3
200	2	37	22	29	696	733	855	3,50	3,50	6,9	13,1	14,1	15,5	10,5	10,4
208	2	47	17		730	826	3.714	4,00	4,50	18,7	31,8	20,5	33,4	13,4	15,5
209	2	26	17		834	869	2.019	4,00	4,25	18,0	18,9	27,9	22,1	13,1	14,7
210	2	23	21	33	758	751	-148	4,25	4,25	6,9	6,3	23,7	19,5	14,0	13,4
217	2	19	17		732	762	1.612	4,00	4,25	18,7	22,3	23,9	31,5	13,4	14,5
230	2	30	21	37	755	769	-320	4,25	4,00	13,2	16,0	24,2	20,5	10,3	9,9
236	2	40	17		662	737	3.322	4,00	4,25	8,4	11,3	16,8	23,1	9,7	10,0
243	1	44	17	29	666	630	-254	3,00	2,50	9,9	8,7	9,2	8,7	8,9	8,0
245	1	44	13	19	735	723	-358	3,75	3,75	9,9	11,1	18,4	15,6	13,4	9,7
288	1	37	15	23	716	705	-141	3,75	3,75	16,0	13,1	20,2	20,5	12,1	11,8
298	2	65	19	8	709	817	3.956	3,75	4,25	14,2	14,2	23,7	23,9	15,2	11,6
345	1	37	5,7		621	583	-12	3,00	3,00	9,9	9,4	13,5	11,1	8,7	8,7
368	1	19	6,3		424	416	72	2,00	1,75	6,3	5,4	6,4	5,6	6,9	6,8
383	2	37	16		837	862	2.372	4,00	4,50	14,7	14,0	21,3	20,0	15,0	18,4
416	1	49	15	19	628	616	121	3,25	3,25	10,3	10,5	15,0	15,0	9,5	8,7
462	1	42	14	15	792	777	61	3,75	3,75	15,0	13,4	20,5	17,6	15,2	9,9
463	1	41	13	10	857	836	516	4,00	3,75	9,9	10,5	19,1	19,2	9,7	9,7
751	2	34	21	24	842	846	987	4,25	4,25	11,3	11,3	26,3	21,3	10,0	9,5
894	1	34	19	25	683	672	390	3,50	3,25	11,6	8,9	20,0	11,6	7,8	8,7
904	1	12	6,3	10	592	586	-463	2,25	2,00	6,3	6,4	6,9	6,2	5,9	5,6

* 1: unterversorgt, 2: überversorgt

Fortsetzung Tabelle A-14

Kuh	BIA: Messpunkt A									
	MD (mm) Beginn AP	MD (mm) Ende AP	SFHD Beginn AP	SFHD Ende AP	KBH (cm)	MS III (cm)	R5 (Ω) Beginn AP	R5 (Ω) Ende AP	R50 (Ω) Beginn AP	R50 (Ω) Ende AP
32	78,0	81,0	99	93	141	145	35	36	24	24
62	78,0	83,0	83	102	147	157	37	45	26	29
68	72,0	64,0	93	81	144	144	37	37	25	24
109	64,0	64,0	89	82	148	164	35	31	23	22
117	82,0	92,0	81	84	148	164	40	40	21	25
125	71,0	68,0	83	76	148	159	38	32	24	20
127	79,0	93,0	77	83	147	148	37	39	25	30
180	73,0	76,0	86	82	147	164	40	39	25	25
192	70,0	70,0	75	79	153	159	34	35	23	23
200	77,0	75,0	80	92	146	151	35	35	24	23
208	80,0	85,0	83	96	144	164	36	33	25	24
209	92,0	94,0	90	98	156	156	36	36	26	26
210	67,0	67,0	84	87	146	165	36	35	25	25
217	85,0	78,0	86	101	141	155	31	29	21	21
230	79,0	67,0	96	92	150	162	36	35	25	23
236	69,0	80,0	89	89	144	148	31	33	22	23
243	58,5	44,4	79	72	141	150	33	30	23	21
245	78,0	64,0	81	79	148	154	31	38	21	25
288	75,0	87,0	90	84	144	150	34	33	22	21
298	63,0	98,0	91	94	148	145	41	37	28	25
345	45,0	48,9	79	86	148	153	38	37	25	25
368	28,7	32,1	53	56	137	142	30	31	22	23
383	76,0	85,0	94	88	150	161	31	33	21	22
416	66,0	66,0	80	71	142	150	29	32	21	22
462	82,0	88,0	96	93	148	146	35	33	23	23
463	94,0	91,0	80	87	149	155	37	37	24	24
751	81,0	80,0	90	100	147	165	38	36	26	24
894	53,2	56,7	78	80	141	156	37	34	24	23
904	27,1	25,5	68	63	148	152	28	33	19	22

Danksagung

An dieser Stelle möchte ich mich von ganzen Herzen bei allen bedanken, die zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen haben.

Zunächst bedanke ich mich bei Herrn Prof. Dr. Markus Rodehutschord für seine Geduld, das Vertrauen in meine Arbeit und die freundliche Unterstützung, Beratung und Hilfe bei der Anfertigung dieser Promotion.

Herrn Prof. Dr. Hubert Spiekers danke ich für die Möglichkeit meine Arbeit am Institut für Tierernährung und Futterwirtschaft anfertigen zu können. Darüber hinaus bedanke ich mich für die gute Zusammenarbeit, die fördernde und fordernde fachliche und wissenschaftliche Betreuung und den Glauben an mich.

Ein weiterer besonderer Dank gilt Herrn Dr. Thomas Ettle, der bei jeder Art von Fragen und Problemen stets hilfsbereit und mit offenem Ohr da war. Seine Unterstützung und das Vertrauen in meine Person haben mich in meiner Arbeit aber auch persönlich sehr geprägt.

Außerdem gilt mein Dank den Mitarbeitern des Institutes für Tierernährung und Futterwirtschaft für das gute Arbeitsklima, die interessanten Diskussionen und Anregungen und die tatkräftige Unterstützung. Mein besonderer Dank gilt hierbei Anton Obermaier, Sabine Weinfurtner, Ludwig Hitzlsperger und Peter Edelmann.

Ein großes Dankeschön gilt den Mitarbeitern der Abteilung Versuchsbetriebe, ohne deren Hilfe ein reibungsloser Ablauf der Versuche und der Schlachtung nicht möglich gewesen wäre.

Weiterhin danke ich den Beschäftigten des Zentrallabors Grub für die Untersuchung der zahlreichen Futter- und Gewebeproben. Mein spezieller Dank gilt dabei Frau Claudia Reinhardt und Frau Sabine Oppelt, die für jedes noch so widerspenstige Material eine Lösung gefunden haben.

Die Förderung des Vorhabens erfolgte aus Mitteln des Bundesministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (BMELV) über die Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (BLE) im Rahmen des Programms zur Innovationsförderung, denen ich an dieser Stelle meinen Dank aussprechen möchte.

Von ganzem Herzen danke ich meinen Eltern für ihre unermüdliche Unterstützung in allen Lebenslagen und dafür, dass sie meine Ziele nie in Frage gestellt haben.

Mein abschließendes Dankeschön gilt meinem Mann Dandy, der mich in guten und in schlechten Phasen ertragen hat und mir mit seiner positiven Einstellung und seinem Blick auf das Wesentliche immer wieder über Durststrecken hinweggeholfen und mich aufgemuntert hat.