

Universität  
Rostock



Traditio et Innovatio

Aus der Professur für Tiergesundheit und Tierschutz  
der Agrar- und Umweltwissenschaftlichen Fakultät

**Weiterentwicklung von Bewertungswerkzeugen zur Charakterisierung der  
Versorgungssituation von Milchkühen mittels Daten aus der Milchkontrolle**

Kumulative Dissertation

zur Erlangung des akademischen Grades  
Doktor der Agrarwissenschaften (doctor agriculturæ (Dr. agr.))

an der Agrar- und Umweltwissenschaftlichen Fakultät  
der Universität Rostock

vorgelegt von  
M. Sc. Julia Steffanie Glatz-Hoppe  
aus Mandelshagen

Rostock, 17. Dezember 2019

**Gutachter:**

Prof. Dr. Elmar Mohr, Universität Rostock, Agrar- und Umweltwissenschaftliche Fakultät, Professur für Tiergesundheit und Tierschutz

PD Dr. Anke Römer, Dummerstorf, Landesforschungsanstalt für Landwirtschaft und Fischerei Mecklenburg-Vorpommern, Institut für Tierproduktion

Prof. Dr. Wolfgang Heuwieser, Freie Universität Berlin, Fachbereich Veterinärmedizin, Tierklinik für Fortpflanzung

**Datum der Einreichung:** 17. Dezember 2019

**Datum der Verteidigung:** 05. Oktober 2020

## Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis .....	I
Tabellenverzeichnis .....	II
Abbildungsverzeichnis.....	IV
Abkürzungsverzeichnis.....	VIII
1 Einleitung und Problemstellung .....	1
1.1 Bewertung von Fütterung und Stoffwechsel anhand von Milchkontrolldaten.....	1
1.2 Notwendigkeit zur Weiterentwicklung von Bewertungswerkzeugen .....	3
2 Nutzung von Milchinhaltsstoffen zur Beurteilung der Versorgungssituation von Milchkühen 1. Mitteilung: Milchleistung und Inhaltsstoffe deutscher Milchrindrassen im Vergleich .....	5
3 Nutzung von Milchinhaltsstoffen zur Beurteilung der Versorgungssituation von Milchkühen 2. Mitteilung: Bewertungsschema zur Beurteilung der Inhaltsstoffe auf Betriebsebene .....	37
4 Relationship between milk constituents from milk recording to health data, energy and nutrient intake and metabolic parameters from blood and urine of dairy cows.....	69
5 Zusammenfassende Diskussion.....	110
5.1 Verwendete Datensätze .....	110
5.2 Zielstellung .....	112
5.3 Die drei wissenschaftlichen Publikationen .....	112
5.4 Empfehlungen zur Umsetzung .....	114
6 Schlussfolgerungen.....	121
7 Danksagung .....	123
8 Literaturverzeichnis (Kapitel 1 und 5) .....	124
Selbstständigkeitserklärung .....	129

## Tabellenverzeichnis

<b>Tabelle 2-1.</b> Frequenz der Daten zu den ausgewählten Rassen sowie Mittelwert, Median, Standardabweichung und Spannweite für Laktationsnummer und Laktationstag .....	9
<b>Tabelle 2-2.</b> Mittlere Jahresmilchleistungen verschiedener Rassen nach Laktationsnummern 1 bis 7 und $\geq 8$ im Kalenderjahr 2015 (einbezogene Melktage in Anlehnung an ADR (2016)).....	11
<b>Tabelle 2-3.</b> Laktationstage, an denen Milchmenge und Inhaltsstoffe ihr Maximum (Max.) bzw. Minimum (Min.) erreichen für die Rassen Deutsche Holstein-Schwarzbunt, Fleckvieh, Braunvieh, Angler und Jersey nach Laktationsklassen (Lakt.) (Laktationskurven modelliert nach Ali und Schaeffer (1987), Laktationstag (LT) 6 bis 320) .....	21
<b>Tabelle 2-4.</b> F-Werte (Typ III Summe der Quadrate) der fixen Effekte der jeweils gewählten allgemeinen linearen Modelle (alle Effekte hochsignifikant; $p < 0,0001$ ) und verallgemeinerte Kleinste-Quadrate Mittelwerte je Rasse .....	28
<b>Tabelle 3-1.</b> Deskriptive Statistik für die GRUPPE verschiedener Rassen, ANGLER und JERSEY (Min.: Minimum; Max.: Maximum).....	41
<b>Tabelle 3-2.</b> Lineare Regressionen für die Abhängigkeiten von Eiweiß, Fett, Laktose, Fett-Eiweiß- und Fett-Laktose-Quotient von der Milchmenge.....	43
<b>Tabelle 3-3.</b> Korrelationskoeffizienten nach Pearson für Fett, Fett-Eiweiß-Quotient bzw. Fett-Laktose-Quotient mit ausgewählten Parametern der Milchkontrolle.....	44
<b>Tabelle 3-4.</b> Formeln zur Berechnung der jeweiligen oberen und unteren Grenzen eines Normalbereichs für Milcheiweiß ( $E_{\max}$ und $E_{\min}$ ) bzw. Milchfett ( $F_{\max}$ und $F_{\min}$ ).....	47
<b>Tabelle 3-5.</b> Zusammenhang von täglicher Milchmenge und Milchharnstoffgehalt sowie ausgewählte Parameter der Milchkontrolle je Harnstoffklasse und über alle Daten der GRUPPE.....	56
<b>Tabelle 3-6.</b> Anteile (%) an den Bewertungsklassen nach 9-Felder-Tafel und der neuen Fütterungsbewertung für GRUPPE, ANGLER und JERSEY .....	60
<b>Tabelle 3-7.</b> Milchkontrolldaten eines Beispielbetriebes nach Laktationsstadium und Laktationsnummer mit Anteilen Kühe an Versorgungsklassen.....	62

<b>Table 4-1.</b> Parameters and ranges of values selected for classification of the supply situation of dairy cows according to old and new scheme and as a reference the intake of feed energy and feed crude protein relative to requirement to match the validity .....	79
<b>Table 4-2.</b> Descriptive statistics of selected variables in Dataset A originating from 32 German dairy farms and 43,863 dairy cows that calved between 2014 and 2018 .....	80
<b>Table 4-3.</b> Frequency and day of diagnosis of all 72,982 data records.....	81
<b>Table 4-4.</b> Descriptive statistics of selected variables in Dataset B of 1,650 dairy cows and 12 German experimental farms between 6 and 320 DIM .....	90
<b>Table 4-5.</b> Pearson's correlation coefficients of some feeding characteristics, blood and urine traits and reduction of body condition, back fat and body weight with selected traits of standard milk recording; p-values in parentheses under correlation coefficient.....	91
<b>Table 4-6.</b> Adjustment of classification of milk constituents according to old and new scheme with feed energy and crude protein intake in relation to demand. Correctly assigned values for each field in % (Sensitivity per field; n = 46,243). Field description and value ranges for classification are shown in Figure 4-1 and Table 4-1.....	95
<b>Table 4-7.</b> Adjustment of classification of milk constituents according to new and old scheme with feed energy and crude protein intake in relation to demand. Correctly assigned values total in % (Sensitivity of scheme). .....	96
<b>Tabelle 5-1.</b> Übersicht Ableitung eines populationsspezifischen $FEQ_{Grenz}$ .....	115
<b>Tabelle 5-2.</b> Beispieltabelle nach neuer Fütterungsbewertung für einen Betrieb mit Kühen der Rasse Deutsche Holstein .....	118

## Abbildungsverzeichnis

- Abbildung 1-1.** Punktdiagramm 9-Felder-Tafel nach Spohr und Wiesner (1991) für einen Beispielbetrieb. -: Mangel, +: Überversorgung, Energie: Futterenergieversorgung; Protein: Futterrohproteinversorgung. .... 2
- Abbildung 2-1.** Arithmetische Mittelwerte und Bereiche der Standardabweichung verschiedener Milchleistungsparameter für fünfzehn Rassen (n = 7.370.227). .... 13
- Abbildung 2-2.** Mittelwerte ( $\bar{x}_{arith}$ ) und Bereiche der Standardabweichung verschiedener Milchleistungsparameter für fünfzehn Rassen über alle Daten. .... 14
- Abbildung 2-3.** Mittelwerte und Standardabweichung für Milchmenge, Fett, Eiweiß, Laktose sowie den FEQ für ausgewählte Rassen nach Laktationsklassen (SBT: n = 3.665.150; FL: n = 2.295.075; BV: 519.985; Angler: n = 81.722; Jersey: n = 3.601). .... 17
- Abbildung 2-4.** Mittelwerte und Standardabweichung für Milchharnstoffgehalt und logarithmierte Zellzahlwerte für Deutsche Holstein-Schwarzbunt, Fleckvieh, Braunvieh, Angler und Jersey nach Laktationsklassen. ... 19
- Abbildung 2-5.** Laktationskurven modelliert nach Ali und Schaeffer (1987) für Milchmenge, Fett- und Eiweißgehalte bis zum 320. Laktationstag je Laktationsnummernklasse beispielhaft für Deutsche Holstein-Schwarzbunt. .... 25
- Abbildung 2-6.** Laktationskurven modelliert mit der Funktion nach Ali und Schaeffer (1987) für Laktosegehalt, Fett-Eiweiß-Quotient und Harnstoffgehalt je Laktationsnummernklasse exemplarisch für Deutsche Holstein-Schwarzbunt. .... 26
- Abbildung 2-7.** Geraden der linearen Regressionen über alle Daten und Mittelwerte je Rasse (x) für die Abhängigkeiten von Milchfett, Milcheiweiß sowie Fett-Eiweiß-Quotient von der Milchmenge. .... 30
- Abbildung 3-1.** Mittelwerte für Fett-Eiweiß- sowie Fett-Laktose-Quotient je Laktationstag 6 bis 320 für die GRUPPE und ANGLER ..... 46
- Abbildung 3-2.** Milchmengenabhängiger Normalbereich für Eiweiß (%) der Rasse ANGLER mit der Regressionslinie ( $\cdots$ ) und der oberen bzw. unteren Grenze  $E_{max}$  bzw.  $E_{min}$  (—) ..... 48

- Abbildung 3-3.** Milchmengenabhängiger Normalbereich für Fett (%) der Rasse ANGLER mit der Regressionslinie (····) und der oberen bzw. unteren Grenze  $F_{\max}$  bzw.  $F_{\min}$  (—)..... 48
- Abbildung 3-4.** Mittelwerte je Laktationstag für die tägliche Milchmenge von nach verschiedenen Grenzwerten für eine Energiemangelsituation gruppierten und dem Mittel aller MLP-Daten der GRUPPE. .... 50
- Abbildung 3-5.** Mittelwerte je Laktationstag für die tägliche Milchmenge von nach verschiedenen Kombinationen von Grenzwerten für eine Energiemangelsituation gruppierten MLP-Daten der GRUPPE..... 51
- Abbildung 3-6.** Mittelwerte je Laktationstag für die tägliche Milchmenge von nach verschiedenen Grenzwerten für eine Energieübersversorgung gruppierten MLP-Daten. .... 53
- Abbildung 3-7.** Mittelwerte je Laktationstag für die tägliche Milchmenge von nach verschiedenen Grenzwerten für eine Pansenfermentationsstörung gruppierten MLP-Daten. .... 55
- Abbildung 3-8.** Klassenmittelwerte für Milch [kg/Tag] und Harnstoff [mg/L] der in 50 mg/L Harnstoff-Schritten klassifizierten Daten der GRUPPE (n = 7.284.904) und der GRUPPE in der Früh-laktation (n = 1.296.716). . 57
- Abbildung 3-9.** Punktdiagramm für Harnstoffwerte und Fett-Eiweiß-Quotient nach neuer Fütterungsbewertung für einen Beispielbetrieb. .... 61
- Figure 4-1.** 9-field table for data classification into nine categories for feed energy and feed crude protein supply of dairy cows. + = oversupply; o = optimal supply; – = underfeeding..... 79
- Figure 4-2.** Milk yield [kg/d], milk fat:protein ratio and milk urea [mg/L] by number of test day from 1<sup>st</sup> to 5<sup>th</sup> depending on incidence of acidosis, ketosis, hypercalcemia, and retained placenta respectively. Data is given as least squares means. Differences between groups are indicated with † (p < 0.10), \* (p < 0.05), \*\* (p < 0.01), and \*\*\* (p < 0.001). MR 1: 1<sup>st</sup> milk recording; MR 2: 2<sup>nd</sup> milk recording; MR 3: 3<sup>rd</sup> milk recording; MR4: 4<sup>th</sup> milk recording; MR 5: 5<sup>th</sup> milk recording..... 82
- Figure 4-3.** Milk yield [kg/d], milk fat:protein ratio and milk urea [mg/L] by number of test day up to 5<sup>th</sup> milk recording depending on incidence of endometritis, and ovarian infertility. Data is given as least squares means. Differences between groups are indicated with † (p < 0.10), \*\*

- ( $p < 0.01$ ), and \*\*\* ( $p < 0.001$ ). MR 1: 1<sup>st</sup> milk recording; MR 2: 2<sup>nd</sup> milk recording; MR 3: 3<sup>rd</sup> milk recording; MR4: 4<sup>th</sup> milk recording; MR 5: 5<sup>th</sup> milk recording. .... 83
- Figure 4-4.** Probabilities for risk of ketosis, endometritis and ovarian infertility depending on milk fat:protein ratio (FPR) classification at 1<sup>st</sup> to 5<sup>th</sup> milk recording. Differences between optimum FPR class and FPR > 1.4 class within the test days are indicated with \* ( $p < 0.05$ ), \*\* ( $p < 0.01$ ), and \*\*\* ( $p < 0.001$ ). .... 86
- Figure 4-5.** Sensitivity, specificity, false positive value, and false negative value for detection of diagnosis ketosis and endometritis. Tested milk trait threshold values are milk fat:protein ratio (FPR) > 1.4 and  $F > F_{\max}$  in combination with milk fat:protein ratio > 1.4 and  $P < P_{\min}$  and milk fat:protein ratio > 1.5. Number of observations used: A = 113,744; B = 115,638. .... 86
- Figure 4-6.** Least squares means of fertility data of cows within 1<sup>st</sup> to 5<sup>th</sup> milk recording depending on milk urea classification low (< 150 mg /L), optimum ( $\geq 150$  to  $\leq 250$  mg/L), and high (> 250 mg/L) for each test day. Whiskers indicate standard errors. Number of observations used: 9,214. A: 1<sup>st</sup> test day; B: 2<sup>nd</sup> test day; C: 3<sup>rd</sup> test day; D: 4<sup>th</sup> test day; E: 5<sup>th</sup> test day. DFS: days to first service: Interval from calving to first insemination; DP: delay period: Interval from first insemination to successful insemination in days; AIPP: Number of inseminations per pregnancy. .... 88
- Figure 4-7.** Energy balance per day (A), net acid-base excretion in urine (B), blood BHB (C), blood nonesterified fatty acids (D), loss of BW (E) and BCS (F) in relation to milk fat:protein ratio. Scatter diagrams show least squares means per class of milk fat:protein ratio. Number of observations used: energy balance = 46,680; net acid-base excretion = 2,281; blood BHB = 3,955; blood nonesterified fatty acids = 3,955; loss of BW = 24,605; loss of BCS = 6,529. Mean values of FPR differ at a level of  $p < 0.001$ . .... 93
- Figure 4-8.** Daily milk yield (A), ruminal nitrogen balance (RNB; B), crude protein content of the feed ration (C) and daily crude protein balance (D) in relation to milk urea content. Scatter plots show least squares means per



	class of milk urea content. Number of observations used: milk yield = 49,259; ruminal nitrogen balance = 49,275; crude protein content = 49,275; crude protein balance = 46,317. Mean values of Milk urea differ at a level of $p < 0.001$ .....	94
<b>Figure 4-9.</b>	Lactation curves for energy balance [MJ NE <sub>L</sub> /d] over all data (Mean) and for data sorted by milk protein concentration $> 3.80\%$ and $> P_{\max}$ . Number of observations used: Mean = 46,680; Milk protein $> 3.80\%$ = 5,003; Milk protein $> P_{\max}$ = 6,237. Curves are modeled as described by Ali and Schaeffer (1987).....	97
<b>Figure 4-10.</b>	Sensitivity, specificity, false positive value, and false negative value for a nutritional energy optimum defined by more than 90 % of feed energy intake in relation to demand in MJ NE <sub>L</sub> /d. Tested milk trait threshold values are milk fat:protein ratio $\leq 1.4$ and milk protein $\geq 3.20\%$ . Number of observations used: A = 46,243; B = 10,561. ....	98
<b>Figure 4-11.</b>	Sensitivity, specificity, false positive value, and false negative value for poor metabolic situation associated with ketosis or strong fat mobilization from adipose tissue defined by different blood values and loss of body weight and condition. Tested milk trait threshold values are milk fat:protein ratio (FPR) $> 1.4$ and milk fat $> F_{\max}$ in combination with milk fat:protein ratio $> 1.4$ and milk protein $< P_{\min}$ and milk fat:protein ratio $> 1.5$ . Number of observations used: A = 2,001; B = 2,001; C = 5,504; D = 1,539.....	99
<b>Figure 4-12.</b>	Sensitivity, specificity, false positive value, and false negative value for poor metabolic situation associated with subclinical ruminal acidosis defined by urine net acid-base excretion and blood calcium values. Tested milk trait threshold values are milk fat $< F_{\min}$ , milk fat:protein ratio (FPR) $< 1.0$ and F $< 3.00\%$ . Number of observations used: A = 2,281; B = 3,953.....	101
<b>Abbildung 5-1.</b>	Beispiel-Punktdiagramm nach neuer Dummerstorfer Fütterungsbewertung für einen Betrieb mit Kühen der Rasse Deutsche Holstein. ....	118

## Abkürzungsverzeichnis

<b>Kürzel</b>	<b>Deutsche Bezeichnung</b>	<b>Bezeichnung in Englisch</b>
<b>AIPP</b>	Anzahl Besamungen pro Trächtigkeit	Number of artificial inseminations per pregnancy
<b>aNDFom</b>	Neutral-Detergenzien-Faser nach Amylasebehandlung und Veraschung	Neutral detergent fiber after amylase treatment and ashing
<b>BCS</b>	Körperkonditionsbenotung	Body Condition Score
<b>BHB</b>	Betahydroxybutyrat	$\beta$ -hydroxybutyrate
<b>BV</b>	Braunvieh	Brown Swiss
<b>BW</b>	Körpermasse	Body weight
<b>CF</b>	Rohfaser	Crude fiber
<b>CP</b>	Rohprotein	Crude protein
<b>DFS</b>	Freiwillige Wartezeit in Tagen	Interval from calving to first insemination in days (days to first service)
<b>DIM</b>	Laktationstage	Days in milk
<b>DM</b>	Trockenmasse	Dry matter
<b>DMI</b>	Trockenmasseaufnahme	Dry matter intake
<b>DP</b>	Verzögerungszeit in Tagen	Interval from first insemination to successful insemination in days (delay period)
<b>DSN</b>	Deutsches Schwarzbuntes Niederungsrind	Black and white cattle breed
<b>E</b>	Milcheiweiß in %	Milk protein percentage (P)
<b>EB</b>	Energiesaldo (ES)	Energy balance
<b>ECM</b>	Energiekorrigierte Milchmenge	Energy corrected milk
<b>E<sub>max</sub></b>	Individuell berechnete statistische Obergrenze für Milcheiweiß in %	Individually calculated statistical upper limit of milk protein in % (P <sub>max</sub> )

<b>Kürzel</b>	<b>Deutsche Bezeichnung</b>	<b>Bezeichnung in Englisch</b>
<b>E<sub>min</sub></b>	Individuell berechnete statistische Untergrenze für Milcheiweiß in %	Individually calculated statistical lower limit of milk protein in % (P <sub>min</sub> )
<b>ES</b>	Energiesaldo	Energy balance (EB)
<b>F</b>	Milchfett in %	Milk fat percentage
<b>FEQ</b>	Fett-Eiweiß-Quotient	Milk fat:protein ratio (FPR)
<b>FEQ<sub>Grenz</sub></b>	Rassenspezifischer Grenzwert für FEQ zur Abgrenzung einer mangelhaften von einer optimalen Energieversorgung	Breed specific limit value for FPR to distinguish an inadequate energy supply from an optimal one
<b>FL</b>	Fleckvieh	Simmental
<b>FLQ</b>	Fett-Laktose-Quotient	Milk fat:lactose ratio
<b>F<sub>max</sub></b>	Individuell berechnete statistische Obergrenze für Milchfett in %	Individually calculated statistical upper limit of milk fat in %
<b>F<sub>min</sub></b>	Individuell berechnete statistische Untergrenze für Milchfett in %	Individually calculated statistical lower limit of milk fat in %
<b>FPR</b>	Fett-Eiweiß-Quotient (FEQ)	Milk fat:protein ratio
<b>GRUPPE</b>	Zusammenfassung der Rassen Deutsche Holstein, Fleckvieh, Braunvieh, Rotbuntes Niederungsrind, Deutsches Schwarzbuntes Niederungsrind, Vorderwälder, Montbéliard sowie Sonstige Rassen und Milchrindkreuzungen	Summary of German breeds Holstein, Simmental, Brown, red and white cattle breed, black and white cattle breed, Vorderwälder, Montbéliard, other breeds as well as Crossbreeds (SQUAD)
<b>KW</b>	Kalenderwoche inkl. Jahreszahl	Calendar week incl. year
<b>LNC</b>	Laktationsnummernklasse (LNK)	Lactation number class
<b>LSM</b>	Kleinste Quadrate Mittelwerte	Least squares means
<b>MLP</b>	Milchkontrolle	Milk recording
<b>MON</b>	Montbéliard	Montbéliard
<b>MU</b>	Milchharnstoff	Milk urea
<b>NABE</b>	Netto Säure-Basen Ausscheidung im Urin (NSBA)	Net acid-base excretion in urine
<b>NEFA</b>	nicht veresterte Fettsäuren	Nonesterified fatty acids

<b>Kürzel</b>	<b>Deutsche Bezeichnung</b>	<b>Bezeichnung in Englisch</b>
<b>P</b>	Milcheiweiß in % (E)	Milk protein percentage
<b>p</b>	p-Wert, Überschreitungswahrscheinlichkeit	p-value, probability
<b>PB</b>	Proteinsaldo	Protein balance
<b>P<sub>max</sub></b>	Individuell berechnete statistische Obergrenze für Milcheiweiß in % (E <sub>max</sub> )	Individually calculated statistical upper limit of milk protein in %
<b>P<sub>min</sub></b>	Individuell berechnete statistische Untergrenze für Milcheiweiß in % (E <sub>min</sub> )	Individually calculated statistical lower limit of milk protein in %
<b>r</b>	Korrelationskoeffizient nach Pearson	Pearson correlation coefficient
<b>r<sup>2</sup></b>	Bestimmtheitsmaß	Coefficient of determination
<b>RBT</b>	Deutsche Holstein-Rotbunt	German Red Holstein
<b>RDN</b>	Rotbuntes Niederungsgrind	Red and white cattle breed
<b>RNB</b>	Ruminale Stickstoffbilanz	Ruminal nitrogen balance
<b>s</b>	Standardabweichung	Standard deviation (SD)
<b>SAS</b>	Statistical Analysis System	Statistical Analysis System
<b>SBT</b>	Deutsche Holstein-Schwarzbunt	German Holstein
<b>SON</b>	Sonstige Rassen	Other breeds
<b>s<sub>y</sub></b>	Reststandardabweichung	Root mean square error
<b>Tsd.</b>	Tausend	Thousand
<b>uCP</b>	nutzbares Rohprotein am Duodenum (nXP)	Crude protein utilizable at the duodenum
<b>VW</b>	Vorderwälder	Vorderwälder
<b><math>\bar{x}</math></b>	Mittelwert (einer Population)	Mean (of a population)
<b>XFM</b>	Kreuzung Fleischrind x Milchrind	Crossbreed beef cattle x milk cattle
<b>XMM</b>	Kreuzung Milchrind x Milchrind	Crossbreed milk cattle x milk cattle

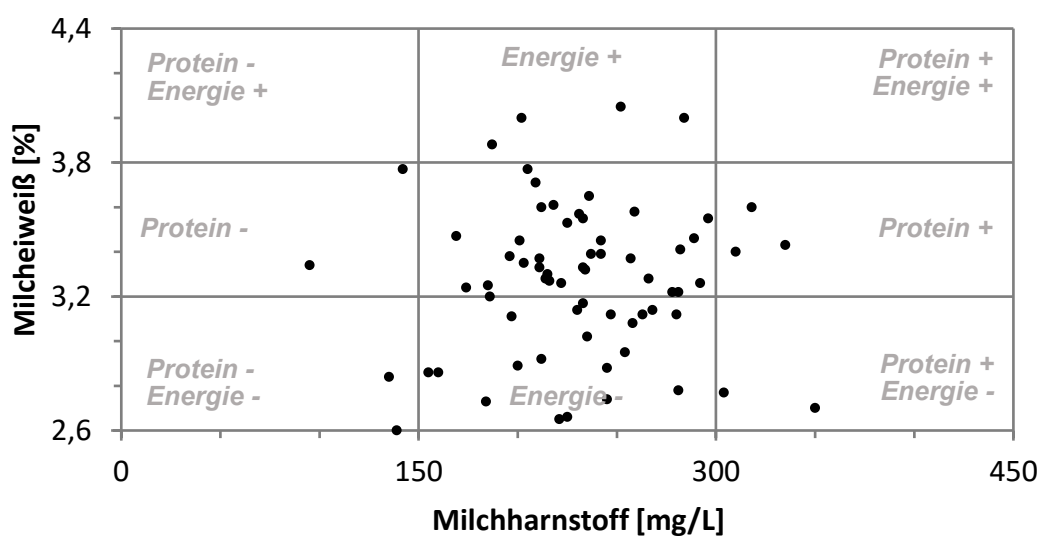
# 1 Einleitung und Problemstellung

Daten der Milchkontrolle werden seit über 100 Jahren erhoben und zur Bewertung von Gesundheit und Leistung von Milchkühen genutzt (DLQ, 2019). Im Rahmen der Standardmilchkontrolle werden elfmal pro Jahr von zertifizierten Milchkontrollorganisationen von jeder laktierenden Kuh eines Betriebes Milchmenge und die wichtigsten Milchinhaltstoffe ermittelt. In einem ausführlichen Rückbericht per Post oder Onlineabruf stehen dem Betrieb verschiedene Informationen auf Herden-, Gruppen- und Einzeltierniveau zur Verfügung. Diese Informationen umfassen sowohl Milchleistungs-, Fruchtbarkeits- und Eutergesundheitskennzahlen als auch einen Fütterungsbericht mit Aussagen zur Versorgungslage und Stoffwechselsituation. Milchkontrolldaten (MLP-Daten) stellen ein standardisiertes und relativ kostengünstiges Hilfsmittel zur Unterstützung der Herdenbewirtschaftung dar und werden vorrangig in eigenem Interesse von vielen Betrieben nicht nur in Europa genutzt. Die Möglichkeit zur digitalen Verarbeitung in Auswertungs- und Herdenmanagementprogrammen spielt dabei heutzutage eine wichtige Rolle. Neben der Interpretation der MLP-Daten haben sich in den vergangenen Jahrzehnten zahlreiche weitere Indikatoren zur Beurteilung von Stoffwechsellage, Verhalten und Erscheinungsbild von Milchkühen in der Praxis etabliert. Mit einer Kombination aus diesen ist ein umfassendes Herdenmanagement im Hinblick auf betriebliche Optimierung, Gesunderhaltung der Tiere und Ökonomie möglich. Hinzu kommt, dass die aktuelle Umweltpolitik auf EU-Ebene zur Eindämmung von Stickstoffüberschüssen zwingt (Richtlinie (EU) 2016/2284). Bezüglich der Umweltauswirkungen ineffizienter Input-Output-Systeme haben MLP-Daten eine hohe Relevanz. Des Weiteren stellen sie neben anderem eine Möglichkeit zur Erfassung sogenannter Tierschutzindikatoren im Rahmen der betrieblichen Eigenkontrolle dar (§11 Absatz 8 TierSchG), zu der Nutztierhalter seit der Novelle des Tierschutzgesetzes vom 28.07.2014 verpflichtet sind. Zunehmend werden MLP-Auswertungsergebnisse auch in das System für Milchauszahlungspreise verschiedener Molkereien einbezogen.

## 1.1 Bewertung von Fütterung und Stoffwechsel anhand von Milchkontrolldaten

Milchinhaltstoffe können retrospektiv Hinweise zur Versorgungslage mit Futterenergie und Futterrohprotein von Milchkühen geben (Piatkowski et al., 1981; Grieve et al.,

1986; Kirchgeßner et al., 1986; Heuer et al., 1999, 2000; Richardt et al., 2001; Reist et al., 2002; Nordlund und Cook, 2004; Seggewiß, 2004; Cook et al., 2006; Lebzien et al., 2006; Toni et al., 2011; Tremblay et al., 2018). Breite Verwendung zur Beurteilung der Fütterungssituation findet eine auf Empfehlungen von Spohr und Wiesner (1991) basierende 9-Felder-Tafel. In dieser werden Milchharnstoff- und Milcheiweißeinzelwertdaten einer Milchkontrolle in einem Punktdiagramm dargestellt und anhand fester Wertebereiche eingeteilt (Abb. 1-1). Bei Milchharnstoff auf der X-Achse sind dies 150 mg/L und 300 mg/L in Anlehnung an Kirchgeßner et al. (1986), bei Milcheiweiß auf der Y-Achse 3,20 % und 3,80 %. Demnach werden Kühe, deren Milchharnstoffwerte im Bereich von 150 mg/L bis 300 mg/L und deren Milcheiweißgehalte zwischen 3,20 % und 3,80 % liegen, als ausgeglichen versorgt angesehen. Abgeleitet wurden diese Wertebereiche aus Arbeiten mit Tierdaten aus den 80er Jahren. In den letzten drei Dekaden haben sich jedoch Haltungs- und Fütterungskonzepte, Futterqualität und -verfügbarkeit sowie die Tierbetreuung stark verbessert. Daraus resultiert zusammen mit dem Zuchtfortschritt eine enorme Milchleistungssteigerung von etwa 66 % (Breves, 2007; Siebert und Pallauf, 2010; Haenel et al., 2016; BLE, 2019). Herden mit Jahresmilchleistungen von 10.000 kg/Kuh und mehr stellen keine Seltenheit mehr dar. Wie Spohr und Wiesner (1991) bereits darstellten, variiert der Milcheiweißgehalt jedoch in Abhängigkeit von der Milchleistung: mit steigender Milchmenge unterliegt er



**Abbildung 1-1.** Punktdiagramm 9-Felder-Tafel nach Spohr und Wiesner (1991) für einen Beispielbetrieb. -: Mangel, +: Überversorgung, Energie: Futterenergieversorgung; Protein: Futterrohproteinversorgung.

einem Verdünnungseffekt. Ebenfalls sind die Milchinhaltsstoffe, vor allem der Eiweißgehalt, in den letzten Jahren züchterisch stark bearbeitet worden. Hinzu kommt, dass der Wert zur Abgrenzung einer optimalen von einer Energiemangelversorgung wie auch der Wert zur Abgrenzung einer Energieübersorgung nicht einheitlich verwendet werden. Es finden sich z. B. auch 3,30 % und 4,00 % (LKV NRW, 2018) oder 3,00 % und 3,75 % Eiweiß (LKV SH, 2019) als Grenzwerte. Ebenso wird überwiegend nicht zwischen verschiedenen Rinderrassen unterschieden.

## **1.2 Notwendigkeit zur Weiterentwicklung von Bewertungswerkzeugen**

In der jüngeren Vergangenheit mehrten sich Hinweise, dass bei Anwendung des vielfach genutzten Bewertungsschemas, Kühe nicht immer richtig beurteilt werden und die getroffenen Aussagen, vor allem im Hinblick auf eine Energieunterversorgung, oftmals im Widerspruch zu anderen in der Praxis genutzten tierbezogenen Merkmalen stehen. Ein Großteil der durch den starren Milcheiweißgehalt von 3,20 % mit Energiemangel gekennzeichneten Kühe, wird von Praktikern als ausgesprochen leistungsbereit, d. h. gut versorgt und vital eingeschätzt. Gleiches gilt für Werte, die zur Identifikation von Kühen mit Verdacht auf Stoffwechselstörungen wie Ketose oder subklinischer Pansenazidose genutzt werden (DLG, 2012). Die Harnstoffobergrenze von 300 mg/L Milch (Kirchgeßner et al., 1986) ist nach neueren Untersuchungen (Weninger und Distl, 1994; Rajala-Schultz et al., 2001; Kohn et al., 2002; Richardt et al., 2002; Lebzien et al., 2006) sowie im Hinblick auf Futterkosten und betriebliches Nährstoffmanagement zu hoch. Werden Fütterungserfolg, Tier- und Umweltgerechtigkeit, aber auch Milchauszahlungspreise mittels MLP-Auswertungen eingestuft, müssen die verwendeten Wertebereiche zur aktuellen Milchrindgenetik passen und möglichst genaue Aussagen liefern. Dies ist essentiell um innerhalb und auch außerhalb der Branche Akzeptanz zu erhalten.

Die Weiterentwicklung des obsoleten Bewertungsrahmens wurde daher von Praxis, Beratung und Wissenschaft dringend erwartet (Martens, 2015; Glatz-Hoppe und Losand, 2019). Ausgehend vom Bundesarbeitskreis der Fütterungsreferenten der Länder in der DLG wurde eine Arbeitsgruppe bestehend aus Vertretern der Landeskontrollverbände, des Deutschen Verbands für Leistungs- und Qualitätsprüfungen sowie der Officialberatung ins Leben gerufen. In Abstimmung mit dieser erfolgte die

wissenschaftliche Bearbeitung des Themas am Institut für Tierproduktion der Landesforschungsanstalt für Landwirtschaft und Fischerei Mecklenburg-Vorpommern in Zusammenarbeit mit der Agrar- und Umweltwissenschaftlichen Fakultät der Universität Rostock.

Ziel dieser Arbeit ist es, möglichst genaue und praktikable Übersichten zur Charakterisierung der Versorgungssituation für im deutschsprachigen Raum übliche Milchkühe zu entwickeln. Zu diesem Zweck stellten 15 Milchkontrollverbände insgesamt 8,03 Millionen MLP-Datensätze zur Verfügung, die etwa 20 % aller Milchkontrollen Deutschlands und Luxemburgs des Kalenderjahres 2015 darstellen. Zur Validierung der an diesem Datenmaterial durchgeführten Untersuchungen und abgeleiteten Neuerungen konnten zwei große, jedoch verschiedene Datensätze mit zusätzlichen sehr gut geeigneten milchfernen Informationen herangezogen werden.

Im Rahmen der vorliegenden kumulativen Dissertation wurden dazu drei aufeinander aufbauende wissenschaftliche Publikationen erarbeitet, die in den folgenden Kapiteln dargestellt werden.



## **2 Nutzung von Milchinhaltsstoffen zur Beurteilung der Versorgungssituation von Milchkühen**

### **1. Mitteilung: Milchleistung und Inhaltsstoffe deutscher Milchrindrassen im Vergleich**

Julia Glatz-Hoppe<sup>1,4</sup>, Folkert Onken<sup>2</sup>, Anja Eggert<sup>3</sup>, Elmar Mohr<sup>4</sup> und Bernd Losand<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Landesforschungsanstalt für Landwirtschaft und Fischerei Mecklenburg-Vorpommern, Institut für Tierproduktion, Wilhelm-Stahl-Allee 2, 18196 Dummerstorf;*

<sup>2</sup>*Deutscher Verband für Leistungs- und Qualitätsprüfungen e.V., Adenauerallee 174, 53113 Bonn;*

<sup>3</sup>*Leibniz-Institut für Nutztierbiologie, Institut für Genetik und Biometrie, Wilhelm-Stahl-Allee 2, 18196 Dummerstorf;*

<sup>4</sup>*Universität Rostock, Agrar- und Umweltwissenschaftliche Fakultät, Professur für Tiergesundheit und Tierschutz, Justus-von-Liebig Weg 6b, 18059 Rostock;*

veröffentlicht in

Züchtungskunde, 91, (6) S. 423–448, 2019

## Zusammenfassung

Milchkontrolldaten stehen vielen Betrieben überwiegend 11-mal pro Jahr zur Unterstützung des Herdenmanagements zur Verfügung und stellen ein relativ kostengünstiges Hilfsmittel zur Fütterungskontrolle dar. Gängige Interpretationen zur Energieversorgungssituation anhand oft verwendeter Grenzwerte stimmen aber zunehmend nicht mit den Beobachtungen am Tier überein. Zur Überarbeitung des Bewertungsrahmens wurden 15 verschiedene Milch- und Zweinutzungsrasen anhand von 7,37 Millionen deutschlandweit erhobenen Datensätzen aus der Milchkontrolle des Jahres 2015 verglichen. Abgesehen von der Milchmenge ergaben sich innerhalb der Rassen nur sehr geringe Unterschiede zwischen den Laktationsnummern. Die Form der Laktationskurven unterscheidet sich zwischen den Rassen nur unwesentlich, lediglich die Höhe und Ausprägung stehen im Zusammenhang mit Leistungsvermögen und den überwiegend genetisch fixierten Fett- und Eiweißkonzentrationen. Die Rassen Jersey und Angler unterscheiden sich im Milchfettgehalt und im Fett-Eiweiß-Quotienten signifikant ( $p < 0,0001$ ) von allen anderen Rassen dieser Auswertung. Naheliegend sind ein gemeinsamer Bewertungsrahmen für die Rassen Deutsche Holstein, Fleckvieh, Braunvieh, Rotbuntes Niederungsrind, Deutsches Schwarzbuntes Niederungsrind, Vorderwälder, Montbéliard sowie Sonstige Rassen und Milchrindkreuzungen und separate Bewertungsrahmen für die Rassen Jersey und Angler.

**Schlüsselwörter:** Milchkuh; Milchleistung; Milchinhaltsstoffe; Fett-Eiweiß-Quotient; Milchwahnharnstoff; Milchrindrassen

## Summary

### **Use of milk recording data for characterization of dairy cow supply situation**

#### **First part: Milk performance and composition of German dairy breeds by comparison**

Data from standard milk recording are available for many dairy farms about 11 times per year and can be used cost-efficiently for herd management support and feed monitoring. Established threshold values for characterization of energy supply often do not agree with other recent animal related observations. For revision of the evaluation framework 15 different milk and dual-purpose breeds were compared on the basis of 7.37 million data sets from milk recording collected throughout Germany in the year

2015. There are, except of milk yield, very low differences between the numbers of lactation within the breed. Shape of lactation curves differs negligible between breeds, just the level and the characteristic are associated with performance and the predominant genetically fixed fat and protein contents. German breeds of Jersey and Angler are significant different to all other breeds in this analysis in milk fat content and fat:protein ratio ( $p < 0.0001$ ). A common evaluation framework is obvious for German breeds Holstein, Simmental, Brown, red and white cattle breed, black and white cattle breed, Vorderwälder, Montbéliard, other breeds as well as Crossbreeds. Data suggest separate evaluation tools for Jersey and Angler.

**Keywords:** dairy cow, milk yield; milk composition, fat:protein ratio, milk urea, dairy breeds

## Einleitung

Zur Unterstützung der täglichen Arbeit, insbesondere zur Fütterungskontrolle ist die Nutzung von Daten aus der Milchkontrolle (**MLP**) neben weiteren tierbezogenen Merkmalen ein wichtiges und kostengünstiges Werkzeug in europäischen und nordamerikanischen Milchrindbetrieben. Milhharnstoff-, Milhfett- und Milcheiweißgehalte sowie der Fett-Eiweiß-Quotient der Milch geben retrospektiv Hinweise zur Versorgungslage mit Futterenergie und Futterrohprotein von Milchkühen (Piatkowski et al., 1981; Grieve et al., 1986; Kirchgeßner et al., 1986; Heuer et al., 1999, 2000; Richardt et al., 2001a; Nordlund and Cook, 2004; Seggewiß, 2004; Cook et al., 2006; Lebzien et al., 2006; Toni et al., 2011). Breite Verwendung zur Beurteilung der Fütterungssituation findet z. B. eine auf Empfehlungen von Spohr und Wiesner (1991) basierende 9-Felder-Tafel, die Milhharnstoff- und Milcheiweißezeltierdaten anhand fester Wertebereiche einteilt. Diese und weitere Werte, die in Deutschland zur Abgrenzung von optimaler zu Mangel- oder Überversorgung herangezogen werden, stammen jedoch hauptsächlich aus Arbeiten mit Tierdaten aus den 80er Jahren. In den letzten Jahrzehnten hingegen ist das Leistungspotential deutscher Milchrinder aufgrund genetischer Selektion und ebenso wegen tiergerechterer Haltungsbedingungen und Verbesserungen bei Futterqualität, Fütterung und Tierbetreuung enorm gestiegen (Breves, 2007; Knaus, 2009; Siebert und Pallauf, 2010; Buttchereit et al., 2012; Haenel et al., 2016). Zudem werden Grenzwerte nicht einheitlich verwendet und es wird überwiegend nicht zwischen verschiedenen Rassen unterschieden.

Werden Fütterungserfolg, Tier- und Umweltgerechtigkeit, aber auch Auszahlungspreise Milch produzierender Betriebe mittels MLP-Auswertungen eingestuft, müssen die verwendeten Grenzwerte zu aktueller Milchrindgenetik passen, um möglichst genaue Aussagen treffen zu können und Akzeptanz zu erhalten. Für die Bearbeitung des Bewertungsrahmens stellten 15 deutsche und luxemburgische Milchkontrollorganisationen insgesamt 8,03 Mio. Datensätze zur Verfügung, die etwa 20 % aller Milchkontrollen des Erhebungsgebietes aus dem Kalenderjahr 2015 abbilden. In einem ersten Teil sollen anhand dieser Daten Milchleistung und Inhaltsstoffe deutscher Milchrindrassen verglichen und in einem zweiten Teil neue Auswertungsmöglichkeiten für MLP-Daten im Hinblick auf die Fütterungssituation von Milchkühen abgeleitet werden. Ziel ist es, möglichst genaue und praktikable Übersichten zur Charakterisierung der Versorgungssituation für im deutschsprachigen Raum übliche Milchkühe zu entwickeln.

## **Material und Methoden**

### **Datenmaterial, Plausibilisierung und Berechnungen**

Die zur Verfügung gestellten Milchkontrolldatensätze aus dem Kalenderjahr 2015 enthielten 34 verschiedene Rinderrassen laut Rasseschlüssel (Bundesgesetzblatt, 2010). Nach Ermittlung der jeweiligen Anteile und Abgleich mit Daten des Statistischen Bundesamtes (2017) für das Jahr 2015 wurden die 15 häufigsten Milch- und Zweinutzungsrasen für die weitere Bearbeitung ausgewählt: Holstein-Schwarzbunt (**SBT**), Holstein-Rotbunt (**RBT**), Jersey, Braunvieh (**BV**), Angler, Rotvieh alter Angler Zuchtichtung, Rotbuntes Niederungsrind (**RDN**), Deutsches Schwarzbuntes Niederungsrind (**DSN**), Fleckvieh (**FL**), Vorderwälder (**VW**), Braunvieh alter Zuchtichtung, Montbéliard (**MON**), Sonstige Rassen (**SON**), Kreuzung Fleischrind x Milchrind (**XFM**), Kreuzung Milchrind x Milchrind (**XMM**). Es wurde ausschließlich der Rasseschlüssel berücksichtigt, Informationen zu Fremdgenanteilen lagen nicht vor (Jaeger et al., 2018). Datensätze mit fehlenden Einträgen wurden gelöscht. Neben der Kuh-, Betriebs- und Kontrollverbandskennung sowie der Laktationsnummer enthielten die Daten Tageswerte je Kuh für Milchmenge [kg/Tag] und die Gehalte an Milchfett in % (**F**), Milcheiweiß in % (**E**), Laktose in %, Zellzahl in Tausend (**Tsd.**) je ml und Harnstoff [mg/L]. Aus dem Kalbedatum und dem Prüfdatum wurden der Laktationstag und aus F und E der Fett-Eiweiß-Quotient (**FEQ**) sowie aus F und Laktose der Fett-Laktose-Quotient berechnet.

**Tabelle 2-1.** *Frequenz der Daten zu den ausgewählten Rassen sowie Mittelwert, Median, Standardabweichung und Spannweite für Laktationsnummer und Laktationstag**Data frequency concerning selected breeds as well as arithmetic mean, median, standard deviation and spread of lactation number and days in milk*

Rasse	Anzahl Datensätze	Anzahl Kühe	Anzahl Betriebe	Laktationsnummer				Laktationstag			
				$\bar{x}_{arith}$	$\bar{x}_{med}$	s	Spanne	$\bar{x}_{arith}$	$\bar{x}_{med}$	s	Spanne
SBT	3.665.150	459.279	5.827	2,5	2	1,6	1 - 16	183	170	120	5 - 999
RBT	410.949	53.452	4.618	2,6	2	1,7	1 - 15	182	169	120	5 - 997
JER	3.601	457	93	2,8	2	1,9	1 - 12	186	172	130	5 - 993
BV	519.985	68.237	1.965	3,0	3	2,0	1 - 16	185	174	119	5 - 998
RVA	81.722	10.989	232	2,6	2	1,7	1 - 13	173	162	113	5 - 982
RV	407	63	9	2,7	2	1,9	1 - 10	163	143	109	5 - 455
RDN	70.653	9.867	372	2,8	2	1,9	1 - 14	166	154	111	5 - 996
DSN	14.967	1.874	67	2,8	2	1,8	1 - 12	167	158	106	5 - 747
FL	2.295.075	320.298	5.377	2,7	2	1,8	1 - 17	168	160	105	5 - 999
VW	35.740	4.670	145	3,3	3	2,2	1 - 13	168	160	106	5 - 986
DBV	856	116	10	4,1	3	3,0	1 - 13	186	183	100	7 - 531
MON	446	57	6	2,4	2	1,4	1 - 7	165	155	107	5 - 507
SON	70.295	8.901	722	2,2	2	1,4	1 - 13	172	159	115	5 - 980
XFM	63.411	8.405	1.594	2,6	2	1,7	1 - 13	174	161	118	5 - 980
XMM	136.970	17.407	1.703	2,4	2	1,5	1 - 11	173	162	114	5 - 996
alle	7.370.227	964.072	9.000	2,6	2	1,7	1 - 17	178	166	115	5 - 999

SBT: Holstein-Schwarzbunt; RBT: Holstein-Rotbunt; JER: Jersey; BV: Braunvieh; RVA: Angler; RV: Rotvieh alter Angler Zuchtichtung; RDN: Rotbuntes Niederungsind; DSN: Deutsches Schwarzbuntes Niederungsind; FL: Fleckvieh; VW: Vorderwälder; DBV: Braunvieh alter Zuchtichtung; MON: Montbéliard; SON: Sonstige Rassen; XFM: Kreuzung Fleischrind x Milchrind; XMM: Kreuzung Milchrind x Milchrind

Eine Bereinigung um unwahrscheinliche Milchmengen sowie Fett- und Eiweißgehalte wurde nach der ADR-Empfehlung 1.4 und ihrer Anlagen 1 und 2 (ADR, 2001) vorgenommen. Des Weiteren wurden Daten wie folgt ausgeschlossen: Laktosegehalt < 1 % und > 10 %, Laktationstag < 5 und > 999. Harnstoffgehalte  $\geq 1.000$  mg/L wurden auf 999 mg/L gesetzt, anschließend der arithmetische Mittelwert ( $\bar{x}$ ) und die Standardabweichung (s) berechnet. Werte  $> \bar{x} + 4s$  wurden als Ausreißer definiert und entfernt. Nach Bereinigung der Daten standen für die weitere Bearbeitung 7.370.227 Milchkontrollen von 964.049 Kühen aus 9.000 Betrieben mit einer mittleren Laktationsnummer von 2,6 (s: 1,7; Spanne 1 – 17) und einem mittleren Laktationstag von 178 (s: 115) zur Verfügung (Tabelle 2-1). Zellzahlgehalte  $\geq 10.000$  Tsd. Zellen/ml wurden auf 9.999 Tsd. Zellen/ml gesetzt und ein logarithmierter Wert berechnet:  $\log_{10}$  (Zellzahl). Nach Vorgabe der Gesellschaft für Ernährungsphysiologie (GFE, 2001) wurde die energiekorrigierte Milchmenge (ECM) berechnet:

$$\text{ECM [kg/Tag]} = (\text{Milchleistung/kg/Tag}) \times ((0,38 \times \text{F [\%]} + 0,21 \times \text{E [\%]} + 1,05)/3,28).$$

Durchschnittliche Jahresleistungen wurden in Anlehnung an die ADR-Richtlinie 1.1 Anlage 2 (ADR, 2002) aus Laktationstagsmittelwerten unter Einbeziehung der Anzahl der Melktage je Rasse nach ADR (2016) berechnet.

### Statistische Analysen

Die Bearbeitung und Auswertung der Daten erfolgte mit der Statistical Analysis System Software Version 9.4 (SAS Institute Inc., Cary, NC, USA). Zur Beschreibung des Grades der linearen Zusammenhänge verschiedener Parameter wurden Pearson Korrelationskoeffizienten berechnet. Die Darstellung von Laktationskurven für Milch [kg/Tag], Fett [%], Eiweiß [%], Laktose [%], Fett-Eiweiß-Quotient und Harnstoff [mg/L] erfolgte mit dem Regressionsmodell nach Ali und Schaeffer (1987):

$$y_t = p_0 + p_1\gamma_t + p_2\gamma_t^2 + p_3w_t + p_4w_t^2 + e_t$$

wobei  $t$  = Laktationstag,  $\gamma_t = t/320$ ,  $w_t = \ln(320/t)$ .

$p_0$ ,  $p_1$ ,  $p_2$ ,  $p_3$  und  $p_4$  sind Regressionskoeffizienten, die mit der SAS-Prozedur MIXED unter Berücksichtigung der Saison geschätzt wurden, wobei  $p_0$  mit dem Laktationsmaximum bzw. -minimum verknüpft ist und  $p_1$  und  $p_2$  mit abfallender Neigung und  $p_3$  und  $p_4$  mit dem Kurvenanstieg assoziiert sind. Die Saison wurde als fixer Effekt definiert und bezeichnet den Zeitraum des Prüfdatums (4 Klassen: 1 = Dezember + Januar + Februar; 2 = März + April + Mai; 3 = Juni + Juli + August; 4 = September + Oktober + November), die Klassen sind gleichmäßig besetzt.

Multiple Mittelwertvergleiche der Milchleistungsparameter zwischen den Rassen wurden mit der Prozedur GLM und dem Tukey-Kramer-Verfahren erstellt. Aufgrund des unbalancierten statistischen Designs werden adjustierte Mittelwerte, die Least Squares Means (LSM), in den Ergebnissen dargestellt. Das allgemeine lineare Modell berücksichtigte die fixen Faktoren Rasse, Kontrollverband, Laktationsnummernklasse (5 Klassen: 1., 2., 3., 4., > 4. Laktation) und Saison des Prüfdatums. Weitere fixe Effekte wurden je nach zu modellierender Variablen und Bestimmtheitsmaß des Modells gewählt (Tabelle 2-4). Die gewählten Faktoren waren in allen Modellen mit  $p < 0,0001$  hochsignifikant. Die Abhängigkeiten von F, E und FEQ von der Milchmenge wurden anhand von linearen Regressionen mit der Prozedur REG abgebildet.

## Ergebnisse und Diskussion

### Mittelwerte der Milchmenge und Inhaltstoffe im Vergleich der Rassen

**Tabelle 2-2.** *Mittlere Jahresmilchleistungen verschiedener Rassen nach Laktationsnummern 1 bis 7 und  $\geq 8$  im Kalenderjahr 2015 (einbezogene Melktage in Anlehnung an ADR (2016))*

*Means of yearly milk performance of different breeds by number of parity 1 to 7 and  $\geq 8$  within the calendar year 2015 (included days in milk in accordance to ADR (2016))*

Rasse	Melk-tage	$\bar{x}$ Milchmenge [kg je Kuh und Jahr]								
		Laktationsnummer								
		1	2	3	4	5	6	7	$\geq 8$	gesamt
SBT	321	8.524	9.769	<b>10.148</b>	10.125	9.923	9.611	9.250	8.757	9.449
RBT	319	7.619	8.572	8.987	<b>9.157</b>	8.989	8.749	8.414	7.957	8.449
JER	318	6.132	6.773	7.116	7.060	<b>7.614</b>	6.725	7.505	6.765	6.813
BV	324	6.844	7.662	<b>8.152</b>	8.097	8.054	7.925	7.718	7.289	7.622
RVA	319	7.170	8.196	8.611	<b>8.772</b>	8.713	8.743	8.311	7.839	8.065
RV	302	4.064	3.914	4.964	5.023	4.192	<b>5.109</b>	n. a.	3.564	4.433
RDN	308	6.427	7.106	7.495	<b>7.550</b>	7.449	7.345	7.121	6.302	7.007
DSN	310	6.228	7.541	7.965	8.133	<b>8.203</b>	7.966	7.360	6.314	7.336
FL	317	7.123	7.801	8.152	<b>8.198</b>	8.150	7.999	7.760	7.366	7.732
VW	314	5.121	5.667	5.987	6.053	<b>6.093</b>	5.806	5.786	5.504	5.689
DBV	315*	3.765	4.536	<b>4.969</b>	4.452	4.606	4.904	4.516	4.459	4.332
MON	315*	7.395	7.775	<b>8.662</b>	8.211	7.250	n. a.	n. a.	n. a.	7.816
SON	315	7.647	8.399	8.819	<b>8.939</b>	8.742	8.324	7.524	7.316	8.248
XFM	315	7.094	7.858	<b>8.349</b>	8.272	8.059	7.978	7.378	6.874	7.723
XMM	315	7.667	8.792	<b>9.103</b>	8.939	8.731	8.498	7.902	7.283	8.469

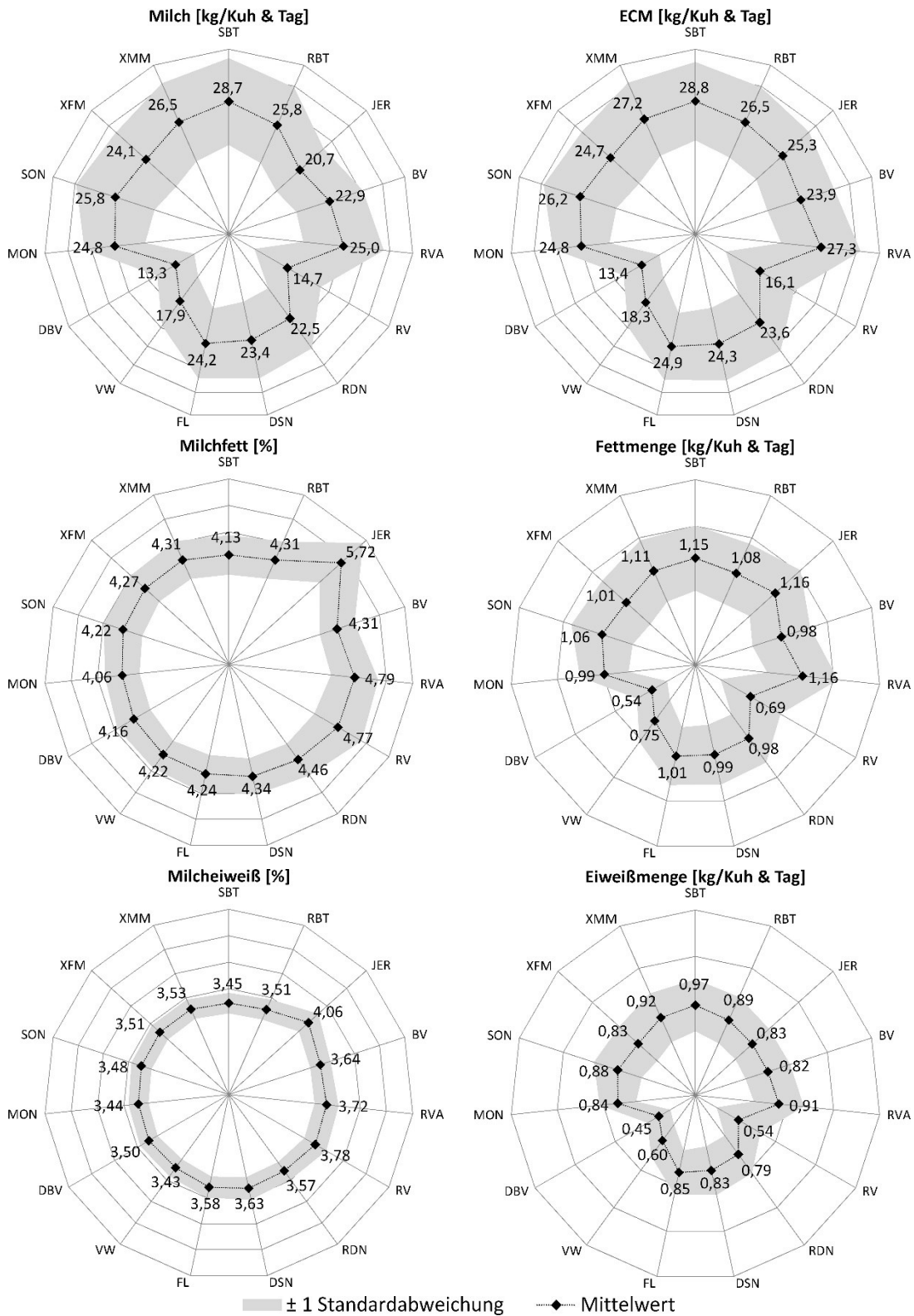
SBT: Holstein-Schwarzbunt; RBT: Holstein-Rotbunt; JER: Jersey; BV: Braunvieh; RVA: Angler; RV: Rotvieh alter Angler Zuchtrichtung; RDN: Rotbuntes Niederungsgrind; DSN: Deutsches Schwarzbuntes Niederungsgrind; FL: Fleckvieh; VW: Vorderwälder; DBV: Braunvieh alter Zuchtrichtung; MON: Montbéliard; SON: Sonstige Rassen; XFM: Kreuzung Fleischrind x Milchrind; XMM: Kreuzung Milchrind x Milchrind; \*: Rasse nicht im Bericht der ADR (2016) enthalten, Melktage wie bei Sonstige Rassen eingerechnet; n. a.: nicht auswertbar

Den größten Anteil an der Datenmenge von fast 7,4 Mio. Datensätzen für diese Auswertungen haben Kühe der Rasse Deutsche Holstein-Schwarzbunt mit über 3,6 Mio. Datensätzen (49,7 %) gefolgt von Fleckvieh- und Braunviehkühen (31,1 % bzw. 7,1 %) (Tab. 2-1). Die geringste Anzahl Datensätze stammt von Kühen der Rassen Montbéliard sowie den alten Zuchtrichtungen Braunvieh und Rotvieh. Alle Rassen erreichen in der ersten Laktation ca. 90 % der jeweiligen durchschnittlichen Jahresleistung (Tabelle 2-2). Die Rasse mit der höchsten durchschnittlichen Jahresmilchleistung (9.449 kg/Kuh) stellen, wie im ADR-Bericht (2016) auch, die Schwarzbunten Deutschen Holsteinkühe gefolgt von den Kreuzungen Milchrind x Milchrind (8.469 kg/Kuh) und den Rotbunten Deutschen Holsteinkühen (8.449 kg/Kuh). Das jeweilige

Maximum der Jahresleistung erreichen SBT, BV, Braunvieh alter Zuchtrichtung, Montbéliard sowie die Kreuzungsgruppen in der dritten Laktation. Die RBT, Angler, Rotbuntes Niederungsrind, FL und Sonstige Rassen erreichen ihr Maximum hingegen in der vierten, Jerseykühe, Schwarzbuntes Niederungsrind und Vorderwälder in der fünften Laktation. Die Jahresleistung der ersten Laktation entspricht bei SBT, RBT, BV, VW und XMM etwa 83 % bis 84 % der maximalen Jahresleistung, bei RDN, MON, SON und Kreuzungen Fleischrind x Milchrind sind es 85 % und FL erreicht in der ersten Laktation 87 % der maximalen Jahresleistung. Die Kühe der Rassen DSN und Braunvieh alter Zuchtrichtung erreichen mit ca. 76 % der maximalen Jahresleistung in der ersten Laktation niedrigere Werte. Der Leistungsanstieg von erster zu zweiter Laktation fällt über alle 15 Rassen gesehen jeweils stärker aus als von der zweiten zur dritten Laktation. Der Abfall der Jahresleistungen der Laktationen nach den Maxima stellt sich eher flach dar, die Rassen unterscheiden sich im Verlauf nicht wesentlich.

Auch bei der täglichen natürlichen und energiekorrigierten Milchmenge (ECM) erreichen Kühe der Rasse SBT die höchsten Leistungen ( $\bar{x} = 28,7$  kg;  $s = 9,4$  kg bzw.  $\bar{x} = 28,8$  kg;  $s = 8,5$  kg) (Abb. 2-1). Aufgrund der hohen Milchfettkonzentrationen, die höchsten im Vergleich, erreichen Jersey ( $\bar{x} = 5,72$  %;  $s = 1,11$  %) und Angler ( $\bar{x} = 4,79$  %;  $s = 0,90$  %) auch die höchsten Fettmengen je Kuh und Tag ( $\bar{x} = 1,16$  kg;  $s = 0,37$  kg bzw.  $\bar{x} = 1,16$  kg;  $s = 0,39$  kg), SBT liegen mit  $\bar{x} = 1,15$  kg ( $s = 0,35$  kg) leicht darunter. Fettgehalte und ECM von BV und FL sind im Mittelfeld zu finden. Bei den Eiweißgehalten liegen Jersey ( $\bar{x} = 4,06$  %;  $s = 0,50$  %) und Angler ( $\bar{x} = 3,72$  %;  $s = 0,46$  %) mit Rotvieh alter Zuchtrichtung ( $\bar{x} = 3,78$  %;  $s = 0,48$  %) ebenfalls über den weiteren Rassen gefolgt von BV, DSN, FL und RDN. SBT und XMM liegen beim Eiweißgehalt mit  $\bar{x} = 3,45$  % ( $s = 0,39$  %) bzw.  $\bar{x} = 3,53$  % ( $s = 0,40$  %) eher im unteren bzw. mittleren Bereich. Aufgrund der hohen Milchleistung erreichen sie aber die höchsten Milcheiweißmengen je Kuh und Tag ( $\bar{x} = 0,97$  kg ( $s = 0,28$  kg) bzw.  $\bar{x} = 0,92$  kg ( $s = 0,29$  kg)), Anglerkühe liegen knapp darunter ( $\bar{x} = 0,91$  kg;  $s = 0,27$  kg). Der Laktosegehalt stellt sich über die Rassen als der konstanteste Milchinhaltsstoff mit dem kleinsten Variationskoeffizienten (VK) (4,77 %) gegenüber F und E (17,7 % bzw. 11,6 %) dar, was mit seiner spezifischen Funktion bei der Milchbildung des Rindes zusammenhängt (Rook, 1979). Jersey- und Anglerkühe haben mit  $\bar{x} = 4,64$  % ( $s = 0,24$  %) bzw.  $\bar{x} = 4,71$  % ( $s = 0,24$  %) die geringsten Laktosegehalte (Abb. 2-2).

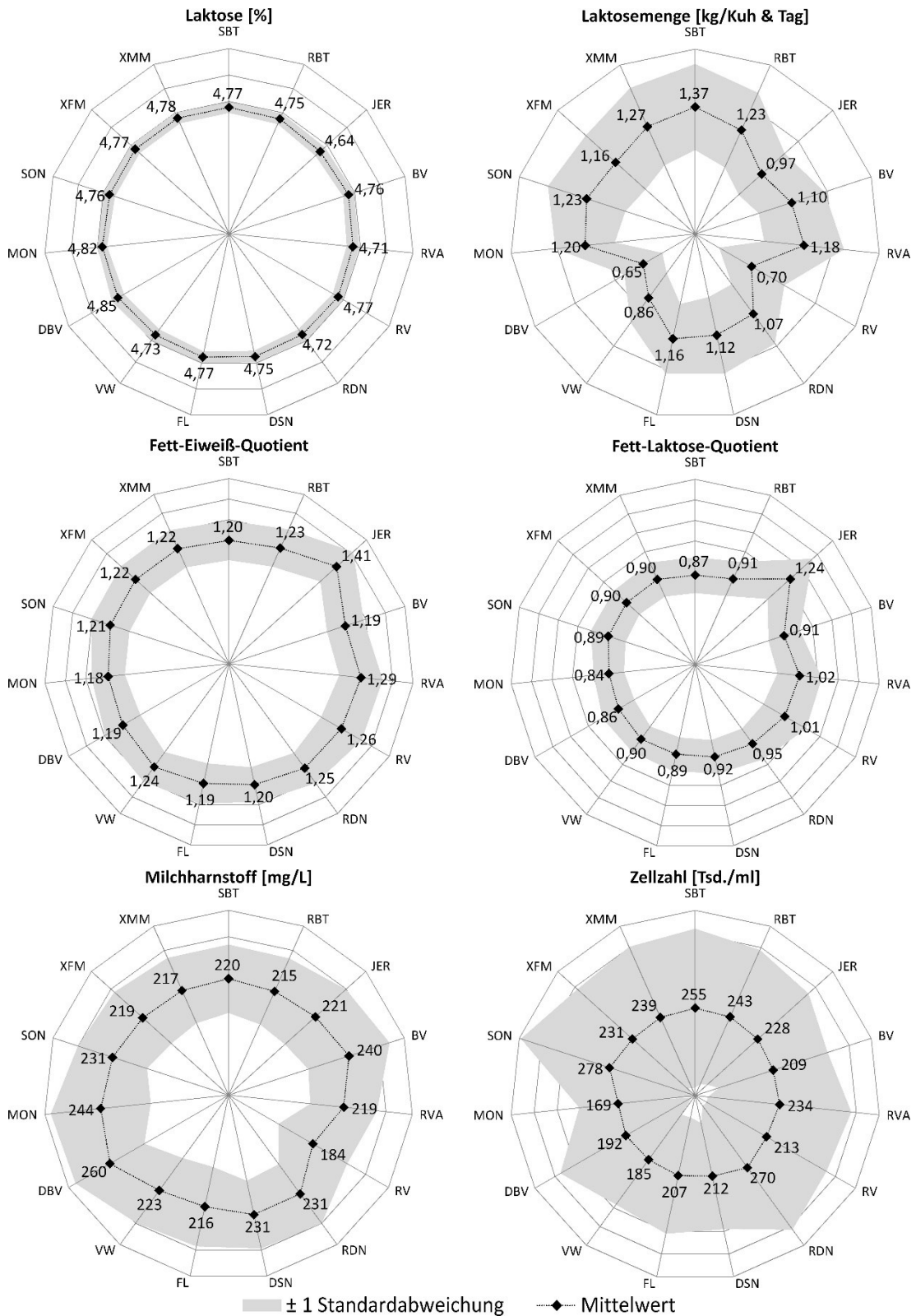




SBT: Holstein-Schwarzbunt; RBT: Holstein-Rotbunt; JER: Jersey; BV: Braunvieh; RVA: Angler; RV: Rotvieh alter Angler Zucht-  
 richtung; RDN: Rotbuntes Niederungsgrind; DSN: Deutsches Schwarzbuntes Niederungsgrind; FL: Fleckvieh; VW: Vorderwälder;  
 DBV: Braunvieh alter Zucht-richtung; MON: Montbéliard; SON: Sonstige Rassen; XFM: Kreuzung Fleischrind x Milchrind; XMM:  
 Kreuzung Milchrind x Milchrind

**Abbildung 2-1.** *Arithmetische Mittelwerte und Bereiche der Standardabweichung verschiedener Milchleistungsparameter für fünfzehn Rassen (n = 7.370.227).*

*Arithmetic means and standard deviation of different milk parameters for fifteen breeds (n = 7,370,227).*



SBT: Holstein-Schwarzbunt; RBT: Holstein-Rotbunt; JER: Jersey; BV: Braunvieh; RVA: Angler; RV: Rotvieh alter Angler Zucht-richtung; RDN: Rotbuntes Niederungs- rind; DSN: Deutsches Schwarzbuntes Niederungs- rind; FL: Fleckvieh; VW: Vorderwälder; DBV: Braunvieh alter Zucht- richtung; MON: Montbéliard; SON: Sonstige Rassen; XFM: Kreuzung Fleisch- rind x Milch- rind; XMM: Kreuzung Milch- rind x Milch- rind

**Abbildung 2-2.** Mittelwerte ( $\bar{x}_{arith}$ ) und Bereiche der Standardabweichung verschiedener Milchleistungsparameter für fünfzehn Rassen über alle Daten.

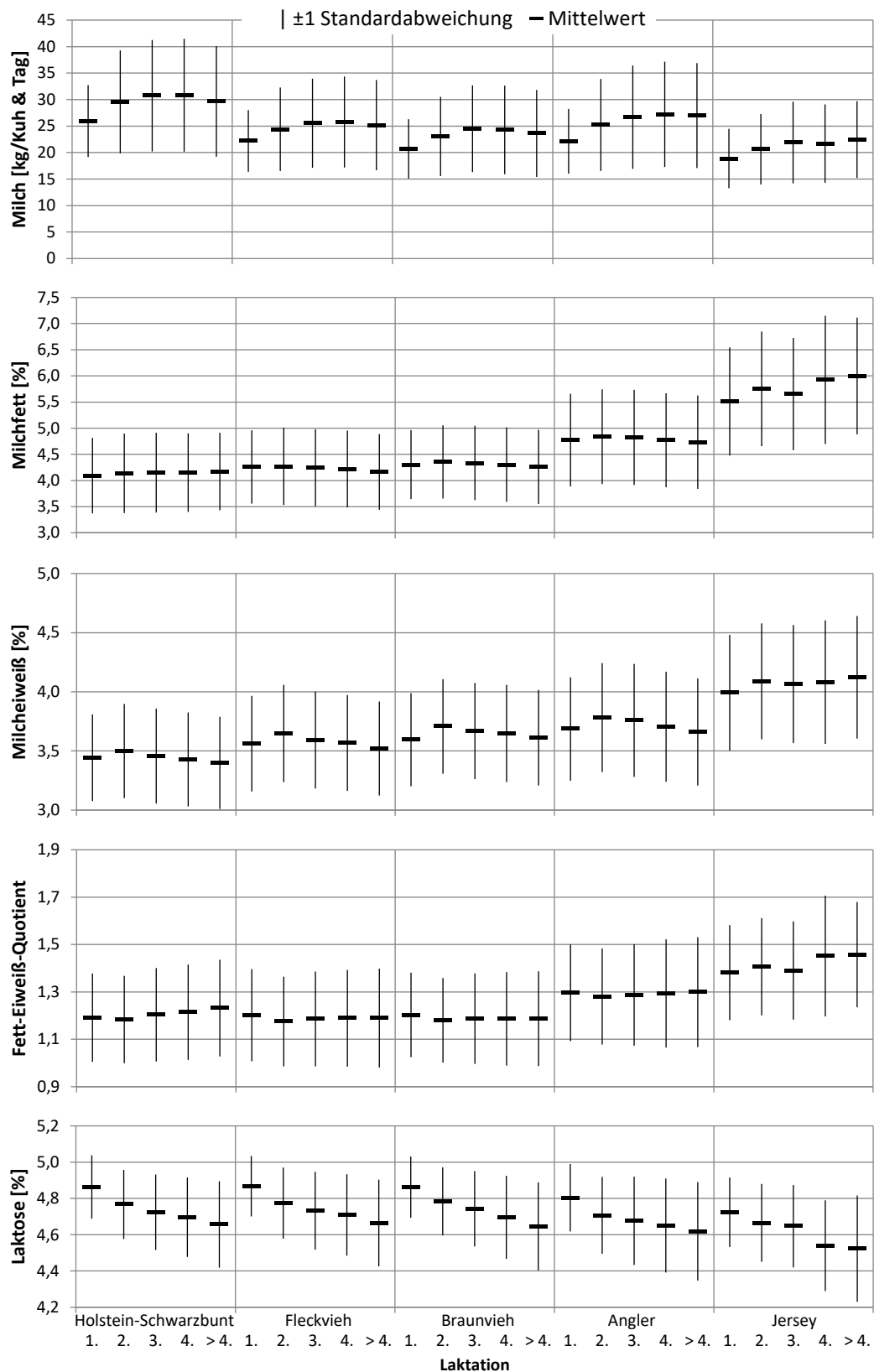
Arithmetic means ( $\bar{x}_{arith}$ ) and standard deviation of different milk content criteria for fifteen breeds across whole data.

FL und SBT liegen mit  $\bar{x} = 4,77\%$  ( $s = 0,21\%$ ) auf gleichem Niveau, bei der Laktosemenge je Tag produzieren SBT hingegen die größte Menge ( $\bar{x} = 1,37\text{ kg}$ ;  $s = 0,47\text{ kg}$ ). Bei Betrachtung der Rassenmittelwerte fällt auf, dass tendenziell mit zunehmenden Milchfett- und Milcheiweißgehalten der Laktosegehalt leicht absinkt. Beim Vergleich der Rassen auf Basis des FEQ-Mittelwertes liegen Jersey und Angler wieder oberhalb der weiteren Rassen ( $\bar{x} = 1,41$ ;  $s = 0,22$  bzw.  $\bar{x} = 1,29$ ;  $s = 0,21$ ), SBT, BV und FL liegen bei  $\bar{x} = 1,20$  ( $s = 0,19$ ),  $\bar{x} = 1,19$  ( $s = 0,19$ ) bzw.  $\bar{x} = 1,19$  ( $s = 0,20$ ) im unteren Bereich. Da der FEQ überwiegend durch die Fettkonzentration ( $r = 0,75$ ,  $p < 0,0001$ ) und zu einem geringeren Teil durch die Eiweißkonzentration ( $r = -0,19$ ,  $p < 0,0001$ ) bestimmt wird, liegt der VK zwischen dem von F und E und mit 15,8 % näher am Fettgehalt, da er mehr variiert als der Eiweißgehalt. Der Milchharnstoffgehalt liegt im Durchschnitt aller Rassen bei 220 mg/L ( $s = 71\text{ mg/L}$ ). Wird eine ausgeglichene Ration unterstellt, sind die Tiere dieser Auswertung im Mittel, auch im Mittelwert je Rasse, sehr gut versorgt, denn sie liegen im Referenzbereich von 150 – 300 mg/L (Kirchgeßner et al., 1986). Die höchsten Werte zeigen die Braunviehkühe alter Zuchtrichtung, MON und BV ( $\bar{x} = 260\text{ mg/L}$  bzw.  $244\text{ mg/L}$  bzw.  $240\text{ mg/L}$ ;  $s = 75\text{ mg/L}$  bzw.  $95\text{ mg/L}$  bzw.  $81\text{ mg/L}$ ), die geringsten Harnstoffgehalte sind beim Rotvieh alter Zuchtrichtung, RBT und FL zu finden ( $\bar{x} = 184\text{ mg/L}$  bzw.  $215\text{ mg/L}$  bzw.  $216\text{ mg/L}$ ;  $s = 75\text{ mg/L}$  bzw.  $86\text{ mg/L}$  bzw.  $77\text{ mg/L}$ ). Aus den Versuchen von Steinwigger et al. (1998) aber auch von Lebzién et al. (2006) besteht die Erkenntnis, dass bei ausgeglichenen Rationen mit einer ruminalen Stickstoffbilanz um 0 g/Tag Harnstoffgehalte von etwa 216 mg/L erreicht werden. Demnach waren mehr als die Hälfte der Kühe dieser Auswertung am jeweiligen Milchkontrolltag mit Futterrohprotein überversorgt und/ oder Futterenergie unterversorgt. Die von Siebert und Pallauf (2010) untersuchten MLP-Daten der Jahre 2004 – 2007 von Tieren der Rasse Deutsche Holstein aus Hessen zeigen ein ähnliches mittleres Niveau bezogen auf Milchmenge, F und E wie in der vorliegenden Analyse, allerdings ermittelten sie einen um 0,02 höheren mittleren FEQ und einen um fast 30 mg/L höheren mittleren Milchharnstoffgehalt. Die Rassen SON, RDN und SBT befinden sich auf einem Zellzahlgehaltsniveau von über 250 Tsd. je ml ( $\bar{x} = 278$ ;  $s = 807$  bzw.  $\bar{x} = 270$ ;  $s = 662$  bzw.  $\bar{x} = 255$ ;  $s = 687$ ), die Rassen Braunvieh alter Zuchtrichtung ( $\bar{x} = 192$ ;  $s = 654$ ), VW ( $\bar{x} = 185$ ;  $s = 479$ ) und MON ( $\bar{x} = 169$ ;  $s = 338$ ) liegen unterhalb von 200 Tsd. Zellen/ml, die übrigen Rassen dazwischen. Insgesamt befindet sich das Zellzahlniveau der vorliegenden Daten mit im Mittel 235 Tsd./ml ( $s = 621\text{ Tsd./ml}$ ) zwar auf einem für Deutschland

üblichen (Durchschnitt Zellen/ml in Deutschland 2015: 237.000; 2016: 238.000; 2017: 235.000; 2018: 241.000 (DLQ 2015, 2016, 2017, 2018)), aber relativ hohen Niveau, mit dem Sekretionsstörungen bzw. entzündliche Vorgänge im Euter verbunden werden und betrieblich gesehen Verbesserungspotentiale bestehen (DVG, 1994; Segge-wiß, 2004; Härle und Sundrum, 2013).

### Vergleich ausgewählter Rassen nach Laktationsnummern

In diesem und dem nächsten Abschnitt werden Daten der drei häufigsten Rassen dieser Auswertung SBT, FL und BV sowie die nach Inhaltsstoffen extremsten Rassen Angler und Jersey näher behandelt. Im Vergleich der Mittelwerte der fünf Laktationsklassen 1. bis > 4. Laktation spiegelt sich der Verlauf der Jahresmilchmengen der verschiedenen Laktationen aus Tab. 2-2 in den Milchmengen je Kuh und Tag wider (Abb. 2-3). Bei SBT und BV liegen die mittleren Tagesmilchmengen der zweiten Laktation (SBT:  $\bar{x} = 29,6$  kg;  $s = 9,7$  kg; BV:  $\bar{x} = 23,0$  kg;  $s = 7,5$  kg) und die der Gruppe  $\geq 5$ . Laktation (SBT:  $\bar{x} = 29,6$  kg;  $s = 10,4$  kg; BV:  $\bar{x} = 23,6$  kg;  $s = 8,2$  kg) auf ähnlichem Niveau, genau wie die der dritten (SBT:  $\bar{x} = 30,7$  kg;  $s = 10,5$  kg; BV:  $\bar{x} = 24,5$  kg;  $s = 8,2$  kg) und der vierten Laktation (SBT:  $\bar{x} = 30,8$  kg;  $s = 10,7$  kg; BV:  $\bar{x} = 24,3$  kg;  $s = 8,4$  kg) auf einem ähnlichen Niveau liegen. Die Tagesmilchmengen der ersten Laktation (SBT:  $\bar{x} = 25,9$  kg;  $s = 6,8$  kg; FL:  $\bar{x} = 22,2$  kg;  $s = 5,8$  kg; BV:  $\bar{x} = 20,7$  kg;  $s = 5,6$  kg; Angler:  $\bar{x} = 22,1$  kg;  $s = 6,1$  kg; Jersey:  $\bar{x} = 18,9$  kg;  $s = 5,6$  kg) liegen jeweils deutlich unter denen der zweiten Laktation (FL:  $\bar{x} = 24,4$  kg;  $s = 7,9$  kg; Angler:  $\bar{x} = 25,2$  kg;  $s = 8,7$  kg; Jersey:  $\bar{x} = 20,6$  kg;  $s = 6,6$  kg). Die Angler- und Fleckviehkühe halten auch in der Gruppe  $\geq 5$ . Laktation ein ähnliches Niveau wie in der dritten und vierten Laktation (3. Laktation: Angler:  $\bar{x} = 26,7$  kg;  $s = 9,7$  kg; FL:  $\bar{x} = 25,5$  kg;  $s = 8,4$  kg; 4. Laktation: Angler:  $\bar{x} = 27,2$  kg;  $s = 9,9$  kg; FL:  $\bar{x} = 25,8$  kg;  $s = 8,6$  kg;  $\geq 5$ . Laktation: Angler:  $\bar{x} = 27,0$  kg;  $s = 9,9$  kg; FL:  $\bar{x} = 25,2$  kg;  $s = 8,5$  kg), die Jerseykühe dieser Auswertung steigern sich sogar noch etwas (3. Laktation:  $\bar{x} = 21,9$  kg;  $s = 7,7$  kg; 4. Laktation:  $\bar{x} = 21,7$  kg;  $s = 7,4$  kg;  $\geq 5$ . Laktation:  $\bar{x} = 22,4$  kg;  $s = 7,2$  kg). Unterschiede im Milchfettgehalt zeigen sich zwischen den dargestellten Rassen in gleicher Größenordnung wie beim Mittelwertvergleich in Abbildung 2-1. Zwischen den Laktationen innerhalb einer Rasse bestehen hingegen kaum Unterschiede (Abb. 2-3). Bei SBT ist ein leichter Anstieg der mittleren Fettgehalte zu erkennen (+0,08 %-Punkte von 1. bis > 4. Laktation), bei der Rasse Jersey steigt der Fettgehalt tendenziell mit Anzahl der Laktationen stärker an (+0,49 %-Punkte von 1. bis > 4. Laktation),

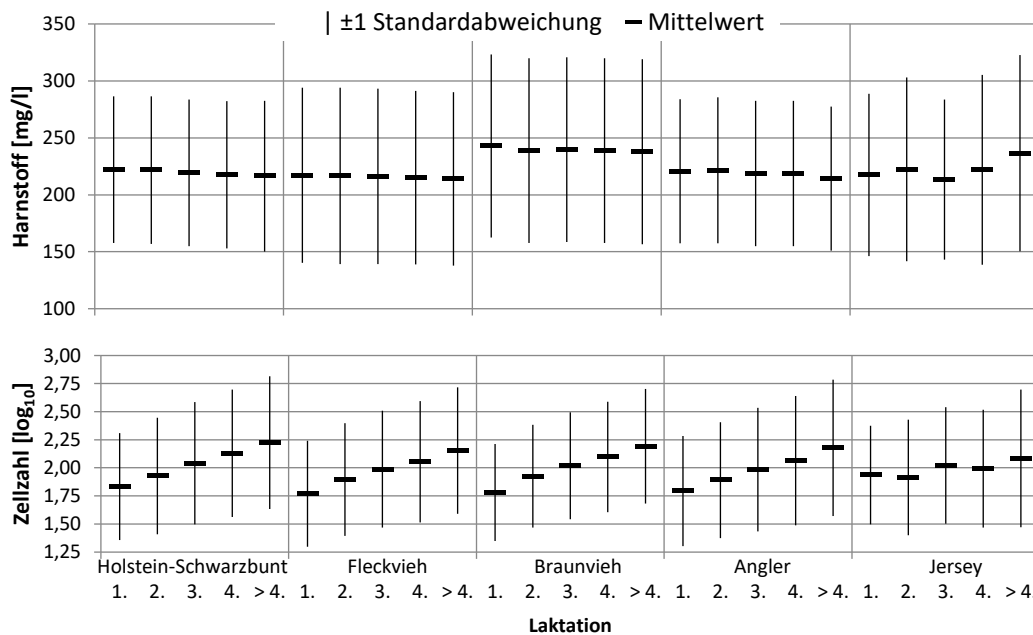


**Abbildung 2-3.** Mittelwerte und Standardabweichung für Milchmenge, Fett, Eiweiß, Laktose sowie den FEQ für ausgewählte Rassen nach Laktationsklassen (SBT:  $n = 3.665.150$ ; FL:  $n = 2.295.075$ ; BV:  $519.985$ ; Angler:  $n = 81.722$ ; Jersey:  $n = 3.601$ ).

*Arithmetic means and standard deviation of milk yield, fat, protein, lactose as well as fat protein ratio for selected breeds per lactation class.*

wobei hier die im Gegensatz zu den weiteren Rassen geringere Datenmenge zu berücksichtigen ist. Bei FL, BV und Angler sind die jeweils höchsten Fettgehalte in der zweiten Laktation und anschließend ein leichter Abfall mit zunehmender Laktationsnummer zu erkennen. Beim Milcheiweißgehalt zeigen sich etwas größere Unterschiede als beim Fettgehalt. Das Maximum liegt jeweils in der zweiten Laktation mit einer abfallenden Tendenz in den weiteren Laktationen außer bei Jersey. Wie beim Fettgehalt auch, steigen bei der Rasse Jersey die Eiweißgehalte mit höherer Laktationsnummer leicht an (+0,13 %-Punkte von 1. bis > 4. Laktation). Fett und Eiweiß sind eng miteinander korreliert (SBT:  $r = 0,52$ ; FL:  $r = 0,42$ ; BV:  $r = 0,41$ ; Angler:  $r = 0,54$ ; Jersey:  $r = 0,64$ ; jeweils  $p < 0,0001$ ). Für Milchfett und Milcheiweiß ist in der Literatur eine phänotypische Korrelation in ähnlicher Größenordnung von  $r_p = 0,48$  für Deutsche Holstein angegeben (Brade et al., 2013). Die Daten von Holstein-Kühen bei Siebert und Pallauf (2010) variierten bezüglich Fett stärker und zeigten eine stärker ansteigende Tendenz bei zunehmender Laktationsnummer (+0,15 %-Punkte von 1. bis > 3. Laktation). Beim Eiweißgehalt hingegen waren deren Werte gleichmäßiger als in der vorliegenden Arbeit, wiesen aber ebenfalls ein Maximum in der zweiten Laktation auf. Schutz et al. (1990) fanden für Holstein- und Jerseykühe jeweils in der zweiten Laktation für F und E Maxima. Auch der FEQ stellt sich über die Laktationsklassen innerhalb der Rasse gesehen sehr konstant dar. Bei SBT, FL, BV und Angler zeigt sich in der zweiten Laktation der niedrigste FEQ ( $\bar{x} = 1,18$ ;  $s = 0,18$  bzw.  $1,18$ ;  $s = 0,19$  bzw.  $1,18$ ;  $s = 0,18$  bzw.  $1,28$ ;  $s = 0,20$ ). Auf sehr geringem Niveau steigen bei SBT ( $\bar{x} = 1,20$  bzw.  $1,21$  bzw.  $1,23$ ;  $s = 0,20$  jeweils) und Angler ( $\bar{x} = 1,29$  bzw.  $1,29$  bzw.  $1,30$ ;  $s = 0,21$  bzw.  $0,23$  bzw.  $0,23$ ) die FEQ mit höherer Laktationsnummer an, bei FL und BV bleiben sie in den Laktationsnummernklassen 3., 4. und > 4. konstant bei  $\bar{x} = 1,19$  ( $s = 0,19$  bis  $0,23$  mit steigender Laktationsnummer). Die Daten der Jerseykühe zeigen für den FEQ von erster zu > 4. Laktation eine ansteigende Tendenz wie bei F und E auch ( $\bar{x} = 1,38$  bzw.  $1,41$  bzw.  $1,39$ , bzw.  $1,45$  bzw.  $1,46$ ;  $s = 0,20$  bzw.  $0,20$  bzw.  $0,21$  bzw.  $0,25$  bzw.  $0,22$ ).

Der Einfluss der Laktationsnummer auf den Laktosegehalt der Milch ist bei allen dargestellten Rassen deutlich: mit steigender Laktationsnummer sinken die mittleren Laktosegehalte ab. Von der ersten bis zur höchsten Laktationsnummernklasse besteht ein Unterschied von etwa -0,20 %-Punkten über alle Rassen. Auch beim logarithmierten Zellgehalt ist ein Einfluss der Laktationsnummer zu erkennen. Er steigt mit höherer Laktationsnummernklasse über alle Rassen auf ähnlichem Niveau an (Abb. 2-4).



**Abbildung 2-4.** Mittelwerte und Standardabweichung für Milchharnstoffgehalt und logarithmierte Zellzahlwerte für Deutsche Holstein-Schwarzbunt, Fleckvieh, Braunvieh, Angler und Jersey nach Laktationsklassen.

*Arithmetic means and standard deviation of milk urea content and log transformed somatic cell count for the German breeds of Holstein, Simmental, Brown Swiss, Angler and Jersey per lactation class.*

Auch Härle und Sundrum (2013) stellten in einer Untersuchung mit Daten von bayrischen Fleckviehkühen mit steigender Laktationsnummer steigende Zellgehalte fest. Für Jersey und Holstein aus Minnesota, USA, wurde jeweils ein höherer somatischer Zellscore mit steigender Laktationsnummer ausgewiesen (Schutz et al., 1990). Der Zellanzahlanstieg mit höherer Laktationsnummer ist eine Folge bereits erlittener Mastitiden, deren Häufigkeit mit zunehmendem Alter ansteigt (Wheelock und Rook, 1966, Reichmuth, 1975, Thieme und Haasmann, 1978; Hamann, 1992). Bereits ab Werten  $> 100.000$  Zellen/ml beginnt der Übergang von normaler Abwehrreaktion zu entzündlicher Reaktion des Euters einhergehend mit einer Veränderung der chemischen Zusammensetzung der Milch (DVG, 1994). Da Zellzahl und Laktose negativ korreliert sind ( $r = -0,42$  ( $p < 0,0001$ ; eigene Untersuchung, alle 15 Rassen),  $r = -0,53$  ( $p < 0,001$ ; Seggewiß, 2004; Deutsche Holstein), beides mit logarithmierter Zellzahl) geht mit steigender Zellzahl ein sinkender Laktosegehalt von Laktation zu Laktation einher. Ein Abfall der Laktosekonzentration in der Milch und ein Anstieg im Harn kann auf eine Störung der Blut-Euter-Schranke in Folge einer Entzündung zurückgeführt werden. Nach Wheelock und Rook (1966) zeigen Kühe mit steigender Laktationszahl

gehäuft geringere Laktosegehalte in der Milch und erhöhte im Harn. Seggwiß (2004) fand ebenfalls höhere Laktosegehalte in der Milch bei primiparen Kühen im Gegensatz zur Gruppe der multiparen Kühe. Der Pearson-Korrelationskoeffizient von Laktose [%] und Laktationsnummernklasse der vorliegenden Untersuchung beträgt  $r = -0,33$  über alle Daten, zwischen den Rassen bestehen nur sehr geringe Unterschiede. Bei Betrachtung der mittleren Milhharnstoffgehalte über die Laktationsklassen innerhalb der dargestellten Rassen zeigt sich ein gleichbleibendes Niveau bzw. kein Einfluss der Laktationsnummer (Abb. 2-4), wie auch bei Richardt et al. (2001b). Unterschiede zwischen primi- und multiparen Kühen wie bei Godden et al. (2001) sind vor allem der aufgenommenen Ration zuzuordnen.

### **MLP-Parameter im Laktationsverlauf**

Für die Nutzung von Milchinhaltstoffen zur Bewertung der Fütterung der Kühe ist ihr Verlauf innerhalb einer Laktation von Bedeutung. Daher wurden Laktationskurven nach Ali und Schaeffer (1987) modelliert und Minima sowie Maxima berechnet. Tabelle 2-3 zeigt für die ausgewählten Rassen und fünf Laktationsklassen die durchschnittliche Milchmenge in kg/Tag, durchschnittliche Fett-, Eiweiß-, Laktose- und Harnstoffgehalte sowie den Fett-Eiweiß-Quotienten innerhalb der ersten 320 Laktationstage. Bei der Interpretation ist zu berücksichtigen, dass die Standardfehler der geschätzten Regressionsparameter für die Ali-Schaeffer-Funktion für die Rasse Jersey aufgrund der geringeren Stichprobengröße um ein Vielfaches höher waren, als für die weiteren Rassen, die Sicherheit der Aussagen zu den Kurvenverläufen sind demnach für diese Rasse deutlich geringer bzw. nicht konstant.

Die Milchleistungsspitzen erreichen alle Rassen und Laktationsnummernklassen zwischen dem 19. und 54. Laktationstag. Siebert und Pallauf (2010) beschreiben für Holsteinkühe Ähnliches wie in der vorliegenden Untersuchung. Im Vergleich zu Leistungsdaten der späten 70er Jahre weisen sie auf eine spätere Spitze der Tagesmilchmenge bei aktuelleren Daten hin, was mit der deutlichen Leistungssteigerung seitdem zusammenhängt. Mit Ausnahme der Jerseykühe dieser Auswertung wird das Maximum in der ersten Laktation später erreicht als in den weiteren Laktationen. Zu gleichen Ergebnissen kommen auch Siebert und Pallauf (2010) und begründen diese mit einem flacheren Laktationskurvenverlauf. Stanton et al. (1992) ermittelten für Kühe aus dem Nordosten der USA die maximale Milchleistung für drei Laktationsklassen (1., 2., > 2. Laktation) jeweils für den 45. Laktationstag.



**Tabelle 2-3.** Laktationstage, an denen Milchmenge und Inhaltsstoffe ihr Maximum (Max.) bzw. Minimum (Min.) erreichen für die Rassen Deutsche Holstein-Schwarzbunt, Fleckvieh, Braunvieh, Angler und Jersey nach Laktationsklassen (Lakt.) (Laktationskurven modelliert nach Ali und Schaeffer (1987), Laktationstag (LT) 6 bis 320) *Days in milk on which milk quantity and ingredients reach their maximum (Max.) or minimum (Min.) for the German breeds Holstein, Simmental, Brown, Angler and Jersey per number of parity class (Lakt.) (Lactation curves modeled after Ali and Schaeffer (1987), days in milk (LT) 6 to 320)*

Rasse	n	Lakt.	Milch [kg/Tag]			Fett [%]			Eiweiß [%]			Laktose [%]			Fett-Eiweiß-Quotient			Harnstoff [mg/L]						
			$\bar{x}$	Max.	LT	$\bar{x}$	Min.	LT	$\bar{x}$	Min.	LT	$\bar{x}$	Max.	LT	$\bar{x}$	Min.	LT	$\bar{x}$	Min.	LT	Max.	LT		
<b>Holstein-Schwarzbunt</b>																								
1.085.656	1.	1.	26,0	29,2	54	4,10	3,81	74	3,46	3,15	32	4,86	4,95	41	1,19	1,15	134	1,35	10	224	194	12	233	153
832.802	2.	2.	29,6	36,9	37	4,15	3,83	71	3,53	3,20	35	4,77	4,86	41	1,18	1,15	127	1,32	11	223	196	11	231	158
569.146	3.	3.	30,7	39,2	39	4,18	3,86	75	3,49	3,13	35	4,72	4,83	46	1,20	1,16	137	1,39	11	220	189	13	229	170
349.193	4.	4.	30,6	39,2	40	4,19	3,88	77	3,47	3,11	35	4,69	4,80	49	1,21	1,16	320	1,41	12	218	186	14	228	175
360.704	>4.	>4.	29,0	37,4	40	4,22	3,93	73	3,46	3,10	35	4,65	4,76	52	1,22	1,17	320	1,40	13	218	186	15	228	177
<b>Fleckvieh</b>																								
650.711	1.	1.	22,0	25,5	41	4,32	4,00	73	3,62	3,19	29	4,84	4,94	36	1,20	1,16	149	1,38	12	221	205	12	227	150
513.532	2.	2.	24,0	30,9	27	4,34	4,02	64	3,73	3,31	30	4,74	4,86	33	1,17	1,14	140	1,29	15	220	206	14	224	176
373.547	3.	3.	25,0	32,7	28	4,32	4,02	68	3,67	3,22	30	4,70	4,83	33	1,18	1,15	163	1,34	15	219	203	13	225	177
249.166	4.	4.	25,1	32,9	29	4,30	4,02	70	3,65	3,21	30	4,67	4,81	35	1,19	1,15	320	1,35	15	218	199	12	224	180
321.956	>4.	>4.	24,4	31,7	31	4,25	4,00	70	3,61	3,19	31	4,63	4,76	37	1,18	1,14	320	1,34	16	217	200	15	223	182
<b>Braunvieh</b>																								
122.340	1.	1.	20,9	25,0	26	4,34	4,05	56	3,66	3,29	29	4,83	4,91	37	1,19	1,17	138	1,30	14	260	248	7	263	124
99.140	2.	2.	23,3	30,1	22	4,38	4,11	57	3,78	3,44	31	4,75	4,84	35	1,16	1,14	134	1,24	16	256	248	18	259	164
78.627	3.	3.	25,0	32,4	24	4,36	4,11	67	3,74	3,36	32	4,72	4,82	39	1,17	1,13	320	1,30	16	257	244	14	262	160
56.438	4.	4.	24,8	32,5	25	4,34	4,10	71	3,72	3,33	33	4,67	4,78	40	1,17	1,12	320	1,31	17	255	240	15	260	158
96.214	>4.	>4.	24,0	31,1	26	4,31	4,09	72	3,69	3,31	33	4,62	4,73	44	1,17	1,11	320	1,32	17	256	241	15	261	161
<b>Angler</b>																								
23.626	1.	1.	21,8	25,9	37	4,79	4,35	52	3,69	3,24	29	4,80	4,91	37	1,30	1,27	138	1,42	11	224	200	9	234	118
17.844	2.	2.	24,4	32,7	26	4,89	4,44	54	3,81	3,32	29	4,70	4,84	33	1,28	1,25	136	1,41	13	229	205	6	239	115
12.889	3.	3.	26,0	35,9	30	4,87	4,43	60	3,79	3,26	29	4,67	4,84	40	1,29	1,25	320	1,47	12	225	199	10	234	129
9.210	4.	4.	26,3	36,3	31	4,86	4,48	68	3,75	3,23	30	4,65	4,83	48	1,30	1,23	320	1,53	12	221	191	8	230	160
10.181	>4.	>4.	25,9	35,8	30	4,80	4,43	69	3,70	3,19	31	4,61	4,79	47	1,30	1,22	320	1,53	14	220	191	11	229	167
<b>Jersey</b>																								
913	1.	1.	18,5	22,8	19	5,55	4,96	25	4,02	3,47	21	4,73	4,85	39	1,38	1,35	153	1,45	11	232	197	9	243	92
775	2.	2.	20,9	26,7	29	5,75	4,99	28	4,16	3,66	28	4,64	4,76	40	1,38	1,33	6	1,39	260	226	203	320	239	113
572	3.	3.	21,7	27,9	26	5,68	5,14	46	4,10	3,57	26	4,64	4,79	42	1,39	1,20	6	1,48	21	217	163	6	230	147
417	4.	4.	22,1	28,6	27	6,02	5,59	62	4,17	3,76	35	4,52	4,66	48	1,44	1,37	6	1,52	23	256	178	6	263	191
495	>4.	>4.	22,8	29,6	31	6,07	5,49	6	4,20	3,68	30	4,47	4,60	46	1,45	1,22	6	1,52	26	275	233	7	288	129

Der minimale Fettgehalt wird über alle Rassen bis auf Jersey in der 8. bis 11. Laktationswoche erreicht, der minimale Eiweißgehalt dagegen für alle Rassen relativ einheitlich bereits in der vierten Laktationswoche. Der Zeitpunkt für den minimalen Fettgehalt stimmt mit den Auswertungen von Siebert und Pallauf (2010), Stanton et al. (1992) sowie Schutz et al. (1990) überein, der minimale Eiweißgehalt wird in deren Auswertungen für Holsteinkühe allerdings einige Tage später erreicht. Der höchste mittlere Laktosegehalt wird im Zeitraum der maximalen Milchleistung und der minimalen Milcheiweißkonzentration bzw. wenige Tage danach erreicht. Die Korrelationskoeffizienten unterstreichen diesen Zusammenhang, denn Laktosegehalt und Milchmenge sind positiv korreliert (SBT:  $r = 0,28$ ; FL:  $r = 0,30$ ; BV:  $r = 0,27$ ; Angler:  $r = 0,35$ ; Jersey:  $r = 0,25$ ; jeweils  $p < 0,0001$ ). Laktose- und Eiweißgehalt hingegen bzw. Eiweißgehalt und Milchmenge sind negativ korreliert (SBT:  $R = -0,28$  bzw.  $-0,51$ ; FL:  $r = -0,31$  bzw.  $-0,47$ ; BV:  $r = -0,28$  bzw.  $-0,40$ ; Angler:  $r = -0,44$  bzw.  $-0,57$ ; Jersey:  $r = -0,53$  bzw.  $-0,48$ ; jeweils  $p < 0,0001$ ). Bei den Rassen Holstein und Fleckvieh wird der Minimum-FEQ in der ersten, zweiten und dritten Laktation im zweiten Laktationsdrittel erreicht, in der 4. Laktation und ab der 5. Laktation zum Ende des dargestellten Zeitraums. Bei den Rassen Braunvieh und Angler wird der Minimum-FEQ in der ersten und zweiten Laktation im zweiten Laktationsdrittel erreicht, in den Gruppen 3., 4. und  $\geq 5$ . Laktation zum Ende des dargestellten Zeitraums. Die maximalen FEQs zeigen sich bereits innerhalb der zweiten Laktationswoche, bei Jersey in der dritten. Hier besteht ein Einfluss der Laktationsnummer in der Form, dass das Maximum des FEQ tendenziell von Laktation zu Laktation minimal später auftritt und jeweils etwas ansteigend ist. Höhere FEQs mit steigender Laktationszahl fanden auch Siebert und Pallauf (2010).

Die Minima für den Milchharnstoffgehalt fallen ebenfalls wie die Maxima der FEQs in den Zeitraum der ersten Wochen der Laktation. Höchste Werte erreichen die Harnstoffgehalte im zweiten Laktationsdrittel. Godden et al. (2001) werteten MLP-Daten aus Ontario, USA, aus und fanden ebenfalls die geringsten Werte in den ersten Tagen post partum und das Maximum im zweiten Laktationsdrittel. Deren Werte, die aus dem Jahr 1996 stammten, lagen auf deutlich höherem Harnstoffniveau ( $\bar{x} = 287$  mg/L;  $s = 72$  mg/L) als die Daten in der vorliegenden Auswertung.

Zu Beginn der Laktation befinden sich die Kühe physiologisch bedingt in einem Energiedefizit, für die Milchabgabe wird mehr Energie benötigt, als über die Futteraufnahme realisiert werden kann, da die Futteraufnahme postpartum langsamer als die

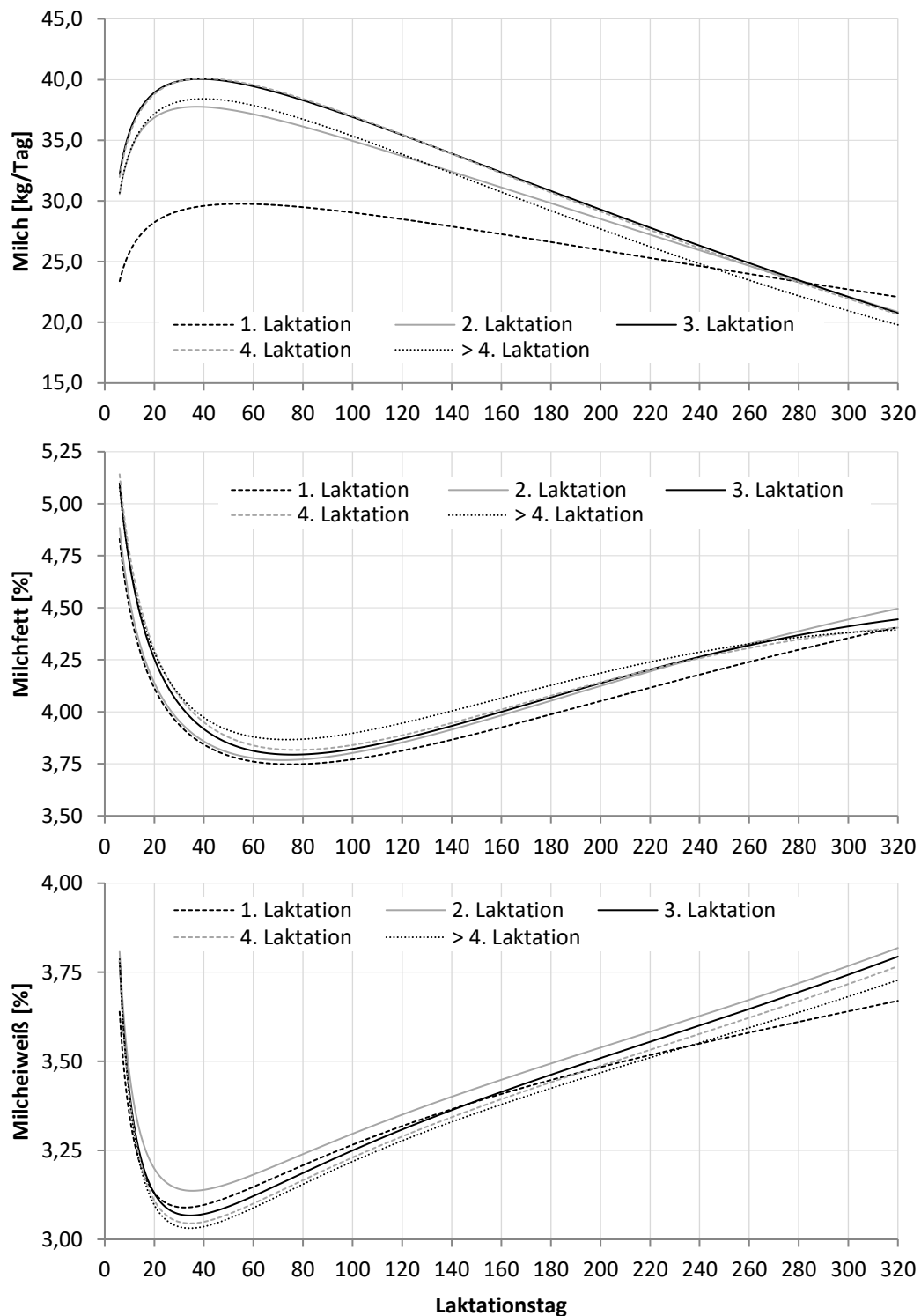
Milchleistung ansteigt und im Hinblick auf eine wiederkäuergerechte und wirtschaftliche Fütterung die Energiekonzentration des Futters nicht beliebig gesteigert werden kann (Heuer et al., 2000; Reist et al., 2002; Seggewiß, 2004; Breves, 2007; Gross et al., 2011; Ebert et al., 2017; Denißen et al., 2018; Harder et al., 2018, Hertel-Böhnke et al.; 2018, Schmitz et al., 2018). In der Phase des Energiemangels wird ein Teil der Milch aus Körperreserven, in erster Linie aus Depotfett gebildet. Dies ist bis zu einem gewissen Grad physiologisch normal. Wird dieser Grad jedoch überschritten, steigt das Risiko einer Ketose und verschiedener weiterer Erkrankungen sowie des Ausscheidens aus der Herde (Heuer et al., 1999; Breves, 2007; Bergk und Swalve, 2011; Toni et al., 2011; Buttchereit et al., 2012). Vermehrter Körperfettabbau kann zu erhöhten Fettgehalten in der Milch führen (Grieve et al., 1986; Spohr und Wiesner, 1991; Drackley, 1999; Heuer et al., 1999, 2000; Gross et al., 2011; Toni et al., 2011). In Energiemangelsituationen werden auch bereits im Blut befindliche Aminosäuren zur energetischen Nutzung herangezogen, hinzukommt, dass die mikrobielle Rohproteinsynthese im Vormagensystem bei nicht ausreichender Futterenergiezufuhr begrenzt ist und somit im Dünndarm weniger hochverdauliches Eiweiß für die Milchproteinsynthese zur Verfügung steht. In der Folge steigender Fettgehalte und sinkender Eiweißgehalte finden sich weite Fett-Eiweiß-Verhältnisse. Der FEQ wird von verschiedenen Autoren in Zusammenhang mit dem Energiesaldo gebracht und als ein Bewertungsmaßstab dafür beurteilt (Grieve et al., 1986; Spohr und Wiesner, 1991; Heuer et al., 1999, 2000; Reist et al., 2002; Seggewiß, 2004; Bergk und Swalve, 2011; Toni et al., 2011; Buttchereit et al., 2012). Bei Ebert et al. (2017) zeigte der FEQ bei negativem Energiesaldo (ES) höhere Werte, die mit ansteigendem bzw. ausgeglichenem ES geringer wurden. Theilgaard et al. (2002) gehen von einem höheren Fettgewebeanteil bei multiparen Kühen aus und fanden eine stärkere lipolytische Reaktion bei Tieren mit mehr subkutanem Fettgewebe. Wird bei höheren Laktationen bei Energiemangel mehr Fett mobilisiert, erklärt dies die etwas höheren maximalen FEQs mit steigender Laktationsnummer. Grundsätzlich scheint es Kuhtypen zu geben, die physiologisch divergent auf den negativen Energiesaldo post partum reagieren (Klein et al., 2012; Tremblay et al., 2018).

Der Milchwahnhstoffgehalt ist das Merkmal, das Auskunft über die Futterrohproteinversorgung geben kann und ist hauptsächlich von der Rohproteinmenge und -qualität, aber auch der mikrobiellen Rohproteinsynthese und damit der Energieversorgung der

Mikroorganismen im Pansen abhängig (Piatkowski et al., 1981; Richardt et al., 2001a, 2002; Seggewiß, 2004; Lebzien et al., 2006; Steinwiddler et al., 2009).

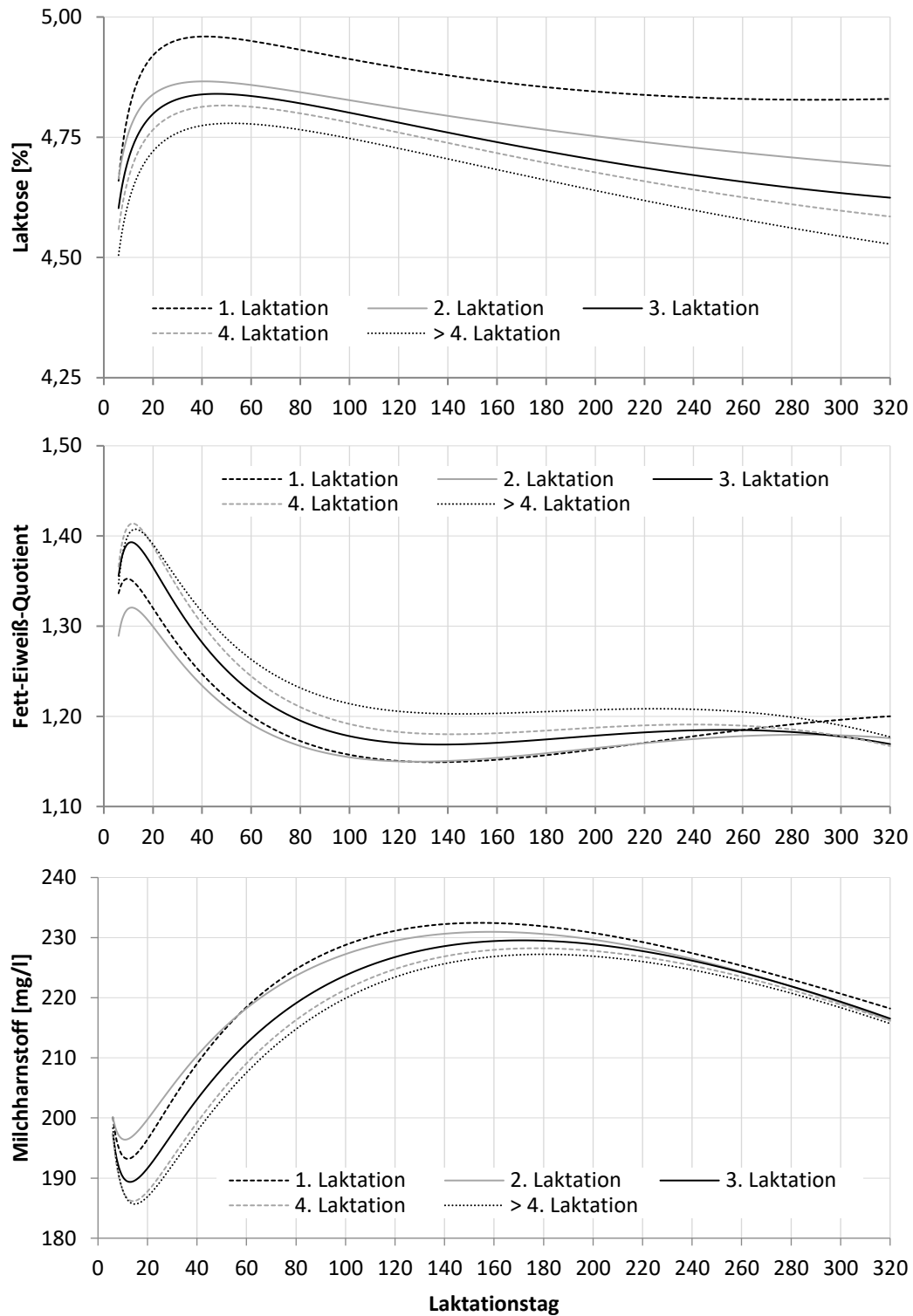
Auch wenn zu den vorliegenden Daten keinerlei Informationen zur jeweiligen Futtergrundlage oder zur Futteraufnahme vorliegen, ist nicht davon auszugehen, dass im Mittel der Betriebe über alle einbezogenen Regionen zu Beginn der Laktation eine proteinärmere Ration als im weiteren Verlauf der Laktation verabreicht wird. Es ist eher anzunehmen, dass eine gleichbleibende Futtergrundlage über die Laktation vorhanden ist und die niedrigeren Milchwahnstoffgehalte zu Beginn der Laktation ein Spiegel der geringen Futteraufnahme im Verhältnis zum Bedarf sind. Richardt et al. (2001b) fanden einen stark negativen Einfluss des ersten Laktationsdrittels auf den Milchwahnstoffgehalt. Über den ruminohepatischen Kreislauf sind Rinder in der Lage, einen Stickstoffmangel im Pansen zumindest anteilig mit endogenem Stickstoff zu kompensieren, wodurch Harnstoffgehalte im Blut und damit auch in der Milch absinken. Bei Energiemangel wird nicht nur Fett-, sondern auch Muskelgewebe zur energetischen Nutzung abgebaut (Tamminga et al., 1997). Der durch Abbau endogenen Proteins freigewordene Stickstoff trägt ebenfalls positiv zum Blut- und Milchwahnstoffgehalt bei. Durch diesen Zusammenhang wird die Bedeutung der geringen Harnstoffgehalte zum Laktationsstart als Anzeiger für unzureichende Futteraufnahme deutlich. Die enge Korrelation von Blut- und Milchwahnstoff wurde vielfach nachgewiesen (Piatkowski et al., 1981; Seggewiß, 2004; Lebzien et al., 2006; Steinwiddler et al., 2009).

Sind Fütterung und Haltung ausgenommen, ist die Ausprägung der täglichen Milchmenge und der Milchinhaltsstoffe vom Laktationsstand abhängig. Variationen zwischen den Laktationsnummernklassen sind auf geringem Niveau zu finden und mit der Milchleistung bzw. der Konstitution (Größe, Gewicht, Futteraufnahmevermögen) in erster Linie zu erklären. Zur optischen Verdeutlichung der Kurvenverläufe werden in den Abbildungen 2-5 und 2-6 die wichtigsten diskutierten Merkmale für die fünf Laktationsnummernklassen beispielhaft für die Rasse Deutsche Holstein-Schwarzbunt dargestellt. Die Form der Laktationskurven unterscheidet sich zwischen den Rassen wie auch bei Schutz et al. (1990) nur unwesentlich. Lediglich die Höhe und Ausprägung stehen im Zusammenhang mit Leistungsvermögen und den überwiegend genetisch fixierten Fett-, Eiweiß- und Laktosekonzentrationen. In den dargestellten Diagrammen fallen die Kurven für Eiweiß und FEQ der 2. Laktation auf, E liegt sichtbar oberhalb der Kurven der anderen Laktationen wie bei Siebert und Pallauf (2010) auch



**Abbildung 2-5.** Laktationskurven modelliert nach Ali und Schaeffer (1987) für Milchmenge, Fett- und Eiweißgehalte bis zum 320. Laktationstag je Laktationsnummernklasse beispielhaft für Deutsche Holstein-Schwarzbunt.

*Lactation curves modeled after Ali and Schaeffer (1987) for milk yield, fat and protein contents up to the 320th day in milk per number of parity class exemplary for German Holstein.*



**Abbildung 2-6.** Laktationskurven modelliert mit der Funktion nach Ali und Schaeffer (1987) für Laktosegehalt, Fett-Eiweiß-Quotient und Harnstoffgehalt je Laktationsnummernklasse exemplarisch für Deutsche Holstein-Schwarzbunt.

*Lactation curves modeled with the function according to Ali and Schaeffer (1987) for lactose content, fat protein ratio and milk urea per number of parity class exemplary for German Holstein.*

und die Kurve für den FEQ anders als bei Siebert und Pallauf (2010) darunter. Die Kurven der Erstlaktierenden liegen hingegen in der Nähe der weiteren Laktationen. Damit werden die bereits beschriebenen Auswertungen, die ein Maximum bei E und Minimum beim FEQ für die zweite Laktation zeigen, unterstrichen. An den Kurven ist ebenfalls zu erkennen, dass die Werte der primiparen Tiere im letzten Laktationsdrittel etwa ab dem 240. Laktationstag etwas unterhalb der Eiweißkurven der weiteren Laktationen liegen und in diesem Zeitraum die FEQ-Kurve leicht ansteigend ist und zum Ende des dargestellten Zeitraums über den weiteren liegt. Dies könnte mit einem erhöhten Energiebedarf für Wachstum und Milchbildung zusammenhängen, denn die Erstlaktierenden zeigen eine bessere Persistenz, haben also zum Ende der Laktation eine höhere Milchleistung als die multiparen Tiere, wie bei Siebert und Pallauf (2010) auch, und sind noch erheblich im Wachstum befindlich.

### **Ergebnisse der multiplen Mittelwertvergleiche**

Obwohl alle in das lineare Modell einbezogenen Parameter einen hochsignifikanten Einfluss ( $p < 0,0001$ ) haben, lassen sich die jeweils berechneten Variablen über die Informationen, die in den MLP-Daten vorhanden sind, nur zum Teil erklären (Tab. 2-4). Die gewählten Modelle für die tägliche Milchmenge sowie für die Fett-, Eiweiß- und Laktosekonzentration weisen jedoch ein deutlich höheres Bestimmtheitsmaß aus als die für den Harnstoffgehalt und den FEQ. Das deutet darauf hin, dass die hauptsächlich für Harnstoff und den Fett-Eiweiß-Quotienten bestimmenden Einflussfaktoren in der jeweiligen Fütterung (Grieve et al., 1986; Kirchgeßner et al., 1986; Spohr und Wiesner, 1991; Heuer et al., 1999, 2000; Richardt et al., 2001a; Seggewise, 2004; Lebzien et al., 2006; Toni et al., 2011; Siachos et al., 2017; Denißen et al., 2018; Hertel-Böhnke et al., 2018; Schmitz et al., 2018) und der Tierbetreuung liegen, welche im Rahmen einer Fütterungskontrolle mit diesen beurteilt werden sollen.

In den für die verschiedenen Variablen jeweils gewählten Modellen wurde als Haupteinflussfaktor für das Management der Betrieb einbezogen. Weitere, die Fütterung tangierende Parameter wie Jahreszeit, Laktationsnummer, Laktationstag wurden ebenfalls im statistischen Modell berücksichtigt. Die verallgemeinerten Kleinste-Quadrate Mittelwerte (LSM) liegen auf ähnlichem Niveau wie die arithmetischen Mittelwerte und rangieren die 15 ausgewählten Rassen ähnlich. Der LSM für die Milchmenge widerspiegelt den ECM-Wert sehr genau, da im Modell die Inhaltsstoffe Fett und Eiweiß, ähnlich wie bei der Berechnung der energiekorrigierten Milchmenge, berücksichtigt

wurden. Auch bei diesem Merkmal, unter linearer Betrachtung gleicher Inhaltsstoffe, wird die Rasse Deutsche Holstein-Schwarzbunt als die leistungsfähigste herausgestellt (LSM = 29,3 kg Milch/Tag).

**Tabelle 2-4.** *F-Werte (Typ III Summe der Quadrate) der fixen Effekte der jeweils gewählten allgemeinen linearen Modelle (alle Effekte hochsignifikant;  $p < 0,0001$ ) und verallgemeinerte Kleinste-Quadrate Mittelwerte je Rasse*

*F values (Typ III sum of squares) of the fixed effects of each selected general linear models (all effects highly significant;  $p < 0.0001$ ) and least square means per breed.*

		Modell					
		Milch [kg/Tag]	Fett [%]	Eiweiß [%]	Laktose [%]	Harnstoff [mg/L]	FEQ
Klassen	Rasse	17.067	2.764	9.340	1.067	4.416	2.477
	Kontrollverband	10.114	549	3.235	2.263	4.439	748
	Saison	1.788	13.790	84.081	10.362	12.258	3.798
	LNK	217.622	5.353	32.436	245.971	3.568	6.750
fixe Effekte	Milch [kg/Tag]	---	364.809	134.196	197.179	63.543	241.122
	Fett [%]	13.838	---	969.892	2.096	4.456	---
	Eiweiß [%]	79.765	969.892	---	57	14.154	---
	Laktose [%]	197.179	4.643	32.299	---	12.703	207
	FEQ	39.955	---	---	1.359	4.578	---
	Harnstoff [mg/L]	63.543	4,2	48.876	12.703	---	1.607
	logZZ	139.228	127	13.797	633.434	16.106	716
	Betrieb	1.828	249	103	287	5.169	225
	Laktationstag	1.165.462	76.237	1.595.955	52.807	3.897	338.551
	r <sup>2</sup>	0,52	0,29	0,51	0,34	0,04	0,07

Rasse	verallgemeinerte Kleinste-Quadrate Mittelwerte					
SBT	29,3*	4,24	3,45	4,74*	215	1,22
RBT	27,7	4,29	3,48	4,74	215	1,23
JER	27,0	5,18*	3,76*	4,70*	217	1,38*
BV	25,7	4,16	3,61	4,78	243	1,17
RVA	28,2*	4,55*	3,61	4,73	212	1,27*
RV	18,0*	4,28	3,65	4,82	189*	1,19
RDN	24,6*	4,28	3,50	4,74	230	1,22
DSN	23,8*	4,20	3,58	4,76	224	1,19
FL	26,1	4,15	3,58	4,77	218	1,18
VW	20,3*	4,10	3,44	4,75	237	1,18
DBV	15,0*	3,90	3,48	4,89*	277*	1,12
MON	26,5	4,07	3,49	4,81	242	1,16
SON	25,8	4,26	3,44	4,73	222	1,23
XFM	26,0	4,23	3,50	4,75	220	1,21
XMM	27,2	4,30	3,49	4,75	215	1,23

LNK: Laktationsnummernklasse; FEQ: Fett-Eiweiß-Quotient; logZZ:  $\log_{10}$ (Zellzahlgehalt [i.Tsd./ml]); SBT: Holstein-Schwarzbunt; RBT: Holstein-Rotbunt; JER: Jersey; BV: Braunvieh; RVA: Angler; RV: Rotvieh alter Angler Zuchtichtung; RDN: Rotbuntes Niederungsgrind; DSN: Deutsches Schwarzbuntes Niederungsgrind; FL: Fleckvieh; VW: Vorderwälder; DBV: Braunvieh alter Zuchtichtung; MON: Montbéliard; SON: Sonstige Rassen; XFM: Kreuzung Fleischrind x Milchrind; XMM: Kreuzung Milchrind x Milchrind;

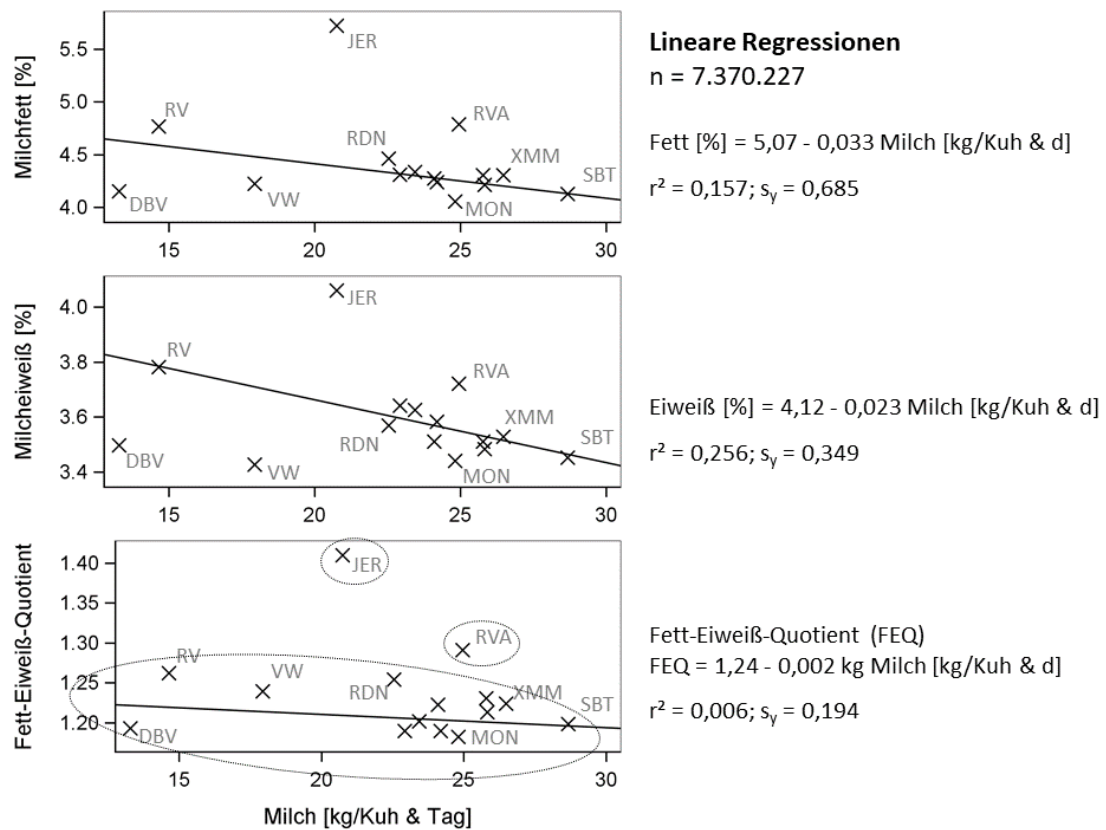
\* Werte zu allen Rassen signifikant verschieden ( $p < 0,0001$ )



Darauf folgt die Rasse Angler. RBT und XMM schließen daran an. Herauszustellen in dieser Übersicht ist das enorme Leistungspotential für die Rasse Jersey. Im weiteren Vergleich liegen die LSM für den Fettgehalt, wie die  $\bar{x}$  auch, für Jersey und Angler oberhalb der weiteren Rassen. Diese beiden Rassen sind als einzige in diesem Merkmal zu allen anderen Rassen signifikant verschieden ( $p < 0,0001$ ). Gleiches gilt für den Fett-Eiweiß-Quotienten. Beim Milcheiweißgehalt wird für Jerseykühe der höchste LSM ausgewiesen und diese Rasse ist als einzige zu allen anderen signifikant verschieden. Die alten Zuchtrichtungen Rotvieh und Braunvieh haben in dieser Auswertung, wie bei den Rohmittelwerten auch, den geringsten bzw. höchsten LSM für Milchstoff (189 mg/L bzw. 277 mg/L). Alle Werte liegen nach Kirchgeßner et al. (1986) im normalen Bereich.

## Schlussfolgerungen

In aktueller Literatur finden sich überwiegend Untersuchungen zu Kühen der Rasse Holstein und zu einem geringeren Teil Versuche mit der Rasse Fleckvieh bzw. Simmental und Braunvieh bzw. Brown Swiss. Diese Milchrindrassen zählen weltweit zu den Wichtigsten. Auch die vorliegenden Daten spiegeln diese Verteilung wider, rund 20 % der knapp 4,29 Mio. Milchkühe in Deutschland gehören jedoch anderen Rassen an (ADR, 2016; Statistisches Bundesamt, 2017). Hinsichtlich der für eine Beurteilung der Fütterungssituation insbesondere zur Charakterisierung der Energieversorgung wesentlichen Inhaltsstoffe aus der Milchkontrolle Fett- und Eiweißgehalt sowie dem daraus gebildeten Quotienten bestehen deutliche Unterschiede zwischen den Rassen, die für die Interpretation von erheblicher Relevanz sind. Häufig verwendete starre Grenzwerte für Energiemangel bzw. Ketoserisiko, wie zum Beispiel ein MilCHFettgehalt von  $> 4,80\%$  (Heuer et al., 2000), ein Milcheiweißgehalt von  $< 3,20\%$  (Spohr und Wiesner, 1991) oder ein FEQ  $> 1,5$  (Heuer et al., 1999) bzw.  $> 1,4$  (Cook et al., 2006) führen zu Fehleinschätzungen, wenn die Mittelwerte bzw. eine Standardabweichung innerhalb einer Population bereits diesen entsprechen bzw. darüber oder darunter liegen. In den verschiedenen Auswertungen wie auch bei der Einordnung der Mittelwerte je Rasse für Fett- und Eiweißgehalte sowie den FEQ in Abhängigkeit von der Milchmenge zur jeweiligen linearen Regression über alle Daten (Abb. 2-7) heben sich die Rassen Jersey und Angler ab, während die anderen Rassen einheitliche Werte aufweisen. Naheliegend sind ein gemeinsamer für diese Milchrindrassen und separate Bewertungsrahmen für die Rassen Jersey und Angler.



JER: Jersey; RVA: Angler; DBV: Braunvieh alter Zuchtichtung; RV: Rotvieh alter Angler Zuchtichtung; VW: Vorderwälder; RDN: Rotbuntes Niederungsgrind; MON: Montbéliard; XMM: Kreuzung Milchrind x Milchrind; SBT: Holstein-Schwarzbunt

**Abbildung 2-7.** Geraden der linearen Regressionen über alle Daten und Mittelwerte je Rasse (x) für die Abhängigkeiten von Milchfett, Milcheiweiß sowie Fett-Eiweiß-Quotient von der Milchmenge.

*Linear Regression lines for all data and means per breed (x) for milk fat, protein and fat protein ratio in dependence on quantity of milk.*

Aufgrund dieser Ergebnisse werden in einem zweiten Teil zur Erarbeitung neuer Auswertungsmöglichkeiten für MLP-Daten im Hinblick auf die Fütterungssituation die Rassen wie beschrieben zusammengefasst bearbeitet.

## Danksagung

Die Erstautorin erhält zur Bearbeitung der genannten Thematik dankenswerterweise ein Stipendium der Landesgraduiertenförderung über die Universität Rostock. Dank gilt auch den Landeskontrollverbänden für die Überlassung der Milchkontrolldaten.

## Literatur

- ADR. 2001. ADR-Empfehlung 1.4 zum Ausscheiden unwahrscheinlicher Ergebnisse bei der Feststellung der Milchmenge und Milchinhaltsstoffe. Bonn.
- ADR. 2002. ADR-Richtlinie 1.1 für das Verfahren der Durchführung der Milchleistungs- und Qualitätsprüfung bei Rindern, Anlage 2 „Anleitung zur Leistungsberechnung von MLP-Kühen“. Bonn.
- ADR. 2016. Rinderproduktion in Deutschland 2015. Ausgabe 2016. Bonn.
- Ali, T. E. and L. R. Schaeffer. 1987. Accounting for covariances among test day milk yields in dairy cows. *Can. J. Anim. Sci.* 67, 637-644.
- Bergk, N. und H. H. Swalve. 2011. Der Fett-Eiweiß-Quotient in der Frühlaktation als Indikator für den Verbleib von Erstkalbinnen in der Milchkuhherde. *Züchtungskunde* 83, 89-103.
- Breves, G. 2007. Züchtung und Stoffwechselstabilität beim Rind – Empfehlungen für Zucht und Haltung. *Züchtungskunde* 79, 52-58.
- Brade, W., U. Dämmgen und N. Reinsch. 2013. Züchterische Möglichkeiten zur Emissionsminderung bei Deutschen Holsteins. *Züchtungskunde* 85, 188-205.
- Bundesgesetzblatt. 2010. Teil I Nr. 9, ausgegeben zu Bonn am 8. März 2010, Anlage 6 „Rasseschlüssel“. Bundesanzeiger Verlag, 227.
- Buttchereit, N., E. Stamer, W. Junge und G. Thaller. 2012. Modellevaluierung und Schätzung genetischer Parameter für Energiebilanz und verwandte Merkmale bei Milchkühen. *Züchtungskunde* 84, 74-89.
- Cook, N., G. Oetzel and K. Nordlund. 2006. Modern techniques for monitoring high-producing dairy cows 2. Practical applications. In *Practice* 28, 598-603.
- Denißen, J., S. Beintmann, S. Hoppe, E. Stamer, H. Spiekers, M. Pries und K.-H. Südekum. 2018. Einfluss der Energiedichte im Grobfutter und der Kraftfuttermenge auf die Futteraufnahme, das Wiederkauverhalten und die Milchleistung von Milchkühen der Rasse Deutsche Holstein in der Gesamtlaktation. *Züchtungskunde* 90, 430-452.
- DLQ (Deutscher Verband für Leistungs- und Qualitätsprüfungen e.V.). 2015. Pressemitteilung vom 10. Dezember 2015, Bonn.
- DLQ (Deutscher Verband für Leistungs- und Qualitätsprüfungen e.V.). 2016. Pressemitteilung vom 07. Dezember 2016, Bonn.
- DLQ (Deutscher Verband für Leistungs- und Qualitätsprüfungen e.V.). 2017. Pressemitteilung vom 01. Dezember 2017, Bonn.

- DLQ (Deutscher Verband für Leistungs- und Qualitätsprüfungen e.V.). 2018. Pressemitteilung vom 30. November 2018, Bonn.
- Drackley, J. K. 1999. Biology of Dairy Cows During the Transition Period: the Final Frontier? *J. Dairy Sci.* 82, 2259-2273.
- DVG (Deutsche Veterinärmedizinische Gesellschaft e. V.). 1994. Leitlinien zur Bekämpfung der Mastitis des Rindes als Herdenproblem. 3. Aufl., DVG., Deutsche Veterinärmedizinische Gesellschaft e.V., Gießen.
- Ebert, T., C. Koch, F.-J. Romberg und S. Hoy. 2017. Untersuchungen zur negativen Energiebilanz bei Milchkühen. *Züchtungskunde* 89, 321-332.
- GFE (Ausschuss für Bedarfsnormen der Gesellschaft für Ernährungsphysiologie). 2001. Empfehlungen zur Energie- und Nährstoffversorgung der Milchkühe und Aufzuchttrinder, Heft 8. DLG-Verlag, Frankfurt a. M.
- Godden, S. M., K. D. Lissemore, D. F. Kelton, K. E. Leslie, J. S. Walton and J. H. Lumsden. 2001. Factors associated with milk urea concentrations in Ontario Dairy cows. *J. Dairy Sci.* 84. 107-114.
- Grieve, D. G., S. Korver, Y. S. Rijpkema and G. Hof. 1986. Relationship between milkcomposition and some nutritional parameters in early lactation. *Livest. Prod. Sci.* 14, 239-254.
- Gross, J., H. A. van Dorland, R. M. Bruckmaier and F. J. Schwarz. 2011. Performance and metabolic profile of dairy cows during a lactational and deliberately induced negative energy balance with subsequent realimentation. *J. Dairy Sci.* 94, 1820-1830.
- Haenel H.-D., C. Rösemann, U. Dämmgen, A. Freibauer, U. Döring, S. Wulf, B. Eulich-Menden, H. Döhler, C. Schreiner and B. Osterburg. 2016. Calculations of gaseous and particulate emissions from German agriculture 1990-2014: Report on methods and data (RMD) Submission 2016. Braunschweig: Johann Heinrich von Thünen-Institut, Thünen Report 39.
- Härle, C. und A. Sundrum. 2013. Tiergesundheit auf betrieblicher Ebene, 1. Mitteilung: Milchzellzahlen auf bayerischen Milchviehbetrieben. *Züchtungskunde* 85, 305-323.
- Hamann, J. 1992. Mastitisbekämpfung auf der Grundlage zytologischer Befunde der Herdensammelmilch. Kiel. *Milchwirtschaftliche Forschungsberichte* 44, 327-338.

- Harder, I., E. Stamer, W. Junge und G. Thaller. 2018. Zucht auf Futteraufnahme bei Milchkühen mit Hilfe der genomischen Selektion. *Züchtungskunde* 90, 476-490.
- Hertel-Böhnke, P., M. Schneider, T. Ettle und H. Spiekers. 2018. Langzeitstudie zu den Effekten verschiedener Kraftfutter-: Grobfutterverhältnisse in der Milchkuhfütterung auf Leistung und Futteraufnahme. *Züchtungskunde* 90, 417-429.
- Heuer, C., Y. H. Schukken and P. Dobbelaar. 1999. Postpartum body condition score and results from the first test day milk as predictors of disease, fertility, yield, and culling in commercial dairy herds. *J. Dairy Sci.* 82, 295-304.
- Heuer, C., W. M. van Straalen, Y. H. Schukken, A. Dirkzwager and J. P. T. M. Noordhuizen. 2000. Prediction of energy balance in a high yielding dairy herd in early lactation: model development and precision. *Livest. Prod. Sci.* 65, 91-105.
- Jaeger, M., C. Scheper, S. König und K. Brügemann. 2018. Studien zur Inzucht und Verwandtschaft beim „Deutschen Schwarzbunten Niederungsrind“ (DSN) auf Basis eigens berechneter Rasseanteile. *Züchtungskunde* 90, 262-279.
- Kirchgeßner, M., D. A. Roth-Maier and M. Kreuzer. 1986. Milk urea and protein content to diagnose energy and protein malnutrition of dairy cows. *Arch. Tierernaehr.* 36, 192-197.
- Klein, M. S., N. Buttchereit, S. P. Miemczyk, A. K. Immervoll, C. Louis, S. Wiedemann, W. Junge, G. Thaller, P. J. Oefner, and W. Gronwald. 2012. NMR metabolomic analysis of dairy cows reveals milk glycerophosphocholine to phosphocholine ratio as prognostic biomarker for agreement of ketosis. *J. Proteome Res.*, 1373-1381.
- Knaus, W. 2009. Dairy cows trapped between performance demands and adaptability. *J. Sci. Food and Agricult.* 89, 1107-1114.
- Lebzien, P., A. Riemeier and G. Flachowsky. 2006. Investigations on the effect of the ruminal N-balance on rumen metabolism, urea content in blood serum and milk as well as some liver parameters of lactating cows. *Arch. Anim. Nutr.* 60, 99-109.
- Nordlund, K. V. and N. B. Cook. 2004. Using herd records to monitor transition cow survival, productivity, and health. *Vet. Clin. N. Am.- Food A.* 20, 627-649.

- Piatkowski, B., J. Voigt und H. Girschewski. 1981. Einfluss des Rohproteinniveaus auf die Fruchtbarkeit und den Harnstoffgehalt in Körperflüssigkeiten bei Hochleistungskühen, Arch. Tierernaehr. 31, 497-504.
- Reichmuth, J. 1975. Somatic cell count – interpretation of results. Proceedings of Seminar on Mastitis Control, IDF-Bull. Doc. 85, 79-92.
- Reist, M., D. Erdin, D. von Euw, K. Tschuemperlin, H. Leuenberger, Y. Chilliard, H. M. Hammon, C. Morel, C. Philipona, Y. Zbinden, N. Kuenzi and J. W. Blum. 2002. Estimation of Energy Balance at the Individual and Herd Level Using Blood and Milk Traits in High-Yielding Dairy Cows. J. Dairy Sci. 85, 3314-3327.
- Richardt, W., H. Jeroch und J. Spilke. 2001a. Fütterungs- und nicht fütterungsbedingte Einflüsse auf den Milchwarnstoffgehalt von Milchkühen. 1. Mitteilung: Fütterungsbedingte Einflussfaktoren auf den Milchwarnstoffgehalt von Milchkühen. Arch. Tierz., Dummerstorf 44, 251-262.
- Richardt, W., H. Jeroch und J. Spilke. 2001b. Fütterungs- und nicht fütterungsbedingte Einflüsse auf den Milchwarnstoffgehalt von Milchkühen. 2. Mitteilung: Nicht fütterungsbedingte Einflussfaktoren auf den Milchwarnstoffgehalt von Milchkühen. Arch. Tierz., Dummerstorf 44, 505-519.
- Richardt, W., H. Jeroch und J. Spilke. 2002. Fütterungs- und nicht fütterungsbedingte Einflüsse auf den Milchwarnstoffgehalt von Milchkühen. 3. Mitteilung: Vorschlag für ein dynamisches Modell zur Einschätzung der Rohproteinversorgung an Hand des Milchwarnstoffgehaltes. Arch. Tierz., Dummerstorf 45, 151-157.
- Rook, J. A. F. 1979. The role of carbohydrate metabolism in the regulation of milk production. Proc. Nutr. Soc. 38, 309-314.
- Schmitz, R., K. Schnabel, D. von Soosten, U. Meyer, H. Spiekers, J. Rehage and S. Dänicke. 2018. The effects of energy concentration in roughage and allowance of concentrates on performance, health and energy efficiency of pluriparous dairy cows during early lactation. Arch. Anim. Nutr. 72, 100-120.
- Schutz, M. M., L. B. Hansen, G. R. Steuernagel and A. L. Kuck. 1990. Variation of milk, fat, protein, and somatic cells for dairy cattle. J. Dairy Sci. 73, 484-493.
- Seggewiß, S. 2004. Überprüfung der Bedeutung von Milchinhaltsstoffen für die Beurteilung der Energie-, Protein- und Strukturversorgung von HF-Kühen. Aus der Klinik für Rinder der Tierärztlichen Hochschule Hannover und dem

- Institut für Tierernährung der Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft in Braunschweig. Dissertation. Tierärztliche Hochschule, Hannover.
- Siachos, N., N. Panousis, G. Arsenos and G. E. Valergakis. 2017. Investigation of milk urea nitrogen concentration and factors affecting its variation in Greek Holstein herds. *J. Hellenic Vet. Med. Soc.* 68, 423-432.
- Siebert, F. und J. Pallauf. 2010. Analyse von Ergebnissen der Milchleistungsprüfung in Hessen im Hinblick auf ein Ketoserisiko. *Züchtungskunde* 82, 112-122.
- Spohr, M. und H. U. Wiesner. 1991. Kontrolle der Herdengesundheit und Milchproduktion mit Hilfe der erweiterten Milchleistungsprüfung. *Milchpraxis* 29, 231-236.
- Stanton, T. L., L. R. Jones, R. W. Everett and S. D. Kachmann. 1992. Estimating milk, fat, and protein lactation curves with a test day model. *J. Dairy Sci.* 7, 1691-1700.
- Statistisches Bundesamt. 2017. Land- und Forstwirtschaft, Fischerei, Viehbestand und tierische Erzeugung. Fachserie 3, Reihe 4, 2015. Erschienen am 2. Februar 2017, Wiesbaden.
- Steinwider A., P. Schweiger, L. Gruber, F. Lettner und W. Schmid. 1998. Einfluß des Fütterungszeitpunktes sowie der Protein- und Energieversorgung auf den Milhharnstoffgehalt. *Agribiol Res* 51, 341-355.
- Steinwider, A., T. Guggenberger, J. Gasteiner, L. Podstatzky, L. Gruber, J. Häusler, M. Gallnböck und A. Schauer. 2009. Einfluss der Proteinversorgung auf Futtermittelaufnahme, Milchleistung, Pansen- und Blutparameter sowie N-Ausscheidung von Milchkühen. *Züchtungskunde* 81, 106-124.
- Tamminga, S., P.A. Luteijn and R.G.M. Meijer. 1997. Changes in composition and energy content of liveweight loss in dairy cows with time after parturition. *Livest. Prod. Sci.* 52, 31-38.
- Theilgaard, P., N. C. Friggens, K. H. Sloth and K. L. Ingvarsen. 2002. The effect of breed, parity and body fatness on the lipolytic response of dairy cows. *Anim. Sci.* 75, 209-219.
- Thieme, D. und S. Haasmann. 1978. Der Zellgehalt der Milch als Kriterium bei der Gesundheitsüberwachung. *Monatsh. Vet.* 33, 226-232.
- Toni, F., L. Vincenti, L. Grigoletto, A. Ricci and Y.H. Schukken. 2011. Early lactation ratio of fat and protein percentage in milk is associated with health, milk production, and survival. *J. Dairy Sci.* 94, 1772-1783.

- Tremblay, M., M. Kammer, H. Lange, S. Plattner, C. Baumgartner, J. A. Stegeman, J. Duda, R. Mansfeld, and D. Döpfer. 2018. Identifying poor metabolic adaptation during early lactation in dairy cows using cluster analysis. *J. Dairy Sci.* 101, 7311-7321.
- Wheelock, J. V. and J. A. F. Rook. 1966. Lactose in the blood and urine of cows. *J. Dairy Res.* 33, 37-42.



### **3 Nutzung von Milchinhaltsstoffen zur Beurteilung der Versorgungssituation von Milchkühen**

#### **2. Mitteilung: Bewertungsschema zur Beurteilung der Inhaltsstoffe auf Betriebsebene**

Julia Glatz-Hoppe<sup>1,2</sup>, Elmar Mohr<sup>2</sup> und Bernd Losand<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Landesforschungsanstalt für Landwirtschaft und Fischerei Mecklenburg-Vorpommern, Institut für Tierproduktion, Wilhelm-Stahl-Allee 2, 18196 Dummerstorf;*

<sup>2</sup>*Universität Rostock, Agrar- und Umweltwissenschaftliche Fakultät, Professur für Tiergesundheit und Tierschutz, Justus-von-Liebig Weg 6b, 18059 Rostock;*

veröffentlicht in

Züchtungskunde, 91, (6) S. 449–473, 2019

## Zusammenfassung

Zur Überarbeitung des weitverbreiteten Bewertungswerkzeugs zur Charakterisierung der Versorgungssituation von Milchkühen anhand der Milchinhaltsstoffe Harnstoff und Eiweiß wurden rund 7,3 Mio. Milchkontrolldatensätze aus Deutschland und Luxemburg des Jahres 2015 herangezogen. Angler und Jersey wurden bezüglich Fett und Eiweiß separat betrachtet. Da Fett- und Eiweißkonzentrationen mit steigender Milchleistung abnehmen, sind starre Wertebereiche ungeeignet. Der Fett-Eiweiß-Quotient ist nahezu unabhängig von der Milchleistung und daher ein besserer Indikator zur Einschätzung der Futterenergieversorgung. Dabei sind sowohl die Laktationsnummer als auch das -stadium sowie die Rasse, außer Jersey und Angler, zu vernachlässigen. Hingegen sind sowohl Energieübersversorgung als auch subklinische Azidose allein anhand von Milchinhaltsstoffen nicht eindeutig zu identifizieren. Milhharnstoff beschreibt die Futterrohproteinaufnahme im Verhältnis zum Bedarf. Die untersuchten Daten zeigen einen Anstieg der Milchmenge [kg/Tag] bis zur Harnstoffklasse  $\geq 200 - < 250$  mg/L. In höheren Harnstoffklassen wurden geringere Milchmengen ermittelt. In Anlehnung an Veröffentlichungen anderer Autoren wird daher ein Optimalbereich für Harnstoff von 150 bis 250 mg/L angeregt. Mit einem rassespezifischen Grenzwert für den Fett-Eiweiß-Quotienten ( $FEQ_{Grenz}$ ) und einem individuell anhand einer Regressionsformel für die Beziehung von Eiweiß zur täglichen Milchmenge berechneten unteren Eiweiß-Grenzwert ( $E_{min}$ -Wert) können Energiemangel und Ketoseverdacht ausgewiesen werden.

**Schlüsselwörter:** Milchkuh; Milchinhaltsstoffe; Fett-Eiweiß-Quotient; Milhharnstoff; Bewertungswerkzeug

## Summary

**Use of milk recording data for characterization of dairy cow supply situation  
Second part: Evaluation scheme for the assessment of milk ingredients at farm level**

In order to revise the widely used assessment tool to characterize supply situation of dairy cows using milk urea and milk protein, more than 7.3 million milk records from Germany and Luxembourg of 2015 were used. German Anglers and Jerseys were considered separately in terms of fat and protein. As fat and protein contents decrease with

higher milk yield, fixed threshold values are unsuitable. Fat:protein ratio is almost independent on milk yield and therefore a better indicator for estimating the feed energy supply. Both energy oversupply and subclinical acidosis cannot be clearly identified on the basis of milk ingredients. Milk urea describes the feed protein supply in relation to demand. Investigations show an increase in milk yield [kg/day] up to the urea class  $\geq 200 - < 250$  mg/L. Lower milk yields were determined in higher urea classes. According to further publications an optimal range for urea of 150 to 250 mg/L is recommended, therefore. With a breed-specific threshold of fat:protein ratio ( $FEQ_{Grenz}$ ) and a protein minimum value ( $E_{min}$ ) calculated individually by regression model for the relationship between milk protein and the daily milk yield, a lack of energy and risk of ketosis can be estimated.

**Keywords:** dairy cow, milk composition, fat:protein ratio, milk urea, evaluation tool

## Einleitung

Über Milchinhaltsstoffe aus der routinemäßigen Milchkontrolle (**MLP**) können zeitversetzt Rückschlüsse auf den Erfolg der Fütterung auf betrieblicher Ebene gezogen werden (Piatkowski et al., 1981; Grieve et al., 1986; Kirchgeßner et al., 1986; Spohr und Wiesner, 1991; Heuer et al., 1999, 2000; Richardt et al., 2001a; Nordlund und Cook, 2004; Seggewiß, 2004; Cook et al., 2006; Lebzien et al., 2006; Toni et al., 2011). Werte, die in Deutschland zur Abgrenzung von optimaler zu Mangel- oder Überversorgung herangezogen werden, stammen hauptsächlich aus Arbeiten der 80er Jahre. In den letzten Jahrzehnten ist das Leistungspotential deutscher Milchrinder enorm gestiegen (Breves, 2007, Knaus, 2009; Siebert und Pallauf, 2010; Buttchereit et al., 2012; Haenel et al., 2016). Gängige Interpretationen zur Energieversorgungssituation stimmen zunehmend nicht mit weiteren tierbezogenen Merkmalen überein. Breite Verwendung zur Beurteilung der Fütterungssituation findet eine 9-Felder-Tafel nach Spohr und Wiesner (1991), in der alle Daten für Milchharnstoff und -eiweiß einer Herde für ein Milchkontrolldatum als Punktwolke angezeigt werden. Anhand festgelegter Werte, bei Milchharnstoff auf der X-Achse sind dies 150 mg/L und 300 mg/L, bei Milcheiweiß auf der Y-Achse 3,20 % und 3,80 %, werden die Ergebnisse in neun Versorgungskategorien eingeteilt. Die Harnstoffgrenzen für einen optimalen Bereich im Sinne effizienter Stickstoffnutzung stammen von Kirchgeßner et al. (1986), die 3,20 % Eiweißgrenze für die Abgrenzung von optimaler zu mangelhafter Energieversorgung

ist eine aus den Daten der 80er Jahre gesetzte Grenze aus dem Vorschlag von Spohr und Wiesner (1991). Diese, wie auch die obere Grenze für eine Energieübersorgung werden nicht einheitlich verwendet. Es finden sich z. B. auch 3,30 % und 4,00 % (LKV NRW, 2018) oder 3,00 % und 3,75 % Eiweiß (LKV SH, 2019) als Grenzwerte. Auch die Harnstoffobergrenze von 300 mg/L (Kirchgeßner et al., 1986) ist nach neueren Untersuchungen (Wenninger und Distl, 1994; Rajala-Schultz et al., 2001; Kohn et al., 2002; Richardt et al., 2002; Lebzien et al., 2006) sowie im Hinblick auf Futterkosten und betriebliches Nährstoffmanagement zu hoch. Ziel dieser Schrift ist es, anhand von aktuellen Standard-MLP-Daten neue Auswertungsmöglichkeiten zur Einschätzung der Fütterungssituation auf Betriebsebene von im deutschsprachigen Raum üblichen Milchkühen abzuleiten.

## **Material und Methoden**

### **Datenmaterial und Plausibilisierung**

Eine genaue Beschreibung des Datenmaterials, der Plausibilisierung sowie der Methoden wurde in einem ersten Teil „Milchleistung und Inhaltsstoffe deutscher Milchrindrassen im Vergleich“ vorgenommen (Glatz-Hoppe et al., 2019). Daraus ergaben sich für die weitere Bearbeitung die Notwendigkeit separater Bewertungsrahmen für die Rassen JERSEY und ANGLER sowie für eine GRUPPE bestehend aus den Rassen Holstein-Schwarzbunt, Holstein-Rotbunt, Braunvieh, Rotvieh alter Angler Zuchtrichtung, Rotbuntes Niederungsrind, Deutsches Schwarzbuntes Niederungsrind, Fleckvieh, Vorderwälder, Braunvieh alter Zuchtrichtung, Montbéliard, Sonstige Rassen, Kreuzung Fleischrind x Milchrind und Kreuzung Milchrind x Milchrind. Für diese GRUPPE stehen 7.284.904, für ANGLER 81.722 und für JERSEY 3.601 Datensätze für Untersuchungen zur Verfügung (Tab. 3-1).

### **Statistische Analysen**

Die Bearbeitung und Auswertung der Daten erfolgte mit der Statistical Analysis System Software 9.4 (SAS Institute Inc., Cary, NC, USA). Die Abhängigkeiten relevanter MLP-Kennwerte von der Milchmenge [kg/Tag] bzw. der Milchmenge vom Milhharnstoffgehalt [mg/L] wurden anhand von linearen Regressionen mit der Prozedur REG abgebildet. Für Milhharnstoff wurden dazu Klassen in 50 mg/L Schritten von

**Tabelle 3-1.** Deskriptive Statistik für die GRUPPE verschiedener Rassen, ANGLER und JERSEY (Min.: Minimum; Max.: Maximum)

*Descriptive statistics for the Squad of different breeds, German Angler and Jersey (Min.: Minimum; Max.: Maximum)*

Anzahl	GRUPPE				ANGLER				JERSEY			
	$\bar{x}_{arith}$	s	Min.	Max.	$\bar{x}_{arith}$	s	Min.	Max.	$\bar{x}_{arith}$	s	Min.	Max.
Datensätze	7.284.904				81.722				3.601			
Anzahl Kühe	952.603				10.989				457			
Anzahl Betriebe	8.954				232				93			
Laktationsnummer	2,59	1,69	1	17	2,61	1,67	1	13	2,8	1,88	1	12
Laktationstag	178	115	5	999	173	113	5	982	186	130	5	993
Milch [kg/Tag]	26,4	9,0	2,0	98,2	25,0	8,8	2,0	94,5	20,7	6,9	3,1	53,1
Milchfett [%]	4,20	0,74	1,60	11,32	4,79	0,90	1,60	10,56	5,72	1,11	2,13	10,86
Milcheiweiß [%]	3,51	0,40	2,00	7,50	3,72	0,46	2,27	7,11	4,06	0,50	2,60	6,65
Laktose [%]	4,77	0,21	1,00	9,48	4,71	0,24	1,89	5,53	4,64	0,24	3,12	5,21
ECM [kg/Tag]	26,9	8,3	1,5	108,9	27,3	8,6	2,1	91,6	25,3	7,7	4,4	62,2
Fett-Eiweiß-Quotient	1,20	0,19	0,30	4,13	1,29	0,21	0,40	4,00	1,41	0,22	0,48	2,81
Fett-Laktose-Quotient	0,88	0,17	0,30	6,12	1,02	0,22	0,32	3,53	1,24	0,29	0,42	3,01
Zellzahl [Tsd./ml]	235	621	1	9.999	234	624	3	9.999	228	589	3	9.999
Milchharnstoff [mg/L]	220	71	1	509	219	64	1	509	221	78	10	506

< 100 bis  $\geq$  500 mg/L gebildet. Zur Beschreibung des Grads der linearen Zusammenhänge verschiedener Parameter wurden Korrelationskoeffizienten nach Pearson berechnet. Für Milcheiweiß (E) und Milchfett (F) wurden jeweils Normalbereiche mit einer oberen ( $y_{max}$ ) und einer unteren ( $y_{min}$ ) Grenze in Abhängigkeit von der Milchmenge berechnet. Hierzu wurde die jeweilige Regressionsformel genutzt und der am Datenmittelwert  $\bar{x}$  berechnete Anteil einer Reststandardabweichung  $s_y$  einbezogen:

$$y_{min} = \left( \beta_0 + \beta_1 \text{Milchmenge} \left[ \frac{kg}{Tag} \right] \right) \left( 1 - \left( \frac{s_y}{\bar{x}_y} \right) \right) \quad \text{bzw.}$$

$$y_{max} = \left( \beta_0 + \beta_1 \text{Milchmenge} \left[ \frac{kg}{Tag} \right] \right) \left( 1 + \left( \frac{s_y}{\bar{x}_y} \right) \right)$$

Für die Überprüfung verschiedener Grenzwerte zur Interpretation einer Energiemangel- bzw. einer Energieübersversorgung der Kühe bzw. von Pansenfermentationsstörungen wurden die Daten nach unterschiedlichen Kriterien gruppiert und die mittlere

Milchmenge [kg/Tag] am jeweiligen Laktationstag im Vergleich zum Mittel aller Daten grafisch dargestellt.

## Ergebnisse und Diskussion

### Milchmengenabhängige Darstellung relevanter MLP-Parameter

Wird der Futterenergiemangel einer Milchkuh mit einem Grenzwert von  $< 3,20$  % Milcheiweiß festgestellt, befinden sich 22 % der Tiere aus der großen GRUPPE, 12 % der Anglerkühe und 3 % der Jerseykühe am Tag der Milchkontrolle in einer Energiemangelsituation. Dies verdeutlicht die Forderung nach den drei rasseorientierten Bewertungsrahmen wie bei Glatz-Hoppe et al. (2019) beschrieben, da nicht davon auszugehen ist, dass der die jeweilige Stoffwechselsituation ausdrückende Zusammenhang zwischen den Rassen so stark variiert. Auch wenn für ANGLER und JERSEY weniger Daten zur Verfügung stehen als für die GRUPPE, stellen sie repräsentative Datensätze dar. Vielmehr ist ein verallgemeinert eingesetzter starrer Grenzwert für ein Merkmal, das von verschiedenen Faktoren wie unter anderem der Genetik beeinflusst wird, ungeeignet. Auch eine statistische Anpassung des Grenzwertes an die Rasse z. B. durch  $\bar{x}_{\text{Rasse}} - 1s$  führt zu keiner zufriedenstellenden Bewertung, denn je höher die Milchleistung, desto größer ist die Verdünnung der Milch bezüglich der Fett- und Eiweißkonzentration (Glatz-Hoppe and Losand, 2019). Diese Zusammenhänge werden für die drei Auswertungseinheiten (GRUPPE, ANGLER, JERSEY) durch die Regressionskoeffizienten beschrieben (Tab. 3-2). Die milchmengenabhängige Darstellung von Fett und Eiweiß ergibt demnach eine abfallende Regressionsgerade, die für F etwas steiler abfällt als für E. Die Sicherheit des statistischen Zusammenhangs ist für E mit  $r^2 = 0,255$  (GRUPPE) bzw.  $r^2 = 0,324$  (ANGLER) bzw.  $r^2 = 0,227$  (JERSEY) im Gegensatz zu F  $r^2 = 0,157$  (GRUPPE) bzw.  $r^2 = 0,163$  (ANGLER) bzw.  $r^2 = 0,144$  (JERSEY) höher, wobei die Bestimmtheitsmaße dieser Aufstellung eher als gering einzuordnen sind. Andere Größen wie die Fütterungs- bzw. Stoffwechselsituation und die genetische Veranlagung des Einzeltieres (Klein et al., 2012; Tremblay et al., 2018) haben ihren Einfluss, stellen den gezeigten Zusammenhang jedoch nicht in Frage. Anders als Fett- und Eiweißgehalt ist der Fett-Eiweiß-Quotient (FEQ) hingegen nahezu unabhängig von der Milchleistung. Das weisen der in der Übersicht jeweils geringste Regressionskoeffizient und das geringste Bestimmtheitsmaß je Rassegruppe aus. Die Pearson-Korrelationen zeigen, dass F und E positiv korreliert sind und dass der FEQ

**Tabelle 3-2.** Lineare Regressionen für die Abhängigkeiten von Eiweiß, Fett, Laktose, Fett-Eiweiß- und Fett-Laktose-Quotient von der Milchmenge

Linear regressions for dependence of milk protein, fat, lactose, fat:protein ratio and fat:lactose ratio on milk yield

Abhängige Variable	Regressionsgleichung	r <sup>2</sup>	s <sub>y</sub>	
<b>GRUPPE (n = 7.284.904)</b>				
Milcheiweiß [%]	= 4,11 -0,023 kg Milch/Tag	0,255	0,35	
Milchfett [%]	= 5,06 -0,033 kg Milch/Tag	0,157	0,68	
Laktose [%]	= 4,59 +0,007 kg Milch/Tag	0,079	0,21	
Fett-Eiweiß-Quotient	= 1,24 -0,002 kg Milch/Tag	0,006	0,19	
Fett-Laktose-Quotient	= 1,10 -0,008 kg Milch/Tag	0,187	0,16	
<b>ANGLER (n= 81.722)</b>				
Milcheiweiß [%]	= 4,46 -0,030 kg Milch/Tag	0,324	0,38	
Milchfett [%]	= 5,83 -0,042 kg Milch/Tag	0,163	0,82	
Laktose [%]	= 4,48 +0,009 kg Milch/Tag	0,124	0,22	
Fett-Eiweiß-Quotient	= 1,31 -0,001 kg Milch/Tag	0,001	0,21	
Fett-Laktose-Quotient	= 1,30 -0,011 kg Milch/Tag	0,202	0,19	
<b>JERSEY (n = 3.601)</b>				
Milcheiweiß [%]	= 4,78 -0,035 kg Milch/Tag	0,227	0,44	
Milchfett [%]	= 6,99 -0,061 kg Milch/Tag	0,144	1,03	
Laktose [%]	= 4,46 +0,009 kg Milch/Tag	0,061	0,23	
Fett-Eiweiß-Quotient	= 1,47 -0,003 kg Milch/Tag	0,008	0,22	
Fett-Laktose-Quotient	= 1,57 -0,016 kg Milch/Tag	0,140	0,27	

E: Milcheiweiß; F: Milchfett; L: Laktose; FEQ: Fett-Eiweiß-Quotient; FLQ: Fett-Laktose-Quotient

zum großen Teil positiv über den Fettgehalt und zu einem etwas geringeren Teil negativ über den Eiweißgehalt bestimmt wird (Tab. 3-3). Beide Korrelationen bezüglich des FEQ weisen bei Betrachtung der ersten 60 Laktationstage, die in erster Linie die Phase eines negativen Energiesaldos betreffen, jeweils eine stärkere Ausprägung aus. Anteilig steigt dabei der Grad des Zusammenhangs für E mehr an als für F. Neben einem Anstieg des Fettgehaltes kann also auch ein Absinken der Eiweißkonzentration für eine Erhöhung des FEQ sorgen. Der FEQ wird von vielen Autoren als geeignete Größe für die Beurteilung der Energieversorgungssituation einer Milchkuh angesehen (Grieve et al., 1986; Spohr und Wiesner, 1991; Steen et al., 1996; Heuer et al., 1999, 2000; Reist et al., 2002; Seggewiß, 2004; Cook et al., 2006; Bergk und Swalve, 2011; Toni et al., 2011; Butchereit et al., 2012). Die vorgelegten Untersuchungen bestätigen diese Sichtweise. Durch die aufgeführten statistischen Ergebnisse wird seine Eignung als Anzeiger für die Energieversorgung einer Milchkuh aus MLP-Daten unterstrichen.

**Tabelle 3-3.** Korrelationskoeffizienten nach Pearson für Fett, Fett-Eiweiß-Quotient bzw. Fett-Laktose-Quotient mit ausgewählten Parametern der Milchkontrolle

*Pearson correlation coefficients for milk fat, fat:protein ratio and fat:lactose ratio with selected milk recording parameters, respectively*

	GRUPPE		ANGLER		JERSEY	
	alle Daten	≤ 60 LT	alle Daten	≤ 60 LT	alle Daten	≤ 60 LT
n =	7.284.904	1.296.716	81.722	15.125	3.601	623
<b>Fett [%]</b>						
Eiweiß [%]	0,48 ***	0,28 ***	0,54 ***	0,28 ***	0,64 ***	0,29 ***
Laktose [%]	-0,20 ***	-0,26 ***	-0,29 ***	-0,33 ***	-0,55 ***	-0,35 ***
<b>Fett-Eiweiß-Quotient</b>						
FLQ	0,69 ***	0,80 ***	0,66 ***	0,80 ***	0,69 ***	0,77 ***
Fett [%]	0,75 ***	0,84 ***	0,74 ***	0,84 ***	0,75 ***	0,82 ***
Eiweiß [%]	-0,20 ***	-0,27 ***	-0,15 ***	-0,26 ***	-0,02 +	-0,30 ***
Laktose [%]	-0,02 ***	-0,15 ***	0,00 +	-0,19 ***	-0,26 ***	-0,13 **
logZZ	0,01 ***	0,08 ***	-0,02 ***	0,05 ***	-0,04 *	-0,08 *
<b>Fett-Laktose-Quotient</b>						
Fett [%]	0,97 ***	0,98 ***	0,97 ***	0,98 ***	0,97 ***	0,98 ***
Eiweiß [%]	0,52 ***	0,30 ***	0,60 ***	0,32 ***	0,67 ***	0,34 ***
Laktose [%]	-0,44 ***	-0,45 ***	-0,52 ***	-0,51 ***	-0,72 ***	-0,53 ***
logZZ	0,23 ***	0,21 ***	0,23 ***	0,19 ***	0,14 ***	0,02 +

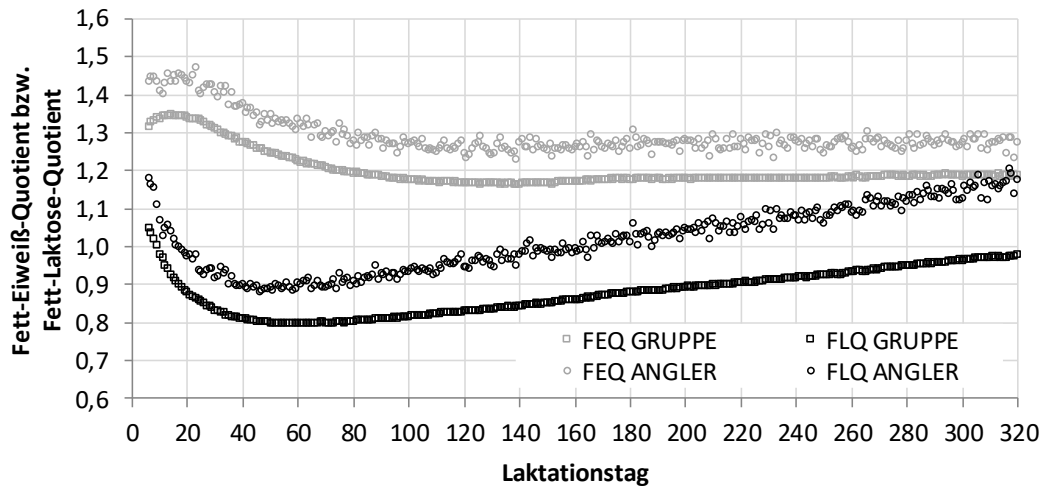
LT: Laktationstag; FLQ: Fett-Laktose-Quotient; logZZ:  $\log_{10}$ (Zellzahlgehalt [i.Tsd./ml])

\*\*\*:  $p < 0,0001$ ; \*\*:  $p < 0,01$ ; \*:  $p < 0,05$ ; +:  $p > 0,05$

Eine Untersuchung von Steen et al. (1996) an Daten von norwegischen Kühen zeigte eine etwas bessere Sensitivität zum Auffinden von hyperketonämischen Kühen bzw. Kühen mit erhöhten Acetongehalten in der Milch über den Fett-Laktose-Quotienten (FLQ) im Gegensatz zum FEQ (FLQ: Sensitivität = 0,66; Spezifität = 0,67; FEQ: Sensitivität = 0,54; Spezifität = 0,70). Im Milcheiweißgehalt gab es in dieser Untersuchung keine Unterschiede zwischen den Gruppen mit hoher bzw. geringer Ketoseinzidenz bzw. den Gruppen mit erhöhtem bzw. geringem Acetongehalt der Milch. Der Laktosegehalt hingegen war, wie auch bei Manzenreiter (2012), in den jeweiligen sogenannten Ketosegruppen signifikant geringer. Reist et al. (2002) berechneten für 90 Holsteinkühe aus einem Fütterungsversuch ebenfalls eine etwas stärkere Korrelation des FLQ mit dem Energiesaldo (ES) ( $r = -0,589$ ;  $p < 0,001$ ) gegenüber dem FEQ mit dem ES ( $r = -0,496$ ;  $p < 0,001$ ), während Milcheiweiß und der ES nur einen sehr geringen Grad des Zusammenhangs aufwiesen ( $r = -0,185$ ;  $p < 0,001$ ). Korrelationen in ähnlicher Größenordnung für FLQ bzw. FEQ mit dem ES gab Seggewiß (2004) für



Holsteinkühe eines Fütterungsversuchs an, allerdings nur für den ersten Laktationsmonat. Für den zweiten Laktationsmonat lagen beide Korrelationen auf gleichem Niveau und für die folgenden Laktationsmonate waren die Korrelationskoeffizienten für FLQ mit dem ES kleiner als die des FEQ mit dem ES. In Ihrer Untersuchung hatte der Eiweißgehalt der Milch keine signifikante Korrelation mit dem ES. FLQ und FEQ sind bei Seggewiß (2004) stark miteinander korreliert ( $r = 0,91$ ;  $p < 0,001$ ; Laktationsmonat 1 bis 6). Die vorliegenden Daten zeigen ein etwas geringeres Niveau von  $r = 0,66$  bis  $0,80$  ( $p < 0,0001$ ) jeweils über alle und auch in den ersten zwei Laktationsmonaten. Der FLQ wird fast ausschließlich über den Fettgehalt bestimmt ( $r = 0,97$  bzw.  $0,98$ ;  $p < 0,0001$ ) und korreliert auch zu einem großen Teil positiv mit dem Eiweißgehalt ( $r = 0,30$  bis  $0,67$ ;  $p < 0,0001$ ). Die Beziehung zum Laktosegehalt ist negativ auf einem Niveau von  $r = -0,44$  bis  $-0,72$  ( $p < 0,0001$ ). Laktose ist im Verhältnis zu Eiweiß und Fett der stabilste Inhaltsstoff der Milch und mit steigender Milchleistung leicht ansteigend. Laktose ist bestimmend für die zu synthetisierende Milchmenge (Rook, 1979). Sie wird im Eutergewebe aus Glukose gebildet, die im Ergebnis der mikrobiellen Verdauung und Fermentation der Kohlenhydrate des Futters vor allem aus der Neusynthese aus Propionsäure entsteht (Gabel und Voigt, 2000). Gleichzeitig ist Glukose für viele weitere Prozesse im Organismus der Kuh Energielieferant. Gerät die Kuh in ein starkes Energiedefizit, kann es kurzzeitig zu einem Absinken der Laktosekonzentration kommen, die bei eutergesunden Tieren durch einen Rückgang der Milchmenge relativ zeitnah wieder ausgeglichen wird (Lindenbeck, 2016). Die energetische Nutzung von körpereigenem Fett- und Muskelgewebe sowie der Milchproteinsynthese vorenthaltenen Aminosäuren führt bei Futterenergiemangel in der Regel bereits vor erkennbarem Absinken der Laktosekonzentration zu steigenden Fettgehalten und gegebenenfalls sinkenden Eiweißgehalten der Milch. Gross et al. (2011) brachten Kühe in einem Versuch bewusst durch Futterrestriktion in einen negativen Energiesaldo. Während Milchleistung und Eiweißkonzentration abnahmen sowie Fettgehalt und FEQ anstiegen, wurde die Laktosekonzentration nicht beeinflusst. Tremblay et al. (2018) klassifizierten Kühe in Gruppen nach geringer, intermediärer und hoher Übereinstimmung mit erwarteten Indikatoren für eine schlechte Anpassung an den negativen Energiesaldo zu Beginn der Laktation. Im Gegensatz zur Klasse mit geringer Übereinstimmung waren in der intermediären und hohen Klasse Fettgehalt und FEQ erhöht und der Eiweißgehalt erniedrigt. Der Gehalt an Laktose war hingegen nicht verschieden.



**Abbildung 3-1.** Mittelwerte für Fett-Eiweiß- sowie Fett-Laktose-Quotient je Laktationstag 6 bis 320 für die GRUPPE und ANGLER

*Means of fat:protein and fat:lactose ratio per day in milk 6 to 320 for SQUAD and ANGLER*

Die Betrachtung der Entwicklung der Inhaltsstoffe F und E über den FEQ bzw. der Anteile von Grenzwertüberschreitungen auf Herdenebene kann im Rahmen der üblichen vierwöchigen Milchkontrolle Hinweise auf mögliche Fütterungs- bzw. Managementmängel im Hinblick auf die Energieversorgung der Milchkühe geben. Die Regressionsanalyse zeigt für den FLQ im Gegensatz zum FEQ eine Abhängigkeit von der Milchmenge mit stärker negativem Regressionskoeffizienten und höherem Bestimmtheitsmaß je Auswertungsgruppe. Hinzu kommt, dass Laktose deutlich vom Zellgehalt und der Laktationsnummer beeinflusst wird (Glatz-Hoppe et al., 2019) und auch bei Fieber, infektiösen und entzündlichen Geschehen kurzzeitig mit einem Abfall reagiert, während Fett- und Eiweißgehalt konstant bleiben bzw. bei gleichzeitigem Milchmengenabfall steigen (Rook, 1979; Lindenbeck, 2016). Auch der FLQ korreliert im Gegensatz zum FEQ mit dem logarithmierten Zellgehalt. Während der FEQ im letzten Laktationsdrittel etwa auf gleichem Niveau bleibt, ist der FLQ nach seinem Minimum um den 60. Laktationstag kontinuierlich ansteigend (Abb. 3-1). Nach diesen Betrachtungen scheint der FLQ als alleiniger Wert weniger geeignet zu sein, die Energieversorgungssituation innerhalb einer Herde abzubilden als der FEQ.

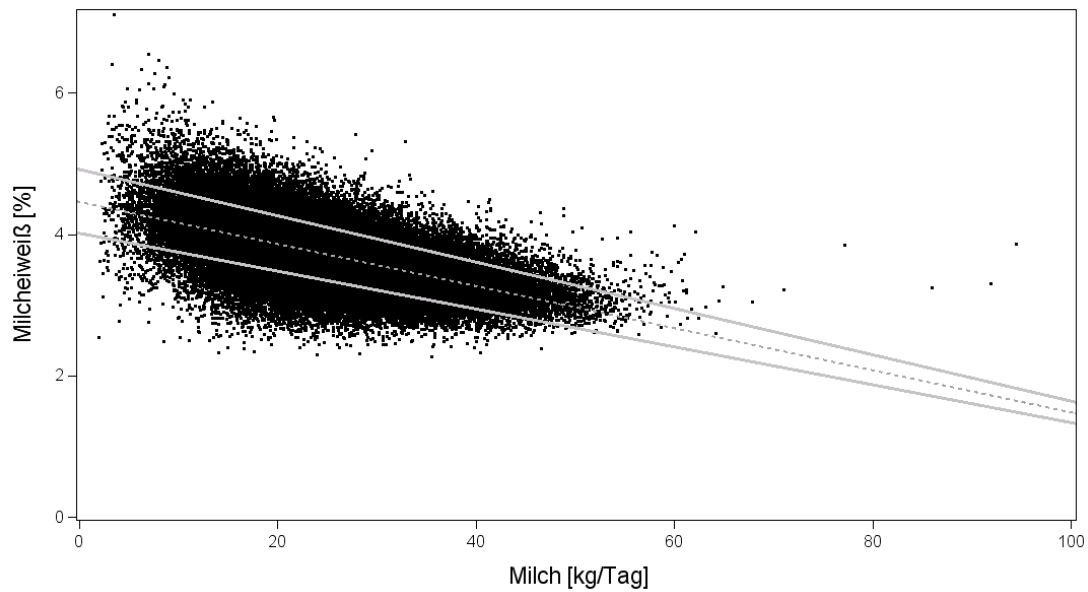
### Normalbereiche für Eiweiß- und Fettkonzentrationen

Da Fett und Eiweiß wie gezeigt durch Ausschläge in beide Richtungen den FEQ beeinflussen können und beide Inhaltsstoffe neben anderem mit dem Energiestoffwechsel und der Fütterungssituation in Verbindung stehen, könnten definierte Grenzwerte für beide Parameter solitär oder z. B. in Kombination mit dem FEQ Aussagen zur Versorgungssituation gegebenenfalls unterstützen. Diese sollten jedoch nicht starr sein, wie z. B. der vielfach genutzte untere Grenzwert von 3,20 % Eiweiß oder als Obergrenze 4,80 % Fett (Heuer et al., 2000), sondern die dargestellte Abhängigkeit von der Milchleistung berücksichtigen. Werden dazu die jeweiligen Regressionsgleichungen für E und F und der Anteil der Reststandardabweichung  $s_y$  am Mittelwert  $\bar{x}_y$  von E bzw. F genutzt, ergeben sich statistisch begründete Normalbereiche (Tab. 3-4). Innerhalb der Grenzlinien  $E_{\min}$  und  $E_{\max}$  befinden sich jeweils 70 %, darüber und darunter jeweils ca. 15 % der Daten. Innerhalb der Grenzlinien  $F_{\min}$  und  $F_{\max}$  liegen 72 % der Daten, darunter und darüber je 14 %. Zur Veranschaulichung des Normalbereichs für Milcheiweiß und Milchfett sind die Daten der Rasse ANGLER in Abb. 3-2 und 3-3 dargestellt. Kuhindividuell können über die jeweilige Formel ein minimaler und ein maximaler Eiweiß- sowie Fettgehalt berechnet werden, die die Milchmenge am Tag

**Tabelle 3-4.** Formeln zur Berechnung der jeweiligen oberen und unteren Grenzen eines Normalbereichs für Milcheiweiß ( $E_{\max}$  und  $E_{\min}$ ) bzw. Milchfett ( $F_{\max}$  und  $F_{\min}$ )

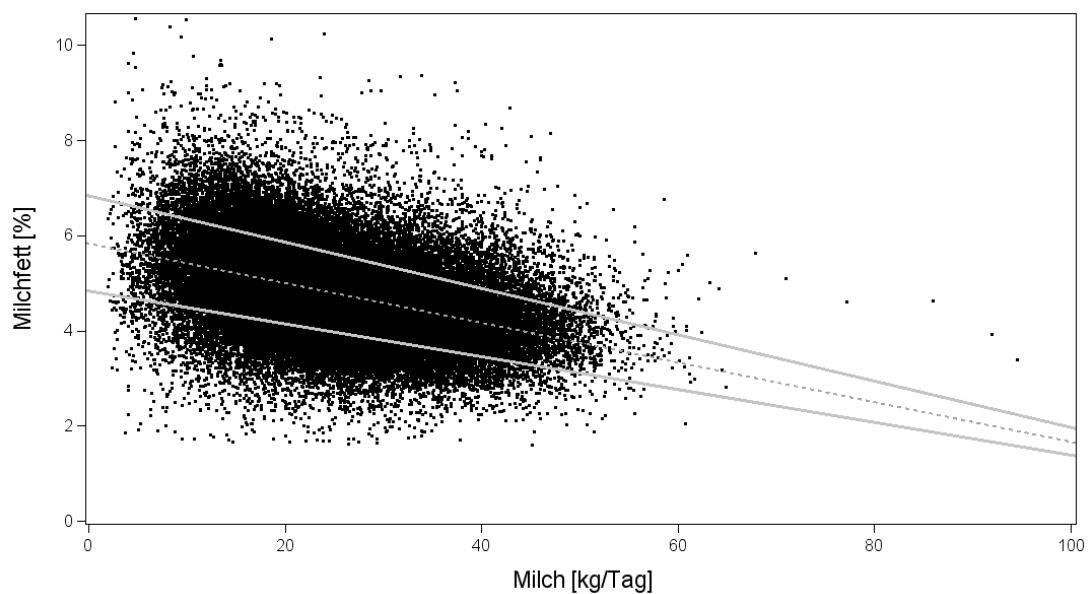
*Models to calculate upper and lower thresholds of a normal range for milk protein ( $E_{\max}$  and  $E_{\min}$ ) and fat ( $F_{\max}$  and  $F_{\min}$ ), respectively*

<b>GRUPPE</b>	$E_{\min}$	= (4,11 -0,023 kg Milch/Tag) (1 - 0,35/3,51)
	$E_{\max}$	= (4,11 -0,023 kg Milch/Tag) (1 + 0,35/3,51)
	$F_{\min}$	= (5,06 -0,033 kg Milch/Tag) (1 - 0,68/4,20)
	$F_{\max}$	= (5,06 -0,033 kg Milch/Tag) (1 + 0,68/4,20)
<b>ANGLER</b>	$E_{\min}$	= (4,46 -0,030 kg Milch/Tag) (1 - 0,38/3,72)
	$E_{\max}$	= (4,46 -0,030 kg Milch/Tag) (1 + 0,38/3,72)
	$F_{\min}$	= (5,83 -0,042 kg Milch/Tag) (1 - 0,82/4,79)
	$F_{\max}$	= (5,83 -0,042 kg Milch/Tag) (1 + 0,82/4,79)
<b>JERSEY</b>	$E_{\min}$	= (4,78 -0,035 kg Milch/Tag) (1 - 0,44/4,06)
	$E_{\max}$	= (4,78 -0,035 kg Milch/Tag) (1 + 0,44/4,06)
	$F_{\min}$	= (6,99 -0,061 kg Milch/Tag) (1 - 1,03/5,72)
	$F_{\max}$	= (6,99 -0,061 kg Milch/Tag) (1 + 1,03/5,72)



**Abbildung 3-2.** Milchmengenabhängiger Normalbereich für Eiweiß (%) der Rasse ANGLER mit der Regressionslinie (---) und der oberen bzw. unteren Grenze  $E_{max}$  bzw.  $E_{min}$  (—)

*Milk yield-dependent normal range of milk protein (%) for German Angler with regression line (---) and upper and lower limit  $E_{max}$  and  $E_{min}$  (—), respectively*



**Abbildung 3-3.** Milchmengenabhängiger Normalbereich für Fett (%) der Rasse ANGLER mit der Regressionslinie (---) und der oberen bzw. unteren Grenze  $F_{max}$  bzw.  $F_{min}$  (—)

*Milk yield-dependent normal range of milk fat (%) for German Angler with regression line (---) and upper and lower limit  $F_{max}$  and  $F_{min}$  (—), respectively*

der Kontrolle berücksichtigen. Zur Absicherung der Verwendung der am gesamten Datenmaterial abgeleiteten Formeln – jeweils getrennt für die GRUPPE sowie für die Rassen ANGLER und JERSEY – wurden die Differenzen zwischen wahren und geschätzten Werten ( $\bar{x}$  und  $s$ ) für verschiedene geographische Regionen verglichen. Die Verwendung von regional angepassten Formeln erscheint nicht notwendig, da die Differenzen im Vergleich nur marginal waren ( $\bar{x}_{\text{Diff}} = 0,00$  bis  $0,04$ ;  $s_{\text{Diff}} \leq s_{\text{wahr}}$ ).

### **Bewertung der Aussagekraft verschiedener Wertebereiche anhand der Milchmenge**

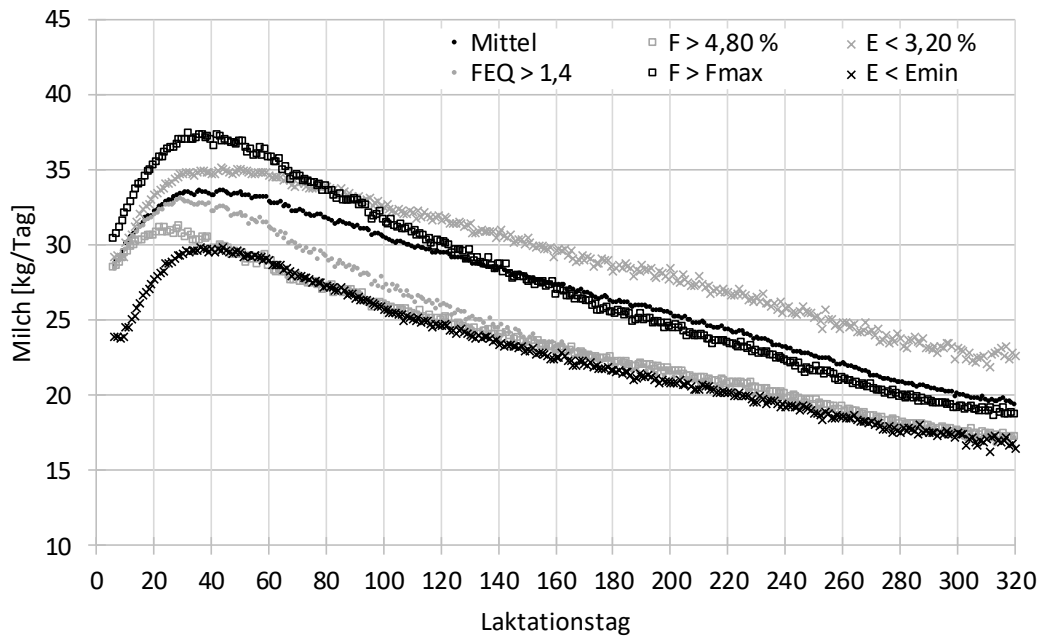
Aus den MLP-Daten heraus kann die tägliche Milchmenge als Kriterium zur Bewertung der verschiedenen Maßstäbe zur Abgrenzung einer guten von einer Mangel- bzw. Überversorgung herangezogen werden. Die Milchleistung zum Zeitpunkt der Milchkontrolle ist Ausdruck der an diesem Datum aktuellen bis kurzfristig zurückliegenden Bereitstellung von Nährstoffen und Futterenergie für die Milchbildung. Dargestellt werden die mittleren täglichen Milchmengen in kg der am jeweiligen Laktationstag sechs bis 320 (Laktationstagsmittelwerte) entsprechend gruppierten MLP-Ergebnisse und das Mittel aller Daten für die GRUPPE. In die jeweiligen Mittelwerte können demnach unterschiedliche Kühe einbezogen sein.

### **Bewertung einer möglichen Energiemangelsituation**

Für eine Energiemangelbewertung (Abb. 3-4) wurden folgende Werte angesetzt:

Milcheiweiß < 3,20 %	(Spohr und Wiesner, 1991)
Milcheiweiß < $E_{\text{min}}$	(siehe Abschnitt „Normalbereiche für E und F“)
FEQ > 1,4	(Cook et al., 2006; bzw. $\bar{x} + 1s$ )
Milchfett > 4,80 %	(Heuer et al., 2000)
Milchfett > $F_{\text{max}}$	(siehe Abschnitt „Normalbereiche für E und F“)

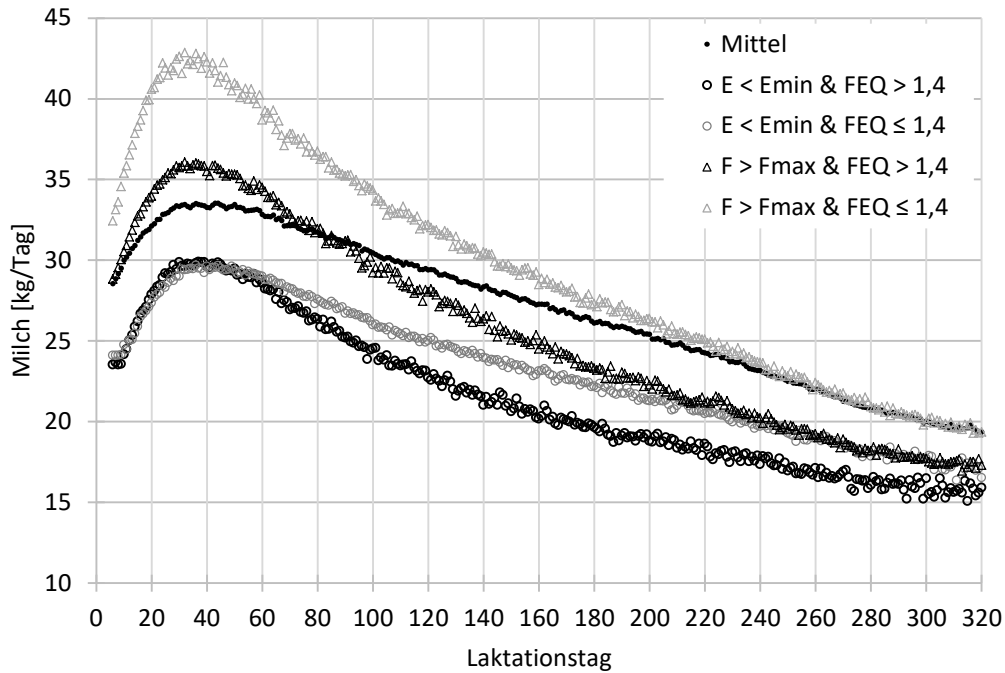
Die Datenpunkte der MLP-Ergebnisse mit einem Eiweißgehalt < 3,20 % ( $n = 1.582.422$ ) liegen in den ersten 14 Laktationstagen auf gleichem Niveau mit dem Populationsmittel ( $n = 6.476.157$ ), steigen dann stärker an und liegen etwa 2 bis 3,5 kg über dem Mittel, d. h. Kühe, die mit diesem Grenzwert ausgewählt wurden, hatten demnach nach der zweiten Laktationswoche an jedem Laktationstag eine höhere Milchleistung als das Mittel der MLP, was auf eine gute Energieversorgung schließen



**Abbildung 3-4.** Mittelwerte je Laktationstag für die tägliche Milchmenge von nach verschiedenen Grenzwerten für eine Energiemangelsituation gruppierten und dem Mittel aller MLP-Daten der GRUPPE.

*Means of milk yield per day by different limits for a poor energy supply situation and the mean of all standard milk recording data of SQUAD.*

lässt. Das Auswahlkriterium Eiweißgehalt  $< E_{\min}$  ( $n = 1.057.141$ ) hingegen bringt Ergebnisse, die zu jedem Zeitpunkt der Laktation eine geringere Milchleistung ausweisen und ca. 2,5 bis 5,5 kg unterhalb der Vergleichsdaten liegen. Auch schon zu Beginn der Laktation ist der Abstand zum Mittel deutlich, wofür eine geringe Energieversorgung bzw. genetisch bedingt niedrige Eiweißgehalte ursächlich sein können. Die Laktationstagsmittelwerte der MLP-Ergebnisse gruppiert nach  $FEQ > 1,4$  ( $n = 827.199$ ) steigen im ersten Monat der Laktation wie das Populationsmittel an, liegen in dem Zeitraum nur leicht unterhalb des Niveaus des Mittels, fallen danach stark ab und liegen ca. 3,0 kg bis 4,5 kg darunter und legen ein Versorgungsdefizit nahe. Wird die Anordnung der Punkte als Laktationskurve angesehen, hat die Kurve der Tiere mit einem  $FEQ > 1,4$  eine schlechtere Persistenz als die Kurve des Populationsmittels sowie die Kurve der Tiere mit einem Eiweißgehalt  $< 3,20\%$  und die Kurve der Tiere mit einem Eiweißgehalt  $< E_{\min}$ . Im dritten Laktationsdrittel gleicht sich die Milchmenge nach  $FEQ > 1,4$  der des Kriteriums  $E < E_{\min}$  an, sinkt also auf das geringe Niveau dieser Sortierung ab. Die Datenpunkte der nach  $F > 4,80\%$  ( $n = 1.060.039$ ) sortierten



**Abbildung 3-5.** Mittelwerte je Laktationstag für die tägliche Milchmenge von nach verschiedenen Kombinationen von Grenzwerten für eine Energiemangelsituation gruppierten MLP-Daten der GRUPPE.

*Means of daily milk yield by different combinations of limits for a poor energy situation of SQUAD.*

MLP liegen am Laktationstag sechs nur leicht unterhalb des Populationsmittels, steigen aber deutlich geringer an und bleiben im weiteren Verlauf unterhalb des Mittels mit einem Abstand von etwa 4,0 kg bis 5,5 kg, wobei die Kurve eine bessere Persistenz hat als die Kurve der nach  $FEQ > 1,4$  sortierten MLP-Daten. Das Kriterium Fettkonzentration  $> F_{max}$ , also der Wert größer als der milchmengenabhängige maximale normale Fettgehalt ( $n = 876.518$ ) hingegen bringt MLP-Ergebnisse mit sehr hohen Milchleistungen zu Beginn der Laktation hervor, die im weiteren Verlauf eine ähnlich schlechte Persistenz wie die nach  $FEQ > 1,4$  gruppierten Werte zeigen. Ab dem 140. Laktationstag liegt die tägliche Milchmenge unterhalb des Mittels.

Zum Ausschluss im Hinblick auf eine Energiemangelsituation falsch positiv bewerteter Tiere nach Milcheiweißgehalt wurden die Grenzwerte  $E < E_{min}$  und  $FEQ$  kombiniert:  $E < E_{min}$  und  $FEQ > 1,4$  bzw.  $E < E_{min}$  und  $FEQ \leq 1,4$ . Dadurch werden die Werte herausgefiltert, die bei einem relativ zur Milchmenge niedrigen Eiweißgehalt tatsächlich über den  $FEQ$  als Werte passend zu einer Energiemangelsituation beurteilt

werden. Dahinter stehen überwiegend Tiere zu Laktationsbeginn. Die Kühe mit einem relativ zur Milchmenge niedrigen Eiweißgehalt und einem  $FEQ \leq 1,4$  sind möglicherweise Tiere mit einem genetisch bedingten niedrigen Milcheiweißgehalt. Sie würden über den Eiweißgehalt allein falsch als energetisch mangelhaft versorgt beurteilt werden. Die Kombination von  $E < E_{min}$  und  $FEQ > 1,4$  ( $n = 323.571$ ) zeigt deutlich geringere Milchmengen und eine schlechtere Persistenz an als das Populationsmittel (Abb. 3-5). Zu Beginn der Laktation liegen die Milchmengen auf gleichem Niveau wie die Werte der Kombination  $E < E_{min}$  und  $FEQ \leq 1,4$  ( $n = 733.570$ ). Etwa nach dem 60. Laktationstag fallen die Milchmengen der Gruppe  $E < E_{min}$  und  $FEQ > 1,4$  stärker ab als die der Gruppe  $E < E_{min}$  und  $FEQ \leq 1,4$ . Die Kurve der Werte sortiert nach niedrigem relativem Eiweißgehalt und  $FEQ \leq 1,4$  zeigt einen ähnlichen Verlauf wie das Mittel, liegt aber stets 4,0 kg bis 5,5 kg darunter. Wird zum Ausschluss im Hinblick auf eine Energiemangelsituation falsch positiv bewerteter Tiere nach Fettgehalt ebenso mit Kombinationen  $F > F_{max}$  und  $FEQ > 1,4$  ( $n = 488.039$ ) bzw.  $F > F_{max}$  und  $FEQ \leq 1,4$  ( $n = 492.636$ ) verfahren, haben die nach relativem hohem Fettgehalt und  $FEQ \leq 1,4$  sortierten Tiere eine sehr hohe Milchleistung, die die gesamte Laktation oberhalb der anderen Mittelwerte liegt und sich gegen Ende der gezeigten Laktationsperiode der Leistung des Populationsmittels angleicht. Diese Tiere sind möglicherweise Kühe, die einen genetisch bedingt hohen Fettgehalt haben und würden über einen Grenzwert für Fett allein falsch beurteilt werden. Die Datenpunkte, sortiert nach relativem hohem Fettgehalt und erhöhtem FEQ, starten auf gleichem Niveau wie das Populationsmittel, steigern sich aber stärker, fallen nach dem ersten Laktationsmonat wieder stark ab und liegen ab etwa dem dritten Laktationsmonat unterhalb des Mittels. Diese Tiere und die nach  $E < E_{min}$  und  $FEQ > 1,4$  gruppierten Tiere sind Kühe, die die stärkeren Korrelationskoeffizienten für F bzw. E mit dem FEQ in den ersten 60 Laktationstagen begründen. Die Kühe mit einem Eiweißgehalt  $< E_{min}$  und einem  $FEQ > 1,4$  können als Risikotiere im Hinblick auf eine Ketose angesehen werden, da der FEQ in der Früh-laktation zwar immer noch hauptsächlich vom Fettgehalt ausgeht, aber in dieser Phase anteilig von einem verstärkten negativen Ausschlag des Eiweißgehalts geprägt wird. Auch in Phasen starker Energierestriktion wird der Anstieg des FEQ stärker durch ein Absinken der Eiweißkonzentration als durch das Ansteigen des Fettgehalts verursacht (Gross et al., 2011).



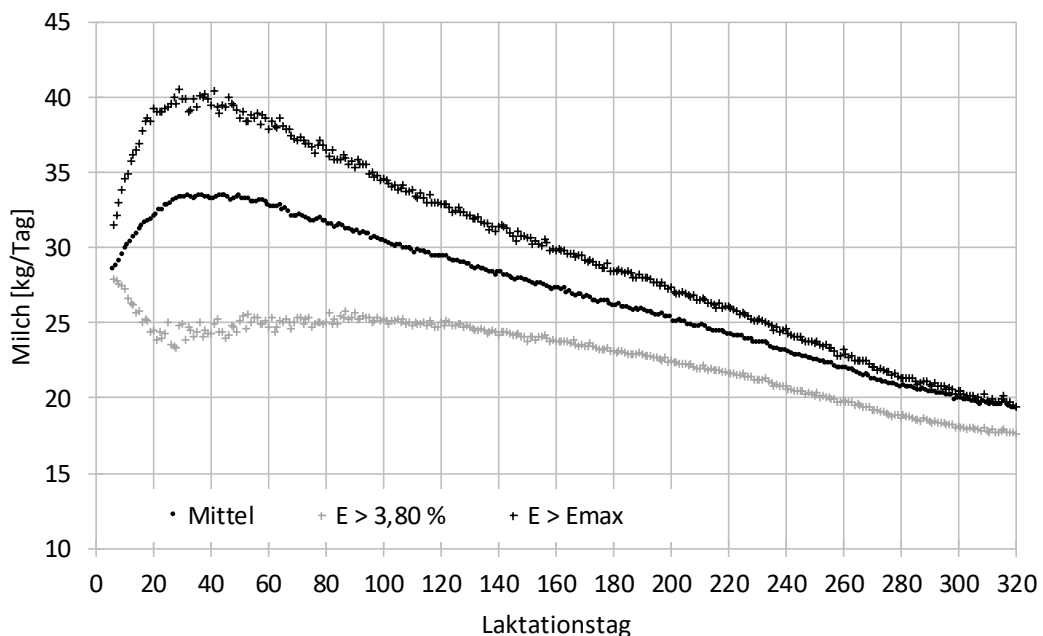
### Bewertung einer möglichen Energieübersorgung

Als Grenze für die Interpretation einer Energieübersorgung wurden folgende Werte zu Grunde gelegt:

Milcheiweiß > 3,80 % (Härle und Sundrum, 2013)

Milcheiweiß >  $E_{\max}$  (siehe Abschnitt „Normalbereiche für E und F“)

Die Kühe, die mit einem Milcheiweißgehalt > 3,80 % gruppiert werden ( $n = 1.163.475$ ), haben an jedem Laktationstag eine deutlich geringere Milchleistung als das Populationsmittel und zeigen nicht den für normale Laktationskurven typischen Anstieg zu Beginn der Laktation, sondern fallen sofort ab (Abb. 3-6). Da bezüglich Fett und Eiweiß eine Konzentrierung bei geringen Milchmengen stattfindet, ist festzuhalten, dass nicht vorrangig eine zu hohe Energieversorgung die Ursache für die höheren Milcheiweißgehalte ist. Wahrscheinlich ist, dass andere Ursachen wie z. B. eine Erkrankung, Brunst oder die Umstallung in andere Fütterungsgruppen bzw. eine extreme Änderung der Futtergrundlage zu einer drastischen Verringerung der Milchleistung führen.



**Abbildung 3-6.** Mittelwerte je Laktationstag für die tägliche Milchmenge von nach verschiedenen Grenzwerten für eine Energieübersorgung gruppierten MLP-Daten.

*Means of daily milk yield by different limits for an energy over-supply.*

ung mit dem Effekt des Anstiegs der Milchinhaltsstoffe führten. Eine direkte Verringerung der Futterenergie wäre nicht gerechtfertigt. Nur mit zusätzlichen Informationen zum Einzeltier sollte die Beurteilung hinsichtlich einer Energieübersversorgung erfolgen.

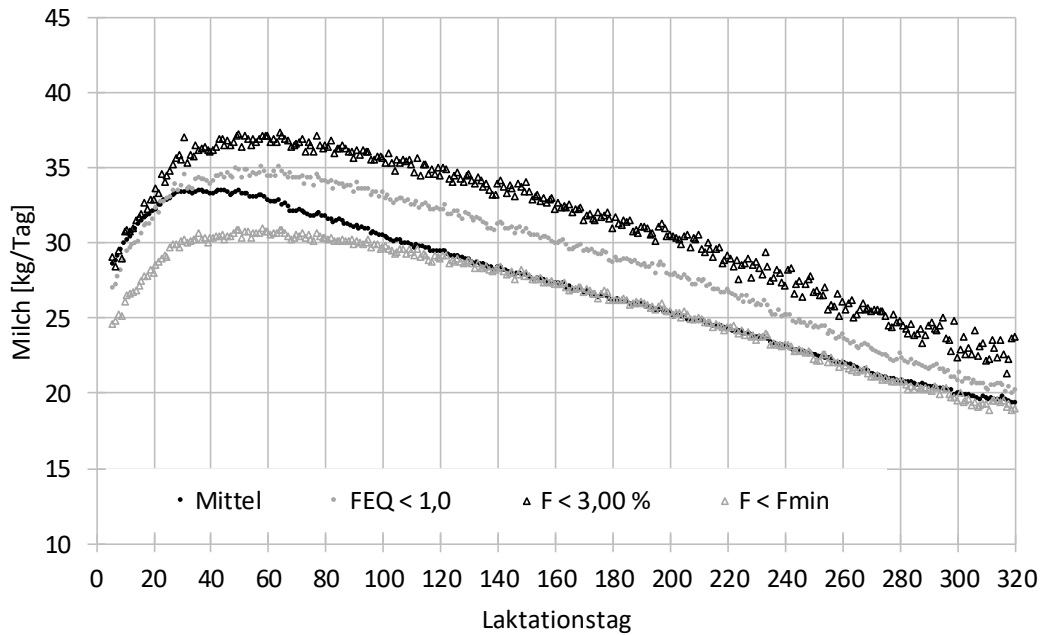
Die Sortierung nach dem Kriterium  $E > E_{\max}$  dagegen weist sehr hohe Milchleistungen aus ( $n = 876.518$ ). Im Maximum liegt die Milchleistung mehr als 7 kg über dem Mittel. Die Persistenz ist dabei etwas geringer und die Milchmengen nähern sich zum Ende der dargestellten Laktationstage der Kurve des Mittels an. Die hohen Milchleistungen sind Ausdruck einer sehr guten Energieversorgung. Hinter den Datenpunkten stehen leistungsbereite Kühe, die trotzdem hohe Konzentrationen an Inhaltsstoffen haben. Eine Reduzierung der Energieversorgung im dargestellten Zeitraum aufgrund der Milchinhaltsstoffe wäre falsch. Auch dieser Parameter ist wie der Grenzwert von 3,80 % Eiweiß zur Beurteilung einer Energieübersversorgung anhand der Inhaltsstoffe aus der Milchkontrolle nicht geeignet. Vielmehr sind andere bewährte Instrumente der Fütterungskontrolle wie z. B. die Anwendung der Körperkonditionsbeurteilung (Edmonson et al., 1989) zu empfehlen, um eine mögliche Verfettung, die das Resultat einer zu hohen Energieversorgung wäre (Theilgaard et al., 2002), zu erkennen.

### **Bewertung einer möglichen Pansenfermentationsstörung**

Sowohl die Rationsanteile als auch die absolute Menge von leicht fermentierbaren und Strukturkohlenhydraten haben Einfluss auf den ruminalen pH-Wert.

Niedrige Milchfettgehalte und -mengen bzw. Fett-Eiweiß-Quotienten werden mit einer Verschiebung der Anteile der durch mikrobielle Fermentation gebildeten flüchtigen Fettsäuren zugunsten von Propionsäure und zum Nachteil von Essigsäure bzw. mit niedrigen ruminalen pH-Werten und damit dem Risiko einer subklinischen Pansenazidose (SARA) in Verbindung gebracht (Zebeli et al., 2008; DLG, 2012). Zur Erkennung von gefährdeten Kühen im Hinblick auf SARA wurden folgende Grenzen gewählt (Abb. 3-7):

FEQ < 1,0	(Kruif et al., 2007; bzw. $\bar{x} - 1s$ )
Milchfett < 3,00 %	(Kruif et al., 2007)
Milchfett < $F_{\min}$	(siehe Abschnitt „Normalbereiche für E und F“)



**Abbildung 3-7.** Mittelwerte je Laktationstag für die tägliche Milchmenge von nach verschiedenen Grenzwerten für eine Pansenfermentationsstörung gruppierten MLP-Daten.

*Means of daily milk yield by different limits for a ruminal fermentation disorder.*

Die Datenpunkte für ausgewählte Werte nach  $FEQ < 1,0$  ( $n = 775.648$ ) und  $F < 3,00 \%$  ( $n = 264.782$ ) zeigen jeweils hohe Milchleistungen, die im dargestellten Zeitraum oberhalb des Populationsmittels liegen und eine gute Persistenz haben. Die Daten nach  $F < F_{min}$  liegen in der ersten Hälfte der Laktation unterhalb des Mittels, ab dann in etwa auf diesem Niveau und haben eine sehr gute Persistenz. Aus diesen Auswertungen allein lässt sich eine Beeinträchtigung der Leistungsfähigkeit der betroffenen Kühe nicht ableiten. Weitere Parameter wie z. B. das Wiederkauverhalten könnten ergänzende Informationen liefern (Denißen et al., 2018; Ettle et al., 2018). Bei der Beurteilung des Fettgehaltes und damit auch des FEQs ist zu berücksichtigen, dass sich Milchfettdepression durch spezielle Futter- bzw. Fütterungssituationen und Fettanstieg durch Lipolyse überlagern können. Mögliche Fütterungsfehler in Richtung Futterenergiemangel, aber auch SARA könnten dadurch verschleiert werden.

### Beurteilung des Milchharnstoffgehaltes

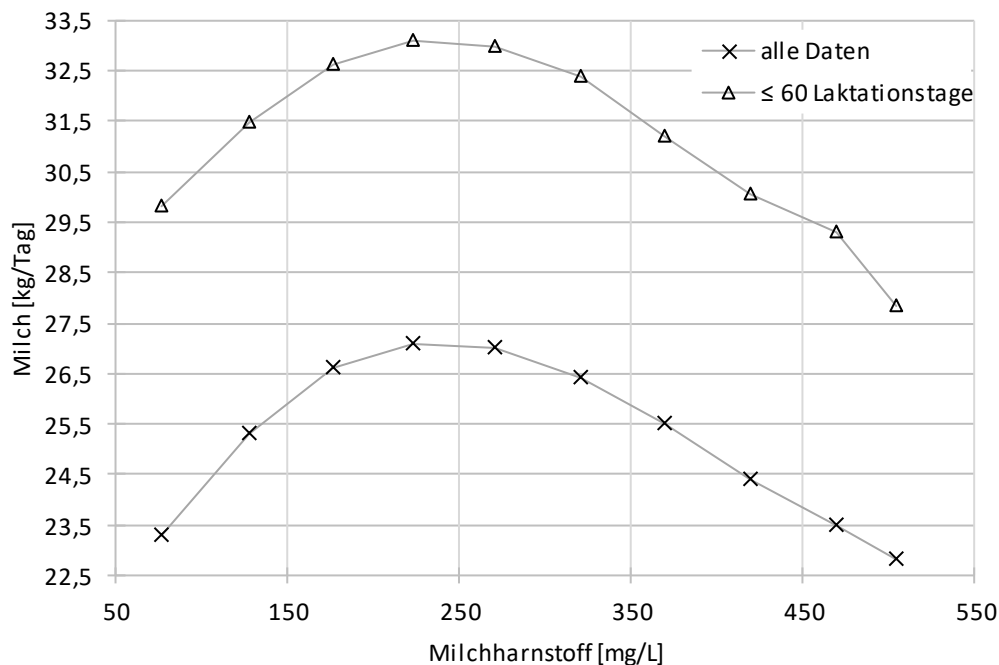
Über den Milchharnstoffgehalt kann die Versorgung mit Futterrohprotein auf Gruppen- und Herdenebene eingeschätzt werden. Er ist hauptsächlich von der Rohproteinmenge und -qualität, aber auch der mikrobiellen Rohproteinsynthese und damit der Energieversorgung der Mikroorganismen des Pansens abhängig (Piatkowski et al., 1981; Richardt et al., 2001a, 2002; Seggwiß, 2004; Lebzien et al., 2006; Steinwidder et al., 2009). Zusammenhänge mit anderen Milchinhaltsstoffen der MLP bestehen nicht bzw. sind marginal ( $r < \pm 0,01$  bis  $\pm 0,07$ ;  $p < 0,0001$ ). Ein Bezug zum Laktationsstand ist jedoch zu erkennen und wird mit einer reduzierten Futterraufnahme in der frühen Laktation im Verhältnis zum Bedarf und zum restlichen Teil der jeweiligen Herde in Verbindung gebracht (Godden et al., 2001; Richardt et al., 2001b; Glatz-Hoppe et al., 2019). Die Darstellung der täglichen Milchmenge in Beziehung zum Milchharnstoffgehalt als lineare Regression ergibt eine ganz leicht ansteigende Regressionsgerade (GRUPPE:  $\beta = 0,0049$ ;  $r^2 = 0,0015$ ). Während über alle Daten gesehen also nahezu keine Steigerung der Milchleistung mit steigenden Harnstoffgehalten zu erwarten ist, zeigen die in Klassen eingeteilten Daten bei niedrigerem Harnstoff-

**Tabelle 3-5.** Zusammenhang von täglicher Milchmenge und Milchharnstoffgehalt sowie ausgewählte Parameter der Milchkontrolle je Harnstoffklasse und über alle Daten der GRUPPE

*Regression coefficient of daily milk yield and milk urea, as well as selected parameters of milk recording per urea class and over all data of SQUAD*

Harnstoff- klasse [mg/L]	n	Regressionskoeffi- zient: Anstieg kg Milch/mg Harnstoff	r <sup>2</sup>	$\bar{x}$ je Klasse			
				Laktati- onstag	Milch [kg/Tag]	FEQ	Harnstoff [mg/L]
GRUPPE	7.284.904	0,0049	0,0015	178	26,4	1,20	220
<100	261.204	0,0394	0,0076	173	23,3	1,24	76
≥ 100 – < 150	835.154	0,0375	0,0034	170	25,3	1,21	128
≥ 150 – < 200	1.759.830	0,0223	0,0012	174	26,6	1,20	176
≥ 200 – < 250	2.091.683	0,0061	0,0001	179	27,1	1,19	223
≥ 250 – < 300	1.409.275	-0,0061	0,0001	182	27,0	1,19	271
≥ 300 – < 350	620.150	-0,0129	0,0004	184	26,4	1,19	320
≥ 350 – < 400	213.524	-0,0179	0,0008	184	25,5	1,20	369
≥ 400 – < 450	69.806	-0,0145	0,0006	183	24,4	1,21	419
≥ 450 – < 500	23.039	-0,0133	0,0005	183	23,5	1,21	470
≥ 500	2.239	0,0043	0,0000	183	22,8	1,21	504

niveau stärkere Anstiege in der Regressionsanalyse (Tab. 3-5). Kühe mit einem Harnstoffgehalt unter 150 mg/L weisen tendenziell geringere Milchleistungen auf. Auch wenn die Bestimmtheitsmaße dieser Aufstellung sehr klein sind ( $r^2 < 0,01$ ), ist ihre Interpretation vor dem Hintergrund, dass die Milchsynthese eher von anderen Faktoren und hauptsächlich der energetischen Versorgung beeinflusst wird, gerechtfertigt. Eine Veränderung in der Aussage des Regressionskoeffizienten und des Bestimmtheitsmaßes ist von der Klasse  $\geq 150 - < 200$  zur Klasse  $\geq 200 - < 250$  mg Harnstoff/L zu erkennen und kehrt sich in der Folge sogar zu einem Abwärtstrend bei zunehmendem Harnstoffniveau um. Dieses Bild zeigt sich ebenso für die Früh-laktation (Abb. 3-8). Von Kühen mit höheren Harnstoffgehalten ( $> 250$  mg/L) sind keine höheren Milchmengen zu erwarten. Die Ergebnisse von Richardt et al. (2001a; 2002) haben die gleiche Aussage. Daraus ist bezüglich eines Bewertungsrahmens für Milchinhaltsstoffe zur Beurteilung des Fütterungserfolgs eine Obergrenze für Milchharnstoff von 250 mg/L anzulegen, was auch Empfehlung bzw. Ergebnis verschiedener anderer Untersuchungen ist (Wenninger und Distl, 1994; Rajala-Schultz et al., 2001; Kohn et al.,



**Abbildung 3-8.** Klassenmittelwerte für Milch [kg/Tag] und Harnstoff [mg/L] der in 50 mg/L Harnstoff-Schritten klassifizierten Daten der GRUPPE ( $n = 7.284.904$ ) und der GRUPPE in der Früh-laktation ( $n = 1.296.716$ ).

*Class averages of milk yield [kg/day] and urea [mg/L] of SQUAD ( $n = 7.284.904$ ) and early lactation ( $n = 1.296.716$ ), data classified into 50 mg/L steps of urea.*

2002). Eine Versuchsanstellung von Lebzién et al. (2006) ergab bei einer nach Protein und Energie ausgeglichenen Ration mit einer angestrebten ruminalen Stickstoffbilanz (**RNB**) von etwa 0 g/Tag einen Milchwarnstoffgehalt von 216 mg/L. Aktuell gehen Versuchsfragen vermehrt futterrohproteinreduzierten bzw. RNB-negativen Konzepten vor dem Hintergrund eines geringeren Stickstoffeintrags in den Produktionskreislauf und einer hohen Stickstoffumwandlungseffizienz in Milchstickstoff bzw. Wachstum nach (z. B. Steinwidder et al., 2009; Pfeffer et al., 2010; Pries et al., 2018). Rationen nach aktuellen Empfehlungen (GfE, 2001) ergeben in den Versuchsanstellungen Milchwarnstoffgehalte im Bereich von 190 bis 240 mg/L. Eine Obergrenze von 250 mg/L trägt der Fütterung unter Praxisbedingungen und der Harnstoffbestimmung der Standard-MLP Rechnung. Vergleichende Untersuchungen zur Harnstoffbestimmung ergaben Korrelationen von  $r = 0,60$  bis  $0,85$  zwischen der Referenzmethode des DLQ (2013) und der Mittelinfrarotspektroskopie (MIRS), die das Verfahren für die Standard-MLP darstellt (Jilg et al., 2018). Für eine Beurteilung der Proteinversorgung auf Einzeltierniveau, wie es z. B. in Fütterungsversuchen erforderlich ist, ist daher die MIRS nicht geeignet. Für die Gruppen- und Herdenbetrachtung in der Fütterungskontrolle kann die MIRS-Methode jedoch herangezogen werden (Jilg et al., 2018).

Unabhängig von der Milchleistungs- oder Fertilitätsbetrachtung sind höhere Harnstoffgehalte in besonderen Fütterungssituationen normal und zu tolerieren. Wenn die Futtergrundlage z. B. zu größeren Teilen aus Weidegras oder proteinreichen Grassilagen bestehen soll bzw. aufgrund fehlender anderer Futtermittel nicht ausbalanciert werden kann, sind Harnstoffgehalte  $> 250$  mg/L auf Herdenniveau zu erwarten (Richardt et al., 2001a; Lebzién et al., 2006; Spiekers et al., 2009; Steinwidder et al., 2009; Pfeffer et al., 2010). Die viele Jahre gängige Meinung, dass mit höheren Harnstoffgehalten hohe Milchmengen einhergehen, stammt aus der Zeit vor Einführung des nXP-Systems (DLG, 1997; GfE, 2001). Mit erweiterten Kenntnissen zur Rationsgestaltung, insbesondere zur Proteinqualität im Hinblick auf Aminosäureausstattung und Gehalt an im Pansen nicht abgebautem Protein (UDP) bzw. den Rationskennwerten nutzbares Rohprotein am Duodenum (nXP) und der ruminalen Stickstoffbilanz kann ein sogenanntes „Überfüttern“ mit proteinreichen Konzentrat- als auch Grobfuttermitteln zur Absicherung des Rohproteinbedarfs der Milchkühe vermieden werden (DLG, 1997; GfE, 2001; Godden et al., 2001, Spiekers et al., 2009, Pfeffer et al., 2010). Der Erfolg dieser Weiterentwicklung ist an den vorliegenden Daten sehr gut zu erkennen, denn im Gegensatz dazu zeigten nordamerikanische MLP-Daten aus dem Jahr

1996 im Mittel ein sehr hohes Milchharnstoffniveau und noch deutlich den Trend von höheren Milchleistungen bei höheren Harnstoffgehalten. Die höchste tägliche Milchmenge wurde für Kühe mit  $> 480$  mg Harnstoff/L ausgewiesen (Godden et al., 2001). In der vorliegenden Untersuchung wiesen Kühe mit  $\geq 200 - < 250$  mg Harnstoff/L die höchste tägliche Milchmenge auf. Spiekers et al. (2009) teilen den Milchharnstoffgehalt zur Interpretation der Versorgungslage in vier Kategorien ein: 1. Mangel:  $< 150$  ppm; 2. ausgeglichen:  $150 - 250$  ppm; 3. erhöht:  $251 - 300$  ppm; 4. überhöht:  $> 300$  ppm (ppm  $\equiv$  mg/kg;  $\text{mg/kg} \times 1,03 = \text{mg/L}$ ; wegen des geringen Unterschieds wurde an dieser Stelle auf eine Umrechnung verzichtet). Statistisch betrachtet entsprechen  $300 \text{ mg/L}$  in etwa  $\bar{x} + 1s$  und  $150 \text{ mg/L}$   $\bar{x} - 1s$ . Die 3. Kategorie würde unter anderem den Bedingungen von Betrieben mit Weidehaltung entgegenkommen, wobei der Bereich von  $150$  bis  $250 \text{ mg Harnstoff/L}$  (Kategorie 2) aus ernährungsphysiologischer Sicht weiterhin anzustreben bleibt.

## Schlussfolgerungen

Zur Interpretation der Versorgungssituation von Milchkühen anhand der Milchinhaltsstoffe Fett und Eiweiß sind die drei Auswertungseinheiten JERSEY, ANGLER und die GRUPPE der weiteren Rassen separat zu betrachten. Mit steigenden Milchmengen tritt ein Verdünnungseffekt hinsichtlich der Fett- und Eiweißkonzentration ein. Geringe Eiweißgehalte bzw. hohe Fettgehalte allein sind keine geeigneten Parameter zur Identifikation eines Energiemangels. Unter Anwendung einer Reststandardabweichung im Verhältnis zum Populationsmittelwert je Auswertungseinheit auf die an den repräsentativen Datenmengen abgeleiteten Regressionsformeln lassen sich statistische Normalbereiche für Fett und Eiweiß berechnen.

Im Gegensatz zu Fett und Eiweiß ist der Fett-Eiweiß-Quotient nahezu unabhängig von der Milchleistung und deshalb ein besserer Indikator zur Beurteilung der Energieversorgung von Milchkühen, wie er auch international verwendet wird.

Über erhöhte Milcheiweißgehalte allein lässt sich eine gute von einer Überversorgung mit Futterenergie nicht abgrenzen. Ebenso sind geringe Fettgehalte oder ein geringer FEQ im Hinblick auf eine subklinische Pansenazidose nicht eindeutig zu interpretieren.

Die Milchharnstoffwerte zeigen das Verhältnis der Futterproteinversorgung zum Bedarf an. Ein Optimalbereich von  $150 \text{ mg/L}$  bis  $250 \text{ mg/L}$  ist im Rahmen der üblichen Fütterungspraxis anzustreben.

**Tabelle 3-6.** Anteile (%) an den Bewertungsklassen nach 9-Felder-Tafel und der neuen Fütterungsbewertung für GRUPPE, ANGLER und JERSEY

*Proportions (%) in rating classes according to 9 field board and the new feeding evaluation tool for SQUAD, ANGLER and JERSEY*

	Feld	Bewertung	Bereich		GRUPPE	ANGLER	JERSEY
			Harnstoff [mg/L]	Eiweiß [%]			
<b>9-Felder-Tafel</b>	1	Protein - Energie +	< 150	> 3,80	3,1	5,2	10,6
	2	Energie +	≥ 150 – ≤ 300	> 3,80	16,1	31,4	48,2
	3	Protein ++ Energie +	> 300	> 3,80	3,2	4,1	9,6
	4	Protein -	< 150	≤ 3,80 – ≥ 3,20	8,0	5,5	4,7
	5	<b>Optimum</b>	≥ 150 – ≤ 300	≤ 3,80 – ≥ 3,20	<b>41,0</b>	<b>37,1</b>	<b>19,5</b>
	6	Protein ++	> 300	≤ 3,80 – ≥ 3,20	6,6	4,4	4,3
	7	Protein - Energie -	< 150	< 3,20	4,0	1,8	1,1
	8	Energie -	≥ 150 – ≤ 300	< 3,20	15,6	9,3	1,6
	9	Protein ++ Energie -	> 300	< 3,20	2,4	1,2	0,4
<b>Neue Dummerstorfer Fütterungsbewertung</b>			Harnstoff [mg/L]	FEQ			
	1	Protein -	< 150	≤ 1,4 bzw. 1,5 bzw. 1,6	12,6	10,0	13,9
	2	<b>Optimum</b>	≥ 150 – ≤ 250	≤ 1,4 bzw. 1,5 bzw. 1,6	<b>47,5</b>	<b>50,8</b>	<b>43,8</b>
	3	Protein +	> 250 – ≤ 300	≤ 1,4 bzw. 1,5 bzw. 1,6	16,8	17,6	14,4
	4	Protein ++	> 300	≤ 1,4 bzw. 1,5 bzw. 1,6	10,7	8,5	11,6
	5	Protein - Energie -	< 150	> 1,4 bzw. 1,5 bzw. 1,6	2,4	2,5	2,4
	6	Energie -	≥ 150 – ≤ 250	> 1,4 bzw. 1,5 bzw. 1,6	6,4	7,2	8,4
	7	Protein + Energie -	> 250 – ≤ 300	> 1,4 bzw. 1,5 bzw. 1,6	2,1	2,1	3,0
8	Protein ++ Energie -	> 300	> 1,4 bzw. 1,5 bzw. 1,6	1,5	1,2	2,7	

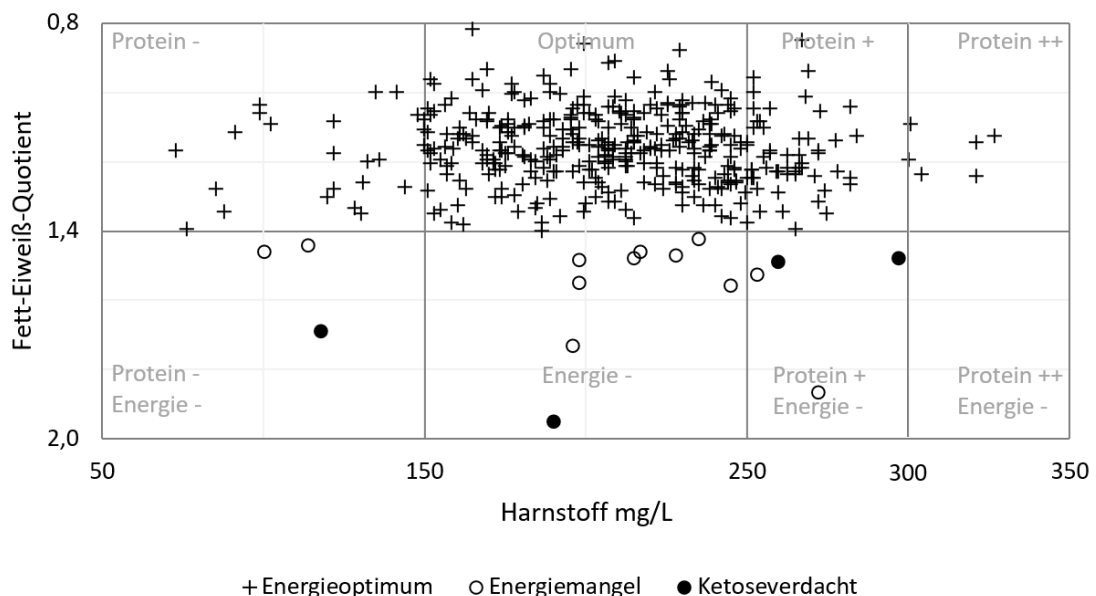
-: Mangel; +: bedarfsüberschreitend; ++: Überversorgung; Protein: Futterproteinversorgung; Energie: Futterenergieversorgung; Optimum: Versorgung ausgeglichen

Eine Weiterentwicklung der vielgenutzten, jedoch obsoleten 9-Felder-Tafel aufgrund der diskutierten Ergebnisse ergibt die Nutzung des Fett-Eiweiß-Quotienten als



Anzeiger der Energieversorgungssituation. Zur Abgrenzung einer Mangel- von einer optimalen Energieversorgung wird vorgeschlagen, den Mittelwert + 1s der drei repräsentativen Datenmengen für JERSEY, ANGLER und die GRUPPE zu nutzen:  $FEQ_{Grenz} = FEQ > 1,6$  bzw.  $1,5$  bzw.  $1,4$ . Für die Beurteilung der Futterproteinversorgung wird für Harnstoff ein Bereich für eine ausgeglichene Versorgung von 150 mg/L bis 250 mg/L ausgewiesen und ein Bereich für Bedarfsüberschreitung von 251 mg/L bis 300 mg/L gekennzeichnet. Die Mangel- und Überversorgungsgrenzen orientieren sich am bisherigen Bewertungsschema.

Bei Auswertung nach neuem Fütterungsbewertungsrahmen sind die Anteile der MLP-Daten in den jeweils definierten Optimalbereichen für Energie- und Proteinversorgung größer als mit dem alten Beurteilungssystem nach Spohr und Wiesner (1991) (Tab. 3-6). Mit rassespezifischem FEQ werden die Kühe zum Zeitpunkt der MLP unabhängig von der Milchleistung bewertet. Der überwiegende Teil der Daten (52 % bis 58 %) liegt im Optimalbereich für Harnstoff von 150 bis 250 mg/L. Die neue Fütterungsbewertung wird damit der aktuell im deutschsprachigen Raum vorhandenen Genetik und dem verfügbaren Wissen zur Rohproteinversorgung gerecht.



**Abbildung 3-9.** Punktdiagramm für Harnstoffwerte und Fett-Eiweiß-Quotient nach neuer Fütterungsbewertung für einen Beispielbetrieb.

*Scatter diagram of milk urea and fat:protein ratio after new feeding evaluation for a sample farm.*

**Tabelle 3-7.** *Milchkontrolldaten eines Beispielbetriebes nach Laktationsstadium und Laktationsnummer mit Anteilen Kühe an Versorgungsklassen**Milk recording data for a sample farm by days in milk and lactation number with parts of cows in classes of supply situation*

	Laktations- stadium [Tag]	Durchschnittswerte Milchkontrolle							
		gemol- kene Kühe	Milch [kg/Tag]	Fett [%]	Eiweiß [%]	FEQ	Harnstoff [mg/L]	Laktose [%]	Zellzahl [Tsd./ml]
<b>Herde</b>	<b>gesamt</b>	<b>409</b>	<b>39,5</b>	<b>3,99</b>	<b>3,40</b>	<b>1,17</b>	<b>209</b>	<b>4,88</b>	<b>168</b>
	6 – 60	64	43,6	4,04	3,21	1,26	171	4,95	108
	61 – 100	43	48,7	3,76	3,17	1,19	202	4,95	169
	101 – 200	111	42,0	3,80	3,31	1,15	213	4,91	188
	201 – 300	118	37,4	4,05	3,50	1,16	229	4,86	141
	> 300	73	29,9	4,26	3,66	1,16	208	4,76	233
<b>1. Laktation</b>	<b>gesamt</b>	<b>125</b>	<b>34,5</b>	<b>4,03</b>	<b>3,43</b>	<b>1,17</b>	<b>200</b>	<b>4,99</b>	<b>82</b>
<b>2. Laktation</b>	<b>gesamt</b>	<b>100</b>	<b>42,5</b>	<b>4,01</b>	<b>3,39</b>	<b>1,18</b>	<b>204</b>	<b>4,87</b>	<b>118</b>
<b>≥ 3. Lakta- tion</b>	<b>gesamt</b>	<b>184</b>	<b>41,2</b>	<b>3,95</b>	<b>3,38</b>	<b>1,17</b>	<b>218</b>	<b>4,81</b>	<b>253</b>

	Laktations- stadium [Tag]	Anteil Kühe in %					
		gemol- kene Kühe	Energie- mangel FEQ > 1,4	Ketoseverdacht FEQ > 1,4 & E < E <sub>min</sub>	Verfettungsgefahr FEQ ≤ 1,4 & E > E <sub>max</sub>	Harnstoff [mg/L] > 250	< 150
<b>Herde</b>	<b>gesamt</b>	<b>100</b>	<b>3,9</b>	<b>1,0</b>	<b>29,8</b>	<b>14,7</b>	<b>5,9</b>
	6 – 60	16	9,4	1,6	23,4	6,3	29,7
	61 – 100	10	4,7	2,3	25,6	2,3	11,6
	101 – 200	27	1,8	0,9	26,1	15,3	0,9
	201 – 300	29	3,4	0,8	34,7	21,2	1,7
	> 300	18	2,7	0,0	35,6	12,3	1,4
<b>1. Laktation</b>	<b>gesamt</b>	<b>31</b>	<b>1,6</b>	<b>0,0</b>	<b>15,2</b>	<b>8,8</b>	<b>7,2</b>
<b>2. Laktation</b>	<b>gesamt</b>	<b>24</b>	<b>5,0</b>	<b>2,0</b>	<b>41,0</b>	<b>15,0</b>	<b>7,0</b>
<b>≥ 3. Lakta- tion</b>	<b>gesamt</b>	<b>45</b>	<b>4,9</b>	<b>1,1</b>	<b>33,7</b>	<b>18,5</b>	<b>4,3</b>

Ergänzend können Tiere mit Ketoseverdacht über die individuell mit den aufgeführten Funktionen berechneten  $E_{\min}$ -Werte mit  $Eiweiß < E_{\min} \& FEQ > FEQ_{Grenz}$  ausgewiesen werden (Abb. 3-9). Zusätzlich zu einer grafischen Darstellung als Punktdiagramm sind Tabellen wertvolle Hilfsmittel für die Fütterungskontrolle auf betrieblicher Ebene, die den Laktationsstand und die Laktationsnummer berücksichtigen (Tab. 3-7). Insbesondere die Betrachtung des Verlaufs von MLP zu MLP ist zur Einschätzung der Herden- bzw. Gruppensituation wichtig. Die Standard-Milchkontrollen finden im Rhythmus von vier Wochen statt. Gerade in den ersten Laktationswochen verändern sich Fut-  
teraufnahme, Milchmenge, Inhaltsstoffe und somit der Energiesaldo und der Stoffwechsel einer Kuh sehr stark (Drackley, 1999). Um in der sensiblen Phase post partum schneller z. B. mit Fütterungsanpassungen reagieren zu können, wären engere Prüfintervalle in diesem Laktationsabschnitt wünschenswert. Neben der Betrachtung von

MLP-Auswertungen sind weitere in der Fütterungskontrolle bewährte tierbezogene Parameter in die endgültige Tier- bzw. Fütterungsbeurteilung einzubeziehen. Zusätzliche Untersuchungen der Milchprobe zur Milchfettzusammensetzung können evtl. tiefergehende Informationen zur Herkunft des Milchfetts geben (Eskildsen et al., 2014; Woolpert et al., 2016).

Die Innenvalidierung anhand der täglichen Milchmenge ist nur eine eingeschränkte Möglichkeit der Kontrolle aus den MLP-Daten. Eine Validierung mit milchfernen Daten wie gemessenen Futteraufnahmen, Blut- und Harnwerten sowie Diagnosen zur Absicherung der Aussagen der neuen Fütterungsbewertung ist daher angeraten.

## **Danksagung**

Die Erstautorin erhält zur Bearbeitung der genannten Thematik dankenswerterweise ein Stipendium der Landesgraduiertenförderung über die Universität Rostock und dankt den Landeskontrollverbänden für die Überlassung der Milchkontrolldaten.

## **Literatur**

- Bergk, N. und H. H. Swalve. 2011. Der Fett-Eiweiß-Quotient in der Früh-laktation als Indikator für den Verbleib von Erstkalbinnen in der Milchkuhherde. Züchtungskunde 83, 89-103.
- Buttchereit, N., E. Stamer, W. Junge und G. Thaller. 2012. Modellevaluierung und Schätzung genetischer Parameter für Energiebilanz und verwandte Merkmale bei Milchkühen. Züchtungskunde 84, 74-89.
- Breves, G. 2007. Züchtung und Stoffwechselstabilität beim Rind – Empfehlungen für Zucht und Haltung. Züchtungskunde 79, 52-58.
- Cook, N., G. Oetzel and K. Nordlund. 2006. Modern techniques for monitoring high-producing dairy cows 2. Practical applications. In Practice 28, 598-603.
- Denißen, J., S. Beintmann, S. Hoppe, E. Stamer, H. Spiekers, M. Pries und K.-H. Südekum. 2018. Einfluss der Energiedichte im Grobfutter und der Kraftfuttermenge auf die Futteraufnahme, das Wiederkauverhalten und die Milchleistung von Milchkühen der Rasse Deutsche Holstein in der Gesamtlaktation. Züchtungskunde 90, 430-452.

- DLG (Deutsche Landwirtschafts-Gesellschaft). 1997. DLG-Futterwerttabellen, Wiederkäuer. Herausgeber: Universität Hohenheim – Dokumentationsstelle. 7. erweiterte und überarbeitete Auflage, DLG-Verlag, Frankfurt a. M.
- DLG (Deutsche Landwirtschafts-Gesellschaft). 2012. Arbeitskreis Futter und Fütterung. Fütterungsempfehlungen für Milchkühe im geburtsnahen Zeitraum: Versorgung während des Trockenstehens und in der Früh lactation; eine Information des DLG-Arbeitskreises Futter und Fütterung. Herausgeber DLG e.V. DLG-Verlag GmbH, Frankfurt a. M.
- DLQ (Deutscher Verband für Leistungs- und Qualitätsprüfungen e.V.). 2013. DLQ-Richtlinie 1.13: DLQ-Referenzmethode zur Bestimmung des Harnstoffgehaltes in Milch, Kontinuierliche Durchflussanalyse. Bonn.
- Drackley, J. K. 1999. Biology of Dairy cows during the transition period: the final frontier? *J. Dairy Sci.* 82, 2259-2273.
- Edmonson A. J., I. J. Lean, L. D. Weaver, T. Farver and G. Webster. 1989. A body condition scoring chart for Holstein Dairy cows. *J. Dairy Sci.* 72, 68-78.
- Eskildsen, C. E., M. A. Rasmussen, S. B. Engelsen, L. B. Larsen, N. A. Poulsen and T. Skov. 2014. Quantification of individual fatty acids in bovine milk by infrared spectroscopy and chemometrics: Understanding predictions of highly collinear reference variables. *J. Dairy Sci.* 97, 7940-7951.
- Ettle, T., P. Hertel-Böhnke, A. Obermaier und H. Spiekers. 2018. Untersuchungen zum Kraftfuttereinsatz bei Milchkühen der Rassen Fleckvieh und Braunvieh bei gras- oder maissilagebasierten Rationen. *Züchtungskunde* 90, 453-466.
- Gabel, M und J. Voigt. 2000. Fütterung der Hochleistungskuh aus stofflicher und energetischer Sicht. *Arch. Tierz. Dummerstorf* 43 Sonderh., 62-70.
- GfE (Ausschuss für Bedarfsnormen der Gesellschaft für Ernährungsphysiologie), (2001): Empfehlungen zur Energie- und Nährstoffversorgung der Milchkühe und Aufzuchttrinder, Heft 8. DLG-Verlag, Frankfurt a. M.
- Glatz-Hoppe, J. und B. Losand. 2019. Use of milk recording data for characterisation of dairy cow supply situation. *Proc. Soc. Nutr. Physiol.* 28, 37.
- Glatz-Hoppe, J., B. Losand, A. Eggert, F. Onken und E. Mohr. 2019. Nutzung von Milchinhaltsstoffen zur Beurteilung der Versorgungssituation von Milchkühen. Erster Teil: Milchleistung und Inhaltsstoffe deutscher Milchrindrassen im Vergleich. *Züchtungskunde* 91, 423-448.

- Godden, S. M., K. D. Lissemore, D. F. Kelton, K. E. Leslie, J. S. Walton and J. H. Lumsden. 2001. Factors associated with milk urea concentrations in Ontario Dairy cows. *J. Dairy Sci.* 84, 107-114.
- Grieve, D. G., S. Korver, Y.S. Rijpkema and G. Hof. 1986. Relationship between milk composition and some nutritional parameters in early lactation. *Livest. Prod. Sci.* 14, 239-254.
- Gross, J., H. A. van Dorland, R. M. Bruckmaier and F. J. Schwarz. 2011. Performance and metabolic profile of dairy cows during a lactational and deliberately induced negative energy balance with subsequent realimentation. *J. Dairy Sci.* 94, 1820-1830.
- Haenel H.-D., C. Rösemann, U. Dämmgen, A. Freibauer, U. Döring, S. Wulf, B. Eulich-Menden, H. Döhler, C. Schreiner and B. Osterburg. 2016. Calculations of gaseous and particulate emissions from German agriculture 1990–2014: Report on methods and data (RMD) Submission 2016. Braunschweig: Johann Heinrich von Thünen-Institut, Thünen Report 39.
- Härle, C. und A. Sundrum. 2013. Tiergesundheit auf betrieblicher Ebene, 2. Mitteilung: Nährstoffversorgung auf bayerischen Milchviehbetrieben. *Züchtungskunde* 85, 396-412.
- Heuer, C., Y. H. Schukken and P. Dobbelaar. 1999. Postpartum body condition score and results from the first test day milk as predictors of disease, fertility, yield, and culling in commercial dairy herds. *J. Dairy Sci.* 82, 295-304.
- Heuer, C., W. M. van Straalen, Y. H. Schukken, A. Dirkzwager and J. P. T. M. Noordhuizen. 2000. Prediction of energy balance in a high yielding dairy herd in early lactation: model development and precision. *Livest. Prod. Sci.* 65, 91-105.
- Jilg, T., T. Engelhard, C. Koch und M. Pries. 2018. Untersuchungen zur Milchkharnstoffbestimmung mit MIR-Spektroskopie im Vergleich zu Referenzverfahren. *VDLUFA-Schriftenreihe Band 75*, VDLUFA-Verlag, Darmstadt, 264-269.
- Kirchgeßner, M., D. A. Roth-Maier und M. Kreuzer. 1986. Milk urea and protein content to diagnose energy and protein malnutrition of dairy cows. *Arch. Tierernaehr.* 36, No. 2-3, 192-197.
- Klein, M. S., N. Buttchereit, S. P. Miemczyk, A. K. Immervoll, C. Louis, S. Wiedemann, W. Junge, G. Thaller, P. J. Oefner, and W. Gronwald. 2012. NMR metabolomic analysis of dairy cows reveals milk glycerophosphocholine to

- phosphocholine ratio as prognostic biomarker for agreement of ketosis. *J. Proteome Res.*, 1373-1381.
- Knaus, W. 2009. Dairy cows trapped between performance demands and adaptability. *J. Sci. Food and Agricult.* 89, 1107-1114.
- Kohn, R. A., K. F. Kalscheur and E. Russek-Cohen. 2002. Evaluation of models to estimate urinary nitrogen and expected milk urea nitrogen. *J. Dairy Sci.* 85, 227-233.
- Kruif, A. de, R. Mansfeld und M. Hoedemaker. 2007. Tierärztliche Bestandsbetreuung beim Milchrind: 96 Tabellen. 2., vollständig überarbeitete und erweiterte Auflage. Enke Verlag, Stuttgart.
- LKV NRW (Landeskontrollverband Nordrhein-Westfalen e.V.). 2018. MLP-Monatsbericht Prüfungstag: 05.09.2018.
- LKV SH (Landeskontrollverband Schleswig-Holstein e.V.). 2019. Beispielergebnisse Monatlicher Rückbericht. <https://www.lkv-sh.de/mlp/mlp-ergebnisse-mlp/jahresabschluss>, eingesehen am 27.02.2019.
- Lebzien, P., A. Riemeier and G. Flachowsky. 2006. Investigations on the effect of the ruminal N-balance on rumen metabolism, urea content in blood serum and milk as well as some liver parameters of lactating cows. *Arch. Anim. Nutr.* 60, 99-109.
- Lindenbeck, M. 2016. Untersuchungen zur Eignung des Laktosegehalts der Milch für das Leistungs- und Gesundheitsmonitoring bei laktierenden Milchkühen. Dissertation. Humboldt-Universität, Berlin.
- Manzenreiter, H. 2012. Milchinhaltsstoffe als Indikatoren zur Erkennung von Ketose. Masterarbeit, Universität für Bodenkultur, Wien.
- Nordlund, K. V. and N. B. Cook. 2004. Using herd records to monitor transition cow survival, productivity, and health. *Vet. Clin. Food Anim.* 20, 627-649.
- Pfeffer, E., A. Holthausen, H. Griese, M. Hovenjürgen, S. Kehraus, U. Boeser und M. Loeff. 2010. Untersuchungen an Mastfärsen über Stickstoff-Ausscheidungen bei Fütterung von Mischrationen mit unterschiedlichen Gehalten an Rohprotein. *Züchtungskunde* 82, 144-154.
- Piatkowski, B., J. Voigt und H. Girschewski. 1981. Einfluss des Rohproteinniveaus auf die Fruchtbarkeit und den Harnstoffgehalt in Körperflüssigkeiten bei Hochleistungskühen, *Arch. Tierernaehr.* 31, 497-504.

- Pries, M., S. Hoppe, K.-H. Südekum, M. Baum und M. Bruinenberg. 2018. Einfluss einer proteinreduzierten Fütterung hochleistender Milchkühe auf Leistungsparameter und Stickstoffausscheidungen. VDLUFA-Schriftenreihe Band 75, VDLUFA-Verlag, Darmstadt, 325-333.
- Rajala-Schultz, P. J., W. J. A. Saville, G. S. Frazer and T. E. Wittum. 2001. Association between milk urea nitrogen and fertility in Ohio dairy cows. *J. Dairy Sci.* 84, 482-489.
- Reist, M., D. Erdin, D. von Euw, K. Tschuemperlin, H. Leuenberger, Y. Chilliard, H. M. Hammon, C. Morel, C. Philipona, Y. Zbinden, N. Kuenzi and J. W. Blum. 2002. Estimation of energy balance at the individual and herd level using blood and milk traits in high-yielding dairy cows. *J. Dairy Sci.* 85, 3314-3327.
- Richardt, W., H. Jeroch und J. Spilke. 2001a. Fütterungs- und nicht fütterungsbedingte Einflüsse auf den Milhharnstoffgehalt von Milchkühen. 1. Mitteilung: Fütterungsbedingte Einflussfaktoren auf den Milhharnstoffgehalt von Milchkühen. *Arch. Tierz., Dummerstorf* 44, 251-262.
- Richardt, W., H. Jeroch und J. Spilke. 2001b. Fütterungs- und nicht fütterungsbedingte Einflüsse auf den Milhharnstoffgehalt von Milchkühen. 2. Mitteilung: Nicht fütterungsbedingte Einflussfaktoren auf den Milhharnstoffgehalt von Milchkühen. *Arch. Tierz., Dummerstorf* 44, 505-519.
- Richardt, W., H. Jeroch und J. Spilke. 2002. Fütterungs- und nicht fütterungsbedingte Einflüsse auf den Milhharnstoffgehalt von Milchkühen. 3. Mitteilung: Vorschlag für ein dynamisches Modell zur Einschätzung der Rohproteinversorgung an Hand des Milhharnstoffgehaltes. *Arch. Tierz., Dummerstorf* 45, 151-157.
- Rook, J. A. F. 1979. The role of carbohydrate metabolism in the regulation of milk production. *Proc. Nutr. Soc.* 38, 309-314.
- Seggewiß, S. 2004. Überprüfung der Bedeutung von Milchinhaltsstoffen für die Beurteilung der Energie-, Protein- und Strukturversorgung von HF-Kühen. Aus der Klinik für Rinder der Tierärztlichen Hochschule Hannover und dem Institut für Tierernährung der Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft in Braunschweig. Dissertation. Tierärztliche Hochschule, Hannover.
- Siebert, F. und J. Pallauf. 2010. Analyse von Ergebnissen der Milchleistungsprüfung in Hessen im Hinblick auf ein Ketoserisiko. *Züchtungskunde* 82, 112-122.

- Spiekers, H., H. Nussbaum und V. Potthast. 2009. Erfolgreiche Milchviehfütterung, 5. erweiterte u. aktualisierte Auflage. DLG-Verlags-GmbH, Frankfurt a. M.
- Spoehr, M. und H. U. Wiesner. 1991. Kontrolle der Herdengesundheit und Milchproduktion mit Hilfe der erweiterten Milchleistungsprüfung. *Milchpraxis* 29, 231-236.
- Steen, A., Østerås, O. and H. Grønstøl. 1996. Evaluation of additional acetone and urea analyses, and of the Fat-Lactose-Quotient in cow milk samples in the herd recording system in Norway. *J. Vet. Med. A* 43, 181-191.
- Steinwigger, A., T. Guggenberger, J. Gasteiner, L. Podstatzky, L. Gruber, J. Häusler, M. Gallnböck und A. Schauer. 2009. Einfluss der Proteinversorgung auf Futtermittelaufnahme, Milchleistung, Pansen- und Blutparameter sowie N-Ausscheidung von Milchkühen. *Züchtungskunde* 81, 106-124.
- Theilgaard, P., N. C. Friggens, K. H. Sloth and K. L. Ingvarsen. 2002. The effect of breed, parity and body fatness on the lipolytic response of dairy cows. *Anim. Sci.* 75, 209-219.
- Toni, F., L. Vincenti, L. Grigoletto, A. Ricci and Y. H. Schukken. 2011. Early lactation ratio of fat and protein percentage in milk is associated with health, milk production, and survival. *J. Dairy Sci.* 94, 1772-1783.
- Tremblay, M., M. Kammer, H. Lange, S. Plattner, C. Baumgartner, J. A. Stegeman, J. Duda, R. Mansfeld, and D. Döpfer. 2018. Identifying poor metabolic adaptation during early lactation in dairy cows using cluster analysis. *J. Dairy Sci.* 101, 7311-7321.
- Weninger, A. und O. Distl. 1994. Harnstoff und Acetongehalt in der Milch als Indikatoren für ernährungsbedingte Fruchtbarkeitsstörungen der Milchkuh. *Dtsch. Tierärztl. Wschr.* 101, 152-157.
- Woolpert, M. E., H. M. Dann, K. W. Cotanch, C. Melilli, L. E. Chase, R. J. Grant and D. M. Barbano. 2016. Management, nutrition, and lactation performance are related to bulk tank milk de novo fatty acid concentration on northeastern US dairy farms. *J. Dairy Sci.* 99, 8486-8479.
- Zebeli, Q, J. Dijkstra, M. Tafaj, H. Steingass, B. N. Ametaj and W. Drochner. 2008. Modeling the adequacy of dietary fiber in Dairy cows based on the responses of ruminal pH and milk fat production to composition of the diet. *J. Dairy Sci.* 91, 2046-2066.



## **4 Relationship between milk constituents from milk recording to health data, energy and nutrient intake and metabolic parameters from blood and urine of dairy cows**

J. Glatz-Hoppe<sup>1,2</sup>, A. Boldt<sup>1</sup>, H. Spiekens<sup>3</sup>, E. Mohr<sup>2</sup> and B. Losand<sup>1</sup>

*<sup>1</sup>Institute of Livestock Farming, Mecklenburg-Vorpommern Research Centre for Agriculture and Fisheries, 18196 Dummerstorf, Germany*

*<sup>2</sup>Department of Animal health and welfare, Faculty of Agricultural and Environmental Sciences, University of Rostock, 18059 Rostock, Germany*

*<sup>3</sup>Institute of Animal Nutrition and Feed Management, Bavarian State Research Center of Agriculture, 85586 Poing-Grub, Germany*

for publication in

Journal of Dairy Science, submitted November 29<sup>th</sup>, 2019

## *Interpretive Summary*

### **Relationship between milk recording data to welfare and feeding data of dairy cows**

Data from standard milk recording are available for most dairy farms several times per year and can be used cost-efficiently for herd management support and feeding control. Established threshold values for characterization of energy supply do often not agree with other animal related observations in recent times. Additionally, with regard to environmental effects, an overflow with feed protein should be prevented. A new evaluation tool has now been validated using two different data sets and is available for use on-farm.

### **Abstract**

The aim of this work was to validate a new evaluation scheme for assessing the supply situation of dairy cows on the basis of milk constituents, which was derived from 7.37 million data sets of standard milk recording. For this purpose two different data sets with fertility and health information (Dataset A) as well as measured energy and nutrient intake, and metabolic characteristics (Dataset B) were analyzed: Dataset A: 32 commercial dairy farms, Northeast of Germany, 72,982 data sets of 43,863 German Holstein cows; Dataset B: twelve German experimental farms, 49,275 data sets of 1,650 German Holstein, Simmental and Brown Swiss cows. Milk traits were linked to health disorders, metabolic and feeding characteristics. Furthermore, frequently used limits of milk constituents were compared to the validity of the new “Dummerstorf Feeding Evaluation”. In order to distinguish an optimal from a deficient energy supply, a milk protein content of  $\geq 3.20\%$  (old scheme) and a milk fat:protein ratio (FPR) of  $\leq 1.4$  (new scheme) were chosen and compared with energy intake in relation to demand. By FPR energy balance was estimated much better than by milk protein percentage. The lowered new optimum range for milk urea between 150 mg/L and 250 mg/L was better suited to dietary crude protein intake in relation to demand and to the ruminal nitrogen balance than the previously used limit of milk urea of 150 mg/L to 300 mg/L. Ketosis or blood values associated with ketosis such as BHB  $> 1.2$  mmol/L or nonesterified fatty acids  $> 1,000$   $\mu\text{mol/L}$  as well as strong mobilization of body weight  $\geq 1.5$  kg/d, loss of back fat thickness  $\geq 10$  mm and loss of BCS  $\geq 1$  point in

first 60 DIM were compared to different milk trait thresholds. Values compared were  $FPR > 1.4$  in combination with underruns of an individual statistical lower limit of milk protein ( $P_{\min}$ ) and overruns of an individual statistical upper limit of milk fat ( $F_{\max}$ ) for the new scheme and  $FPR > 1.5$  as often used threshold. There was a better accordance of the new assessment scheme for these parameters, too. Energy oversupply or a risk of obesity as well as subacute ruminal acidosis could not be identified just with milk constituents. Observing test day data continuously in combination with other established tools for feeding and animal control are essential requirements for a good herd management. Aim of further studies should be the more accurate detection of cows and groups of cows with health risks.

**Key words:** milk urea, fat:protein ratio, energy balance, protein balance, optiKuh

## Introduction

Data from milk recording have been used for many decades to characterize the welfare and supply situation of dairy cows. It is widely used because milk recording is a standardized process, taking a milk sample is relatively easy and analysis is quite inexpensive due to mid-infrared technology. With the help of milk quantity and milk constituents like milk fat, protein and urea content, the supply of feed energy and crude protein can be estimated on a herd or group level (Kirchgeßner et al., 1986; Spohr and Wiesner, 1991; Reist et al., 2002). The aim here is to obtain early indications of an excessive negative energy balance and to react accordingly with feeding and management measures. Besides, oversupply of energy in connection with obesity in dairy cows should be avoided (Morrow, 1976; Edmonson et al., 1989). Apart from energy requirements in terms of efficiency, economy and environmental protection, the feed protein demand must also be covered and undernourishment or oversupply should be avoided (Rajala-Schultz et al., 2001; Steinwiddler et al., 2009; Pfeffer et al., 2010; Pries et al., 2018). Because widely used evaluation schemes based on milk protein and milk urea content date back to the early 1990s and because milk yield has increased enormously in recent decades, further development is urgently required (Martens, 2015; Glatz-Hoppe and Losand, 2019). Therefore 7.37 million records from standard milk recording collected in the year 2015 from all states of Germany allowed to match fifteen different dairy and dual-purpose breeds and furthermore to investigate interrelations between milk quantity and composition. Glatz-Hoppe et al. (2019a; 2019b) found

that rigid limit values of milk fat percentage (**F**) or milk protein percentage (**P**) are not suitable for assessing the supply situation without taking breed and milk quantity into account. Because **F** and fat:protein ratio (**FPR**) of German Jersey and Angler cows are different to all other investigated breeds ( $p < 0.001$ ) they should consequently be assessed using separate evaluation schemes. While **F** and **P** are subject to a dilution effect as the milk quantity increases, the **FPR** is almost independent of milk quantity and is therefore a better indicator of energy balance (Glatz-Hoppe and Losand, 2019; Glatz-Hoppe et al., 2019b), which is also used by other authors in this sense (Heuer et al., 2000; Reist et al., 2002; Tremblay et al., 2018). With the root mean square error of the linear regression of **P** or **F** to the daily milk quantity and the mean of **P** or **F** of a population, a statistical normal range of **P** or **F** can be defined (Glatz-Hoppe et al., 2019b). Overruns or underruns of the normal range could provide additional information on the energy supply situation. Milk urea content (**MU**) is the milk trait that can give information about the dietary protein supply and the ruminal nitrogen balance (**RNB**). It is mainly dependent on the crude protein quantity and quality, but also on the microbial protein synthesis and thus on the energy supply of the rumen microbes (Kirchgeßner et al., 1986; Richardt et al., 2001a, 2002; Lebzien et al., 2006). Based on **MU**, **FPR** and statistical normal range of **P** a new “Dummerstorf Feeding Evaluation” had been recommended for use on-farm (Glatz-Hoppe et al., 2019b). This tool was developed using milk recording data. To confirm the results, a comparison with other physiological data is mandatory. Health and fertility data, measured feed intake, calculated energy and protein intake as well as blood and urine values appear suitable for this purpose. These elements could be used on the basis of two large data sets of different origin. Today it is particularly important to have a simple but meaningful evaluation scheme that supports herd management cost-effective and assesses animal welfare and environmental aspects. The aim of this study was to validate the new “Dummerstorf Feeding Evaluation”, which is using milk recording data already available on most farms.

## Materials and Methods

### *Dataset A*

#### **Data Collection**

Data from German Holstein cows of the RinderAllianz GmbH test herd project are available for this study. Against the background of using farm records on animal health as a valuable source of information to improve animal health management as well as for breeding value assessment, an extended and careful documentation of fertility and health disorders was started in 2005 on commercial dairy farms in Mecklenburg-Vorpommern in the Northeast of Germany. In addition to diagnoses according to the Central Key for Health Data Recording for Cattle of the International Committee for Animal Recording (ICAR, 2019), the records also contain data of standard milk recording. Milk testing was performed at the Milk Recording and Cattle Breeding Association e. G. in Güstrow, Germany. This study included data of cows calved between 2014 and 2018. The data set was compiled in such a way that the first five milk recordings of lactation are carried out consecutively for all cows contained. Information on diagnosis and day of veterinarian treatment for the following animal health disorders were added: acidosis, ketosis, retained placenta, hypocalcemia, endometritis, ovarian infertility. The data also include the interval from calving to first insemination in days (days to first service = **DFS**), the interval from first insemination to successful insemination in days (delay period = **DP**) and the number of artificial inseminations per pregnancy (**AIPP**).

#### **Data Editing and Calculations**

A revision for unlikely milk quantities as well as milk fat and milk protein percentages was carried out in accordance with ADR directive 1.4 and its annexes (ADR, 2001). The FPR was calculated from F and P for each milk recording. Datasets were excluded if the days in milk (DIM) for the five consecutive milk recordings did not fit into the following grid: 1<sup>st</sup> test day: DIM 6 to 36, 2<sup>nd</sup> test day: DIM 37 to 74, 3<sup>rd</sup> test day: DIM 75 to 111, 4<sup>th</sup> test day: DIM 112 to 149, and 5<sup>th</sup> test day: DIM 150 to 187. For each test day, classes of MU were defined as follows: low =  $MU < 150$  mg/L; optimum =  $MU \geq 150$  to  $\leq 250$  mg/L; high =  $MU > 250$  mg/L. For the FPR, two classes were divided analogously: optimum =  $FPR \leq 1.4$ ; energy deficiency =  $FPR > 1.4$ . Cows were

classified into lactation number classes (LNC): 1<sup>st</sup> lactation, 2<sup>nd</sup> lactation, 3<sup>rd</sup> lactation, 4<sup>th</sup> lactation, and  $\geq 5^{\text{th}}$  lactation. Season was defined for the month of calving as follows: 1 = December, January, February; 2 = March, April, May; 3 = June, July, August; 4 = September, October, November. For each cow and each test day 1 to 5, individual statistical normal upper and lower values for milk fat ( $F_{\max}$  and  $F_{\min}$ ) and milk protein ( $P_{\max}$  and  $P_{\min}$ ) were calculated as a function of milk quantity using the formulae proposed by Glatz-Hoppe et al. (2019b):

$$F_{\max} = (5.06 - 0.033 \times \text{milk yield} [kg / d]) (1 + 0.68 / 4.20)$$

$$F_{\min} = (5.06 - 0.033 \times \text{milk yield} [kg / d]) (1 - 0.68 / 4.20)$$

$$P_{\max} = (4.11 - 0.023 \times \text{milk yield} [kg / d]) (1 + 0.35 / 3.51)$$

$$P_{\min} = (4.11 - 0.023 \times \text{milk yield} [kg / d]) (1 - 0.35 / 3.51)$$

### Statistical Analyses

All analyses were performed using the Statistical Analysis System (SAS) Software 9.4 (SAS Institute Inc., Cary, NC, USA). Least squares means (LSM) for daily milk quantity (kg/d), FPR and MU [mg/L] were calculated according to the presence of a diagnosis (yes/no) using the MIXED procedure (method REML; Tukey-Kramer way), including as fixed effects year of calving, calving season, LNC, DIM and dairy farm of each milk recording. Depending on the FPR class of each milk recording (1-5), probabilities for the occurrence of a diagnosis were calculated taking into account year, season, LNC and farm with the GLIMMIX procedure. In order to verify whether it is possible to detect health disorders via milk traits, sensitivities and specificities were calculated with contingency tables in the SAS procedure FREQ and a chi-square test. For this purpose, all data sets were selected whose milk recording dated within four days until and one day after day of diagnosis and data of the five consecutive milk recordings of cows without diagnosis were added. With the diagnoses compared milk trait threshold values were:

1.  $FPR > 1.4 \ \& \ P < P_{\min}$  and  $FPR > 1.4 \ \& \ F > F_{\max}$
2.  $FPR > 1.5$

For fertility indices DFS, DP and AIPP, depending on the MU classes of test days 1 to 5 LSM were calculated with the procedure MIXED (method REML; Tukey-Kramer

way) using year of calving, season, LNC, farm as well as DIM, milk quantity, fat, protein, lactose and MU content and FPR from first to fifth milk recording as fixed effects.

## ***Dataset B***

### **Data Collection**

In the years 2014 to 2017, animal individual data on feeding and metabolism were collected at twelve experimental sites in Germany in accordance with agreed specifications of the optiKuh joint project (Spiekers, 2018; Spiekers et al., 2018). Each experimental farm sent their data to TiDa Tier und Daten GmbH (Westensee-Brunx, Germany), where they were uniformly processed and merged into a central research database. On eight farms the data based on cows of the breed German Holstein, on three farms German Simmental cows were included and on one farm German Brown Swiss, Holstein and Simmental. All cows were kept in cubicle barns with an animal to cubicle ratio of at least 1 to 1 and an animal to weighing trough ratio of max. 2 to 1. They were fed ad libitum either with partial mixed rations and individual concentrates feed distribution via a concentrates feeding station or with total mixed rations. Energy and nutrient supply were based on specifications of the GfE (2001). Chemical analyses of all ration components were performed according to the specifications of the VDLUFA (2012). Dry matter content of each ration was determined daily and corrected for volatile substances lost on oven drying according to Weissbach and Kuhla (1995). Daily DMI was calculated individually for each animal from the automatically recorded weighing trough feed intake of the mixed ration, the corrected DM content and, if necessary, the observed concentrates feed intake at the concentrates feeding station. Daily nutrient and energy intake were calculated for each animal on the basis of feed mixing protocols, feed analyses and DMI. All rations were mainly based on the roughage components grass silage, maize silage and straw or hay. They can be regarded as typical for commercial dairy farms in Germany.

Milk quantity was measured automatically during milking in the milking parlor twice or rather three times per day. Body weight was recorded automatically in the return drift after milking. Milk samples were taken weekly from each cow during all milkings within 24 hours to determine F, P, lactose and MU content by mid-infrared spectroscopy in official milk recording laboratories. From one farm MU was analyzed

according to the DLQ reference method (DLQ, 2013). Body condition score (BCS) according to Edmonson et al. (1989) and back fat measured by ultrasound as described by Staufenbiel (1992) were determined monthly. Blood samples were taken from the jugular vein after morning milking on d 8, d 28 and d 100 postpartum. Urine samples were collected by manual stimulation on d 28 and d 100 relative to calving. All samples were prepared, stored and dispatched according to a uniform procedure (Schmitz et al., 2018a). Blood and urine samples were analyzed in the laboratories of the University of Veterinary Medicine Hanover and the University of Bonn in the Institute of Animal Sciences (Urh et al., 2018). In blood samples, among other things, the BHB, nonesterified fatty acids (NEFA), and calcium levels were analyzed. In urine, the net acid-base excretion (NABE) was determined.

### Data Editing and Calculations

For data analyses, daily mean values per calendar week were generated from the daily available data such as milk quantity, BW, DMI as well as energy and nutrient intake. A combined value for identification was created from year and calendar week (KW). Records with missing milk recording information like F, P or MU, with DMI less than 4.39 kg/d or greater than 38.09 kg/d (mean  $\pm$  4 standard deviations) and DIM < 6 and > 320 were excluded. In order to make changes in BCS, back fat and BW comparable between different cows and farms, they were calculated per day because the interval between data collections was not identical in all cases.

Calculations of a) energy balance (EB) and b) protein balance (PB) were based on the following equations of the GfE (2001):

a)

$$EB[MJ NE_L / d] = \text{energy consumption} [MJ NE_L / d] - \text{energy demand} [MJ NE_L / d];$$

$$\text{Energy consumption} [MJ NE_L / d] =$$

$$\text{feed energy concentration} [MJ NE_L / kg DM] \times \text{DMI} [kg / d];$$

Energy demand = demand for maintenance + demand for milk production including surcharge for increased nutritional level + demand during pregnancy + demand for maternal growth of heifers;

$$\text{Demand for maintenance} [MJ NE_L / d] = 0.293 \times BW^{0.75};$$

$$\text{Demand for milk production} [MJ NE_L / d] = 0.38 \times F[\%] + 0.21 \times P[\%] + 0.95 + 0.1;$$



Demand during pregnancy [ $MJ NE_L / d$ ] =  $(0.044 \times e^{0.0162 \times t} + \text{udder development}) / 0.29$

where  $t$  = days after conception; udder development: week 8 to 7 antepartum =  $0.8MJ / d$ ;

Demand for maternal growth of heifers [ $MJ NE_L / d$ ] =  $\frac{\text{BW after calving} [kg] \times 0.15}{380 \times 20MJ NE_L}$

Assumption: 15 % growth in first lactation, 380 days between first and second calving, only valid for the entire lactation period due to linear calculation.

b)

The protein balance is expressed as the difference between protein intake per day and the daily protein requirement, whereby the requirement of crude protein utilizable at the duodenum (**uCP**) is calculated (GfE, 2001). To estimate a real lack of protein across extreme changes in the ruminal nitrogen balance, the uCP requirement was set equal to crude protein (CP) requirement. For the calculation of the balance, the intake of CP [g/d] or uCP [g/d] was used and expressed as PB CP [g/d] and PB uCP [g/d].

Protein consumption CP [ $g / d$ ] =  $CP [g / kg DM] \times DMI [kg / d]$  and

Protein consumption uCP [ $g / d$ ] =  $uCP [g / kg DM] \times DMI [kg / d]$  respectively;

uCP requirement [ $g / d$ ] = (demand for maintenance + demand for milk synthesis + adsorption in uterus + demand for maternal growth of heifers)  $\times 2.1$ ;

Protein demand for maintenance [ $g / d$ ] =  $(UN_e + FN_e + VN) \times 6.25$

where  $UN_e = 5.9206 \times \log BW [kg] - 6.76$

$FN_e = 2.19 \times DMI [kg / d]$

$VN = 0.018 \times BW [kg / d]^{0.75}$

$UN_e$ : endogenous nitrogen from urine;  $FN_e$ : endogenous nitrogen from feces;  $VN$ : loss of nitrogen via skin and hair;

Protein demand for milk synthesis [ $g / d$ ] =  $\text{milk yield} [kg / d] \times P [\%] \times 10$ ;

Adsorption in uterus [ $g / d$ ] =  $(0.1645 \times e^{0.0179 \times t}) \times 6.25$  where  $t$  = days after conception;

Protein demand for maternal growth of heifers [ $g / d$ ] =  $\frac{\text{BW after calving} [kg] \times 0.15}{380 \times 138 g \text{ Protein}}$

Assumption: 15 % growth in first lactation, 380 days between first and second calving, only valid for the entire lactation period due to linear calculation.

RNB was calculated as described at DLG (1997) and GfE (2001):

$$\text{RNB}[g/d] = \frac{\text{CP}[g/d] - \text{uCP}[g/d]}{6.25}$$

For each data line, individual statistical normal upper and lower values for milk fat ( $F_{\max}$  and  $F_{\min}$ ) and milk protein ( $P_{\max}$  and  $P_{\min}$ ) were calculated as described at Glatz-Hoppe et al. (2019b) using the formulae already mentioned in Materials and Methods of Dataset A.

### Statistical Analyses

As for Dataset A, all analyses were performed using the SAS Software 9.4. Pearson correlation coefficients were calculated to describe the degree of linear interrelations of different feeding and metabolic characteristics with milk recording data. The correlation calculations for BCS, back fat and BW included the individual decreases within the first 60 DIM. FPR and MU were divided into classes in order to display dimensions of relevant milk distant values in relation to milk constituents: FPR classes from  $\leq 0.8$  to  $> 1.6$  in steps of 0.1 and MU classes from  $\leq 99$  mg/L to  $\geq 300$  mg/L in steps of 50 mg/L. Using a linear mixed model (SAS procedure MIXED, method REML) LSM were estimated using Tukey-Kramer way. As fixed effects the farm, the KW as well as the FPR or MU class were included respectively.

In order to verify to what extent the statements of milk constituents agree with established gold standards regarding the metabolic situation of dairy cows, sensitivities and specificities were calculated with contingency tables in the SAS procedure FREQ and a chi-square test. The value ranges for milk constituents of the old 9-field table according to Spohr and Wiesner (1991) and the new feeding evaluation according to Glatz-Hoppe et al. (2019b) were compared with feed energy and dietary protein intake in relation to requirement. In order to achieve the highest possible comparability between old and new system, the data were divided into nine categories (Figure 4-1). The parameters and value ranges selected for classification are shown in Table 4-1. Furthermore, the following established values were used to classify the data into the classes poor metabolic situation and good metabolic situation in order to detect metabolic

<b>1</b> Energy supply + Crude Protein supply –	<b>2</b> Energy supply + Crude Protein supply o	<b>3</b> Energy supply + Crude Protein supply +
<b>4</b> Energy supply o Crude Protein supply –	<b>5</b> Energy supply o Crude Protein supply o	<b>6</b> Energy supply o Crude Protein supply +
<b>7</b> Energy supply – Crude Protein supply –	<b>8</b> Energy supply – Crude Protein supply o	<b>9</b> Energy supply – Crude Protein supply +

**Figure 4-1.** 9-field table for data classification into nine categories for feed energy and feed crude protein supply of dairy cows. + = oversupply; o = optimal supply; – = underfeeding.

**Table 4-1.** Parameters and ranges of values selected for classification of the supply situation of dairy cows according to old and new scheme and as a reference the intake of feed energy and feed crude protein relative to requirement to match the validity

Supply evaluation	Old scheme	New scheme	Reference intake/requirement
Feed crude protein (Ruminal nitrogen balance (RNB))	Milk urea [mg/L]	Milk Urea [mg/L]	g CP/d
–	< 150	< 150	< 90 %
o	≥ 150 to ≤ 300	≥ 150 to ≤ 250	≥ 90 % to ≤ 110 %
+	> 300	> 250	> 110 %
Feed energy	P <sup>1</sup> [%]	FPR <sup>2</sup> ; P [%]	MJ NE <sub>L</sub> /d
–	< 3.2	> 1.4	< 90 %
o	≥ 3.2 to ≤ 3.8	≤ 1.4 & P ≤ P <sub>max</sub> <sup>3</sup>	≥ 90 % to ≤ 110 %
+	> 3.8	≤ 1.4 & P > P <sub>max</sub>	> 110 %

+ = oversupply; o = optimal supply; – = underfeeding

<sup>1</sup> Milk protein

<sup>2</sup> Milk fat:protein ratio

<sup>3</sup> individual statistical upper limit of milk protein as a function of milk quantity

disorders associated with feeding mistakes such as hyperketonemia, and rumen disorders like subacute ruminal acidosis (SARA):

Ketosis or strong fat mobilization from adipose tissue respectively:

Blood BHB	> 1.2 mmol/L
Blood NEFA	> 1,000 μmol/L
Loss of body weight	≥ 1.5 kg/d
Loss of back fat	≥ 0.167 mm/d equivalent to 10 mm in 60 d
Loss of BCS	≥ 0.0167 points/d equivalent to 1 point in 60 d

## Compared milk trait limits

1.  $FPR > 1.4 \ \& \ P < P_{\min}$  and  $FPR > 1.4 \ \& \ F > F_{\max}$
2.  $FPR > 1.5$

## SARA:

- Urine NABE  $< 83$  mmol/L  
 Blood Calcium  $> 2.54$  mmol/L

## Compared milk trait limits

1.  $F < F_{\min}$
2.  $FPR < 1.0$
3.  $F < 3.00$  %

The visualization of EB [MJ NE<sub>L</sub>/d] lactation curves over all data and for data sorted by milk protein content  $> 3.80$  % as well as  $> P_{\max}$  was performed with the regression model according to Ali and Schaeffer (1987). The regression coefficients were estimated using the MIXED procedure in SAS, taking into account the farm effect.

## Results and Discussion

### *Dataset A*

**Table 4-2.** Descriptive statistics of selected variables in Dataset A originating from 32 German dairy farms and 43,863 dairy cows that calved between 2014 and 2018

Variable	$\bar{x}$	SD	Min	Max
Milk yield, kg/d	34.1	10.2	2.0	80.8
Milk fat, %	3.92	0.64	1.62	9.78
Milk protein, %	3.29	0.29	2.13	5.64
Milk fat:protein ratio	1.20	0.18	0.38	2.68
Milk urea, mg/L	216	46	2	672
Lactose, %	4.83	0.16	2.56	5.44
Days to first service, <sup>1</sup> d	76.5	27.8	21.0	400.0
Delay period, <sup>2</sup> d	52.8	67.2	0.0	669.0
AIPP <sup>3</sup>	2.4	1.7	1.0	17.0

<sup>1</sup>Interval from calving to first insemination in days

<sup>2</sup>Interval from first insemination to successful insemination in days

<sup>3</sup>Number of inseminations per pregnancy

After data editing 72,982 data sets of 43,863 dairy cows from thirty-two dairy farms from the German Northeast with a mean lactation number of 2.44 (range: 1 – 12) between day 6 and 187 postpartum ( $\bar{x} = 67$ ; standard deviation (SD) = 36) were ready for analysis. Some cows are represented in the data with more than one lactation. Descriptive statistics (Mean, SD, Minimum, Maximum) for selected characteristic values are shown in Table 4-2, average milk yield over all farms was 34.1 kg/d (SD 10.2). Table 4-3 provides an overview of the frequency and day of diagnosis. The two metabolic groups most likely to be associated with milk constituents, acidosis and ketosis, had a relatively low frequency of 0.33 % and 4.14 % in this data set, respectively, and accumulated very early in lactation (Median: DIM 11.5 and 7). Endometritis and ovarian infertility, however, occurred in 22.77 % and 31.54 % of cows respectively once or several times in the particular lactation.

**Table 4-3.** *Frequency and day of diagnosis of all 72,982 data records*

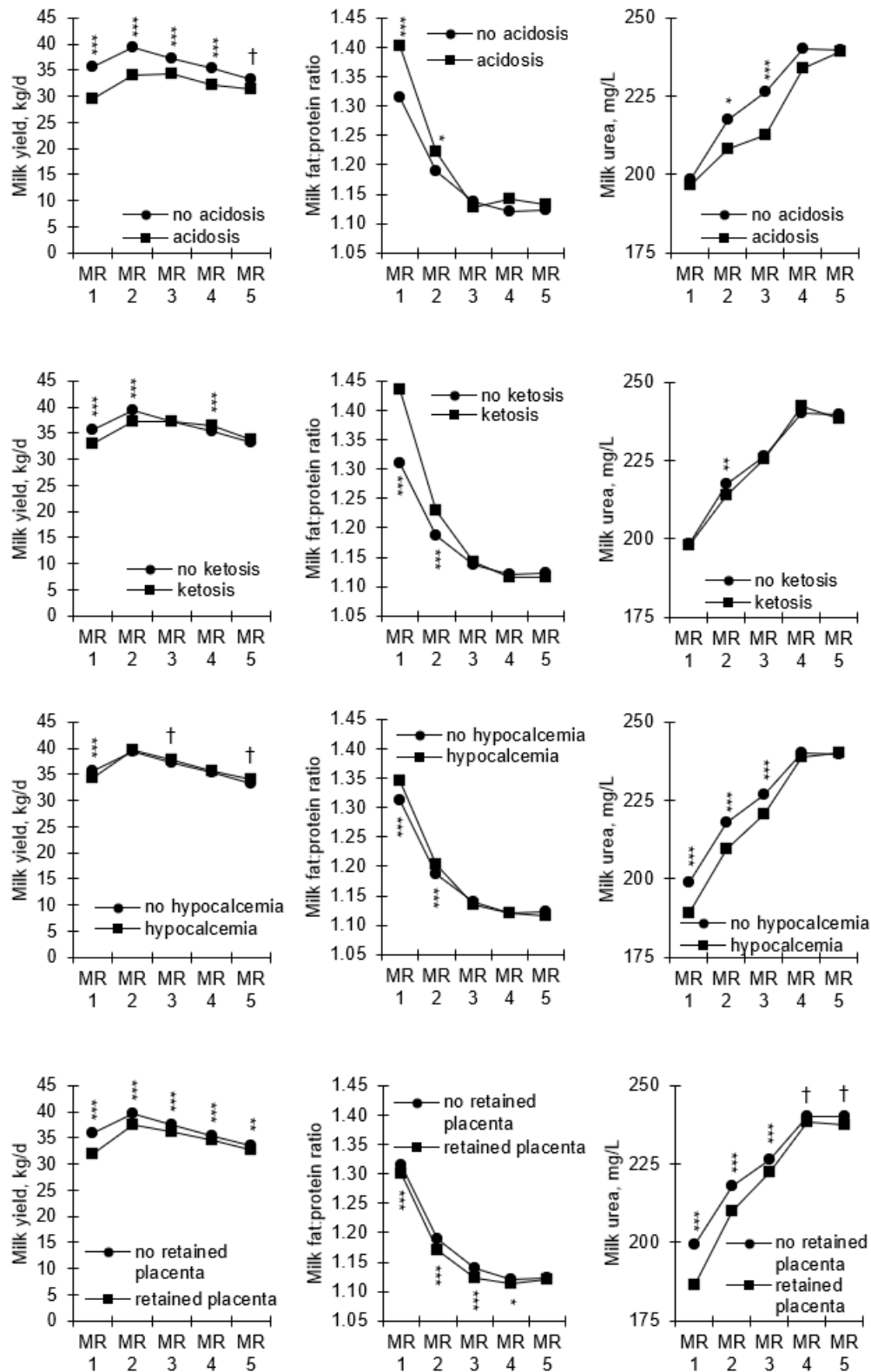
Diagnosis	n	% of datasets	median day of diagnosis <sup>1</sup>
Acidosis	240	0.33	11.5
Hypocalcemia	2,853	3.91	1.0
Ketosis	3,019	4.14	7.0
Retained placenta	5,767	7.90	2.0
Endometritis	15,161	22.77	22.0
Ovarian infertility	23,019	31.54	76.0

n = number of observations

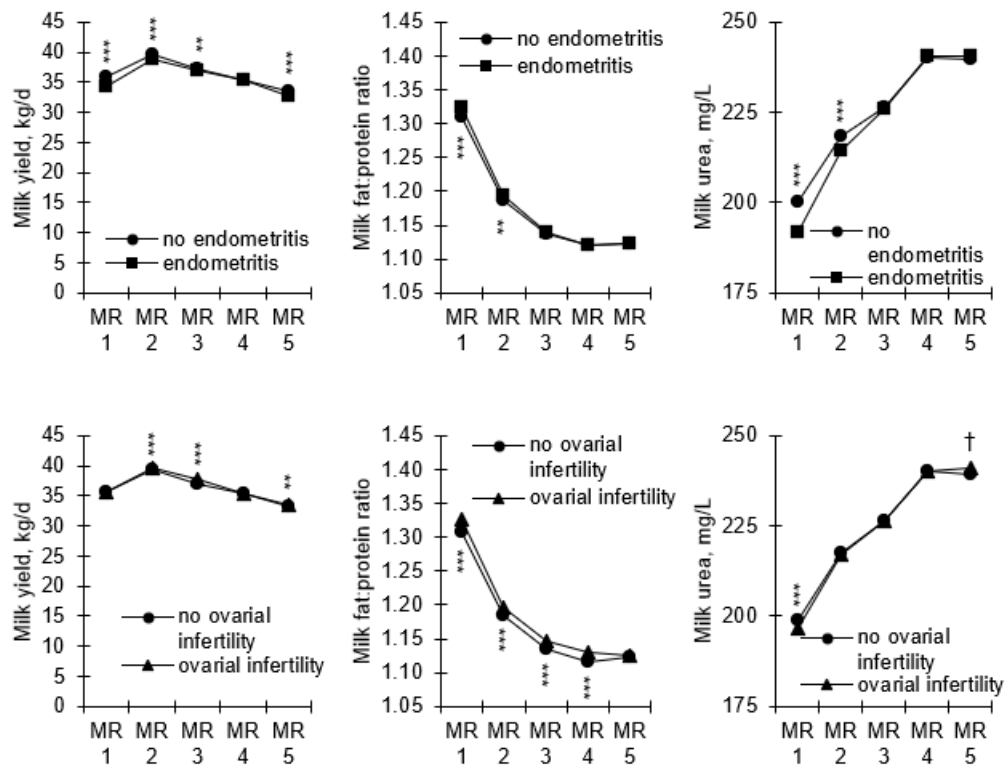
<sup>1</sup>postpartum

### **Milk traits in the course of lactation depending on a diagnosis**

Figures 4-2 and 4-3 show LSM of milk quantity, FPR and MU from first to fifth test day for no diagnosis or for one or more diagnosis of health disorders acidosis, hypocalcemia, ketosis, retained placenta, endometritis and ovarian infertility. Cows with an acidosis diagnosis had a lower daily milk yield ( $p < 0.001$  test day 1 - 4;  $p < 0.1$  test day 5), they started with higher FPR and had up to the middle of lactation lower MU values. The diagnosis was made relatively early in lactation, but the effects became apparent much later. Both groups showed from the beginning of lactation up to the 5<sup>th</sup> milk recording increasing MU values. Even if no information on the respective feed basis or feed intake was available for the current data, it could be assumed that there was a nearly constant feed basis through lactation and that the lower milk urea



**Figure 4-2.** Milk yield [kg/d], milk fat:protein ratio and milk urea [mg/L] by number of test day from 1<sup>st</sup> to 5<sup>th</sup> depending on incidence of acidosis, ketosis, hypercalcemia, and retained placenta respectively. Data is given as least squares means. Differences between groups are indicated with † ( $p < 0.10$ ), \* ( $p < 0.05$ ), \*\* ( $p < 0.01$ ), and \*\*\* ( $p < 0.001$ ). MR 1: 1<sup>st</sup> milk recording; MR 2: 2<sup>nd</sup> milk recording; MR 3: 3<sup>rd</sup> milk recording; MR4: 4<sup>th</sup> milk recording; MR 5: 5<sup>th</sup> milk recording.



**Figure 4-3.** Milk yield [kg/d], milk fat:protein ratio and milk urea [mg/L] by number of test day up to 5<sup>th</sup> milk recording depending on incidence of endometritis, and ovarian infertility. Data is given as least squares means. Differences between groups are indicated with † ( $p < 0.10$ ), \*\* ( $p < 0.01$ ), and \*\*\* ( $p < 0.001$ ). MR 1: 1<sup>st</sup> milk recording; MR 2: 2<sup>nd</sup> milk recording; MR 3: 3<sup>rd</sup> milk recording; MR4: 4<sup>th</sup> milk recording; MR 5: 5<sup>th</sup> milk recording.

contents at the beginning of lactation were a mirror of low feed intake in relation to demand (Richard et al., 2001b; Glatz-Hoppe et al., 2019a). The lower MU contents of cows with acidosis indicated a crude protein intake below that of cows without diagnosis. In this case this indicated a lower feed intake compared to the other cows rather than a protein-reduced feed mixture. Reduced feed intake may be associated with reduced welfare of the affected cows, however SARA is associated with reduced feed intake (NRC, 2001; Zebeli et al., 2008). The increased FPR, on the other hand, were different than expected, because in many cases a milk fat depression is anticipated with SARA and lowered ruminal pH values (Zebeli et al., 2008.; DLG, 2012; Zebeli et al., 2012). This will be due to the condition that acidosis was diagnosed very early in lactation and that in early lactation part of the energy needed for milk production usually comes from the degradation of adipose tissue (Drackley, 1999; Kessel et al., 2008;

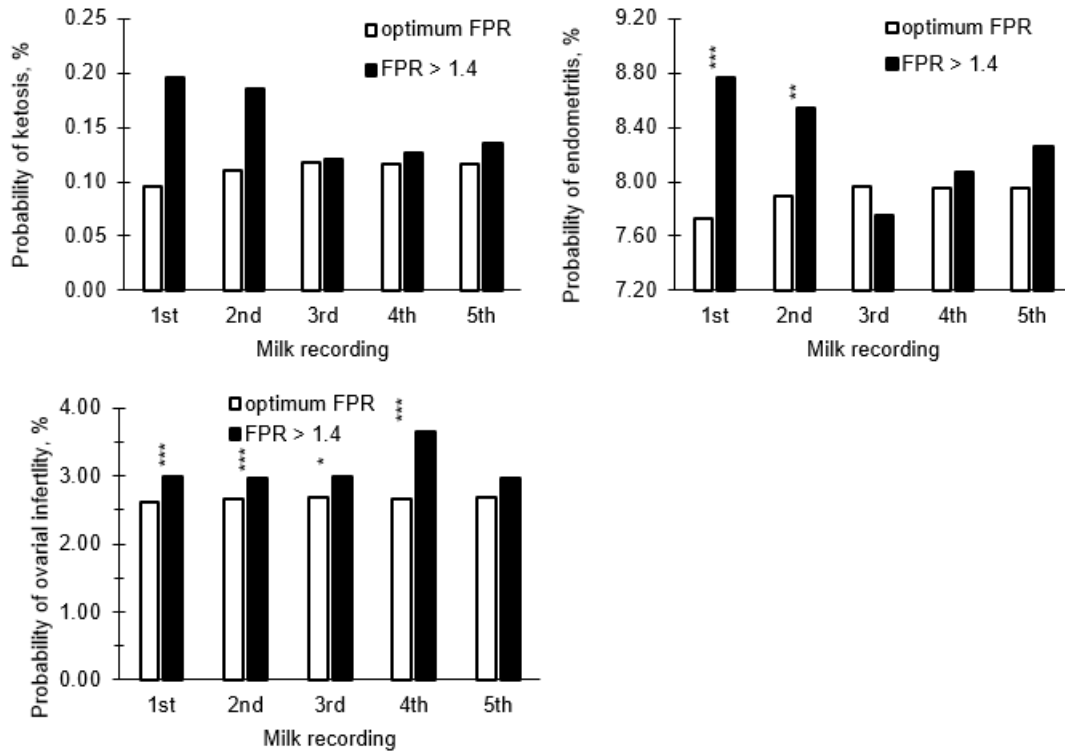
Gross et al., 2011; Toni et al., 2011). Fat decomposition is often reflected by increased milk fat contents. If a disturbing factor such as a disease is added, the feed intake is reduced and thus the energy intake and lipolysis rate increases, as the energy balance is even more negative. The milk fat resulting from adipose tissue degradation could mask a possible milk fat depression syndrome that occurs under certain acidotic conditions in the rumen (Baumann et al., 1971; Baumann and Griinary, 2001). Through the ruminohepatic circulation, cattle are able to compensate a nitrogen deficiency in the rumen at least proportionally with endogenous nitrogen, whereby urea contents in blood and thus also in milk decrease. If there is a lack of energy, not only fat but also muscle tissue is metabolized for energetic use (Tamminga et al., 1997). The nitrogen released by the degradation of endogenous protein also contributes positively to blood and milk urea content. This context shows the importance of the low MU content as an indicator for insufficient feed intake. Supposedly the diagnosis acidosis in this case indicated an acute acidosis and what could be seen from the characteristic values of milk recording were the consequences of a disease. This is probably different from the milk fat depression associated with SARA, which often affects high performing dairy cows at the lactation peak and during high-performance period (NRC, 2001; Zebeli et al., 2012). The ketosis diagnosis was made a little earlier in lactation than the acidosis diagnosis. Cows affected by ketosis started with a lower daily milk yield, but had a better persistence of the lactation curve, so that in the 4<sup>th</sup> milk recording they showed a higher performance than the cows without ketosis diagnosis ( $p < 0.001$ ). As expected, the FPR at the start of lactation were significantly higher than those of cows without ketosis diagnosis ( $p < 0.001$ ), but already on test day 3 the level of the other cows was reached. MU values of the ketose cows were slightly below the level of the other cows and could therefore document a slightly lower feed intake, but these small differences in MU values are almost irrelevant for feeding in practice. Hypocalcemia and retained placenta are mutually related processes and directly related to calving and are therefore prior to the period in which milk recording begins. However, the subsequent consideration of the characteristic values of milk recording still showed effects. At first milk recording cows with hypocalcemia diagnosis had less milk yield ( $p < 0.001$ ), but afterwards the milk yield was on the same or slightly above the level of the other cows that did not have hypocalcemia. At first and second test day FPR of cows with diagnosis hypocalcemia were increased ( $p < 0.001$ ), in the further course there were no differences between the groups. An increased FPR indicates an increased reduction of



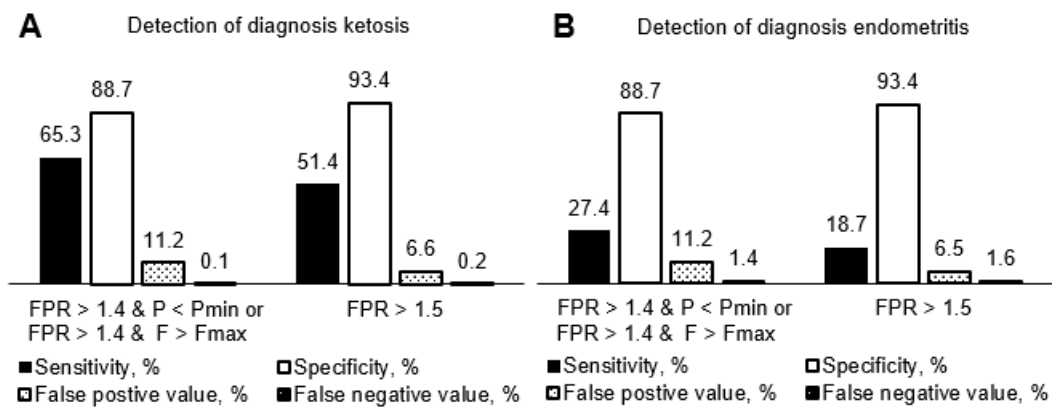
adipose tissue due to a lower energy intake. In line with this, cows with diagnosis hypocalcemia showed lower MU levels in the first three milk recordings ( $p < 0.001$ ) which could be an indicator for lower feed intake in relation to the other cows. Cows with retained placenta had lower daily milk yield than cows that were not affected ( $p < 0.01$ ). Although they showed lower urea levels through first half of lactation, they seemed to mobilize less adipose tissue, as could be seen from the slightly lower FPR in relation to not affected cows. Basically, there seem to be types of cows that react physiologically divergently to a negative energy balance (Klein et al., 2012; Tremblay et al., 2018). Among other things, endometritides are associated with a weak immune system due to a lack of energy or ketosis and could be consequences of retained placenta and hypocalcemia (Whiteford and Sheldon, 2005; Potter et al., 2010). However, the available data showed a different course of the selected milk traits than for animals diagnosed with ketosis, but a distantly related course as for cows with diagnosis retained placenta. Endometritis was diagnosed approximately at d 22 postpartum ( $\bar{x}_{med}$ ), the reduced milk quantity, a slightly increased FPR and lower MU values showed up further into lactation. Especially the first two milk recordings seemed to be affected, the mean DIM of the 1<sup>st</sup> and 2<sup>nd</sup> milk recording was 20 and 52 respectively. Disorders of the ovarian reproductive cycle are also associated with energy deficiency. In this study the affected cows showed a slightly higher milk yield and a slightly increased FPR from test day 1 to 4 in contrast to the non-affected cows, but almost the same MU level. This leads to the conclusion that the affected cows have made possible the slightly higher amount of milk from the body fat reserves, and conversely, they have had a lack of feed energy. On the basis of the six selected diagnoses and milk traits such as milk quantity, FPR, and MU, it could be seen that affected animals showed deviations from healthy cows for a longer period of time during lactation and probably require special treatment and observation. If a treatment of any kind was carried out, almost half of the lactation is still affected by negative consequences of the health disorders.

### **Probabilities for and detection of selected diagnoses in connection with milk traits**

Against this background, even if the development of the diseases is multifactorial, the result of the calculations of probabilities of developing a health disorder depending on the two FPR classes optimum or greater than 1.4 appeared consistent. Computing a



**Figure 4-4.** Probabilities for risk of ketosis, endometritis and ovarian infertility depending on milk fat:protein ratio (FPR) classification at 1<sup>st</sup> to 5<sup>th</sup> milk recording. Differences between optimum FPR class and FPR > 1.4 class within the test days are indicated with \* ( $p < 0.05$ ), \*\* ( $p < 0.01$ ), and \*\*\* ( $p < 0.001$ ).

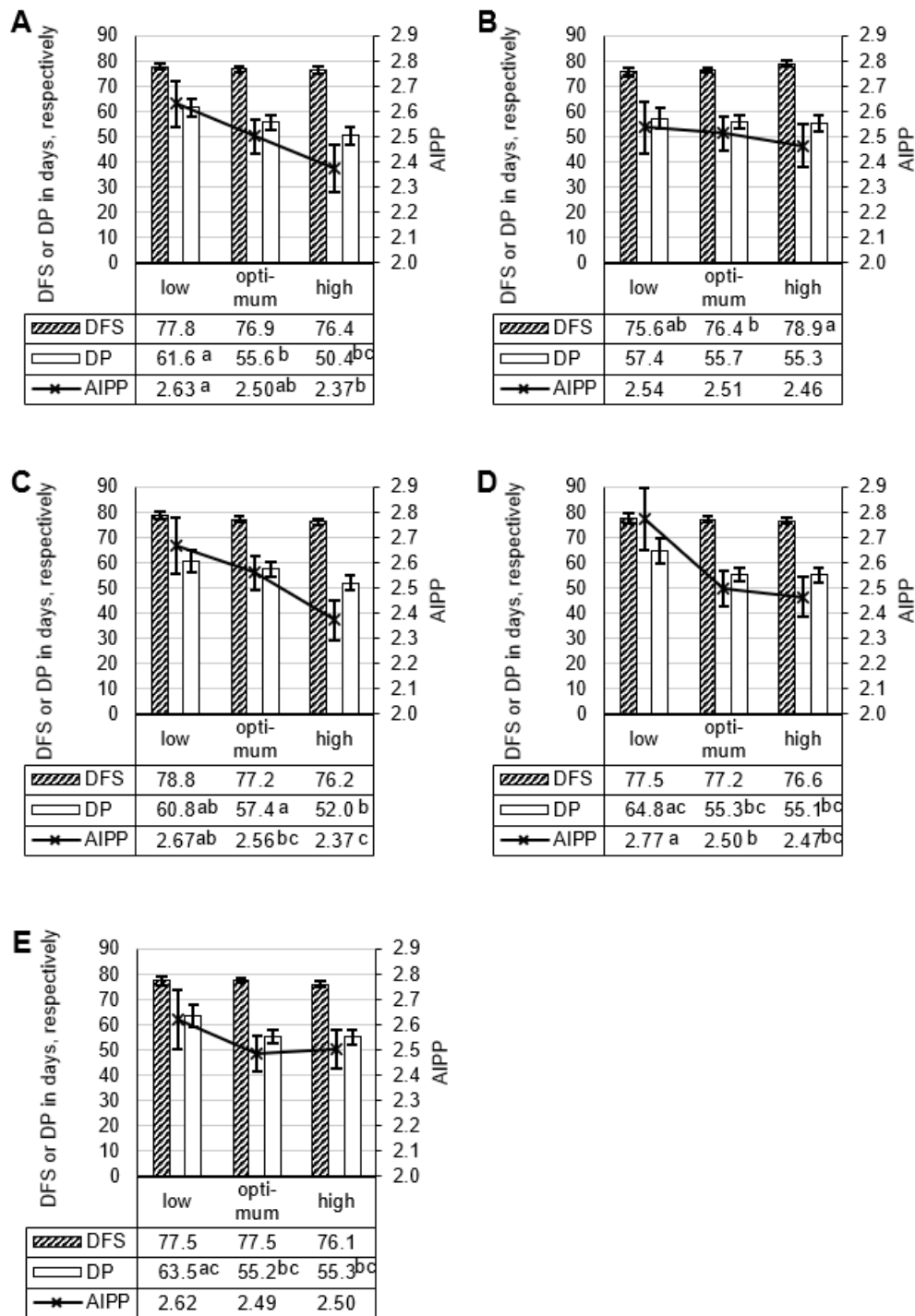


**Figure 4-5.** Sensitivity, specificity, false positive value, and false negative value for detection of diagnosis ketosis and endometritis. Tested milk trait threshold values are milk fat:protein ratio (FPR) > 1.4 and  $F > F_{max}$  in combination with milk fat:protein ratio > 1.4 and  $P < P_{min}$  and milk fat:protein ratio > 1.5. Number of observations used: A = 113,744; B = 115,638.

probability for an acidosis diagnosis was not possible for the available data and for hypocalcemia and retained placenta it was not useful. For the health disorders ketosis, endometritis and ovarian infertility probabilities were increased over almost all five milk recordings for the elevated FPR class versus the optimal FPR class (Figure 4-4). Here early lactation was obviously decisive for ketosis and endometritis, too, and for ovarian infertility high FPR in first half of lactation was involved. Increased FPR in early lactation has been associated by many authors with an increased risk for disease or for leaving the herd (e. g. Grieve et al., 1986; Heuer et al., 1999; Kessel et al., 2008; Bergk and Swalve, 2011; Toni et al., 2011). Detection of ketosis diagnoses using milk recording data achieved relatively good sensitivities (Figure 4-5). An advantage existed for the new characteristic value  $FPR > 1.4 \ \& \ P < P_{\min}$  and  $FPR > 1.4 \ \& \ F > F_{\max}$  (Glatz-Hoppe et al, 2019b) in contrast to a frequently used increased  $FPR > 1.5$  (Geishauser et al., 1997; Heuer et al., 1999): Sensitivity: 65.3 % vs. 51.4 %. Sensitivity and specificity for  $FPR > 1.5$  were at the same level as for Heuer et al. (2000). Values for detection of endometritis ranged on a lower level of only 27.4 % for the new characteristic value and 18.7 % for  $FPR > 1.5$ . Finding diagnosis ovarian infertility with the help of the mentioned milk traits was not satisfying (sensitivity: 7.3 % new value; 3.7 %  $FPR > 1.5$ ; data not shown in Figure 4-5). The milk constituents in the closer period to diagnosis seemed to be influenced by other factors and the increased FPR as well as over-running or under-running of the individual statistical normal ranges for F and P were not decisive.

### **Fertility data and milk urea content**

In context of reproductive performance, the supply of feed crude protein is discussed in addition to energy supply. Excessive MU values are associated with fertility disorders (Canfield et al., 1990; Wenninger and Distl, 1994; Rajala-Schultz et al., 2001). Degradable feed protein not needed in the rumen is usually broken down into ammonia, which is toxic to tissues. Usually ammonia is rapidly converted into urea in the liver, what requires energy. The urea is found in blood and milk, both are closely correlated (Butler et al., 1996; Seggewiß, 2004; Lebzien et al., 2006; Steinwidder et al., 2009). The analysis of the available data depending on MU classification low, optimal and high for all five consecutive milk recordings, however, did not show worse fertility indices for cows oversupplied with dietary protein in relation to demand (Figure 4-6). Rather, poorer fertility values could be seen in the low MU class. While the voluntary



**Figure 4-6.** Least squares means of fertility data of cows within 1<sup>st</sup> to 5<sup>th</sup> milk recording depending on milk urea classification low (< 150 mg/L), optimum ( $\geq 150$  to  $\leq 250$  mg/L), and high (> 250 mg/L) for each test day. Whiskers indicate standard errors. Number of observations used: 9,214. A: 1<sup>st</sup> test day; B: 2<sup>nd</sup> test day; C: 3<sup>rd</sup> test day; D: 4<sup>th</sup> test day; E: 5<sup>th</sup> test day. DFS: days to first service: Interval from calving to first insemination; DP: delay period: Interval from first insemination to successful insemination in days; AIPP: Number of inseminations per pregnancy.

<sup>a-c</sup>Means within a row with different superscripts differ ( $p < 0.1$ ).

resting period must be interpreted carefully, as it is deliberately manipulated depending on the farm objective, a longer delay period and an increased insemination effort are rather involuntary and represent a biological reaction to the state of health and metabolism. Because milk yield and milk constituents were equated in the evaluation model, the poorer fertility parameters for the MU class low are an expression of a deficiency situation. As already described, it can be assumed that the feed basis remained rather constant during lactation. It can also be assumed that at the farms from which the data originate, predominantly solid and expertly calculated mixed rations were provided. Cows in the MU classes low were therefore not only subject to a crude protein deficiency, at the same time there was probably also a lack of energy due to insufficient feed intake. Insufficient feed intake may be due to the low feed intake capacity in early lactation but also events such as disease, estrus or changes of housing groups as well as deficiencies in husbandry and herd management. In this respect, these results fit very well with the graphs in Figures 4-2 and 4-3. The fact that the MU class high did not lead to worse fertility results is certainly also due to the balanced ration design in the evaluated farms. Extreme protein overhangs or long-lasting very high MU contents are the exception nowadays in good managed dairy herds and thus the difference to other studies (Godden et al., 2001; Rajala-Schultz et al., 2001, Seggewiß, 2004; Lebzien et al., 2006). Animals in this group were probably those who realized a high feed intake during transition period and stayed healthy during lactation (Grummer et al. 2004). Nevertheless, in terms of feed efficiency, economy and environmental protection, the range for MU from 150 to 250 mg/L should be targeted (Rajala-Schultz et al., 2001; Richard et al., 2002, Steinwidder et al., 2009; Pfeffer et al., 2010; Glatz-Hoppe et al., 2019b).

### ***Dataset B***

After data editing 49,275 data sets of 1,650 dairy cows from 124 KWs between DIM 6 and 320 ( $\bar{x}$  137; SD 85) with a mean lactation number of 2.7 (range: 1 – 11) were available for assessment. On some farms the data was collected only up to d 150 post-partum, which explains the relatively low mean value for DIM. Descriptive statistics (number of observations (n), mean, SD, Minimum, Maximum) for selected characteristic values are shown in Table 4-4. On average, cows in this study produced 33.7 kg of milk per d (SD 9.2). Mean FPR was 1.16 (SD 0.18), and mean MU was 206 mg/L

**Table 4-4.** *Descriptive statistics of selected variables in Dataset B of 1,650 dairy cows and 12 German experimental farms between 6 and 320 DIM*

Variable	n	$\bar{x}$	SD	Min	Max
Milk yield, kg/d	49,259	33.7	9.2	2.0	68.9
Milk fat, %	49,275	3.90	0.66	1.04	7.33
Milk protein, %	49,275	3.38	0.34	2.09	5.29
Milk fat:protein ratio	49,275	1.16	0.18	0.33	2.67
Milk urea, mg/L	49,275	206	58	1	480
DMI, kg/d	49,275	21.6	3.9	4.7	37.8
NE <sub>L</sub> , MJ/kg	49,275	6.97	0.29	5.95	7.52
Energy balance, MJ NE <sub>L</sub> /d	46,680	2.3	27.0	-182	134
RNB, <sup>1</sup> g/d	49,275	5.82	26.14	-98.86	127.79
CP, g/kg DM	49,275	160	14	79	205
uCP, <sup>2</sup> g/kg DM	49,275	158	11	79	194
CP balance, g/d	46,317	300	509	-2,712	3,148
CF, <sup>3</sup> g/kg	49,275	177	19	98	311
aNDFom, <sup>4</sup> g/kg	39,526	332	35	188	570
BW, kg	46,700	685	85	360	1,021
BCS	12,342	3.12	0.58	2	5
Back fat, mm	18,054	11.6	5.5	3.8	48.9

<sup>1</sup>Ruminal nitrogen balance<sup>2</sup>Utilizable crude protein at the duodenum<sup>3</sup>Crude fiber<sup>4</sup>Neutral detergent fiber

(SD 58). The supply of feed energy and crude protein can therefore be classified as optimal on average (Glatz-Hoppe et al., 2019b).

### Linear degrees of relationship

The Pearson correlations for selected feeding parameters, blood and urine values as well as the loss of body tissue in the first weeks of lactation with milk constituents documented, as expected, that other parameters also had a considerable influence on the expression of the characteristics (Table 4-5). The individual genetic influence as well as, for example, animal husbandry and herd management should be mentioned here. However, it was obvious that milk quantity is considerably influenced by the composition of the ration. The strongest positive values were for energy concentration ( $r = 0.489$ ), DMI ( $r = 0.457$ ), uCP ( $r = 0.481$ ), and CP content ( $r = 0.412$ ), the strongest negative correlation was to crude fiber concentration in g/kg DM ( $r = -0.519$ ). Furthermore, blood and urine traits as well as loss of BW, BCS or back fat showed only very low linear degrees of relationship with milk quantity. With energy balance FPR correlated strongest ( $r = -0.338$ ) followed by P ( $r = 0.210$ ) and F ( $r = -0.166$ ). Lactose

**Table 4-5.** *Pearson's correlation coefficients of some feeding characteristics, blood and urine traits and reduction of body condition, back fat and body weight with selected traits of standard milk recording; p-values in parentheses under correlation coefficient*

Trait	Milk yield [kg/d]	Milk fat [%]	Milk protein [%]	Lactose [%]	Fat:protein ratio	Milk urea [mg/L]
<b>Feeding characteristics</b>						
DMI, kg/d	0.457 ( $< 0.001$ )	-0.194 ( $< 0.001$ )	-0.062 ( $< 0.001$ )	-0.019 ( $< 0.001$ )	-0.182 ( $< 0.001$ )	0.045 ( $< 0.001$ )
NE <sub>L</sub> , MJ/kg DM	0.489 ( $< 0.001$ )	-0.309 ( $< 0.001$ )	-0.272 ( $< 0.001$ )	0.199 ( $< 0.001$ )	-0.158 ( $< 0.001$ )	-0.042 ( $< 0.001$ )
CP, g/kg DM	0.412 ( $< 0.001$ )	-0.232 ( $< 0.001$ )	-0.179 ( $< 0.001$ )	0.171 ( $< 0.001$ )	-0.136 ( $< 0.001$ )	0.312 ( $< 0.001$ )
uCP, <sup>1</sup> g/kg DM	0.481 ( $< 0.001$ )	-0.291 ( $< 0.001$ )	-0.203 ( $< 0.001$ )	0.163 ( $< 0.001$ )	-0.185 ( $< 0.001$ )	0.172 ( $< 0.001$ )
RNB, <sup>2</sup> g/d	0.084 ( $< 0.001$ )	-0.019 ( $< 0.001$ )	-0.036 ( $< 0.001$ )	0.075 ( $< 0.001$ )	0.002 (0.591)	0.324 ( $< 0.001$ )
CF, <sup>3</sup> g/kg DM	-0.519 ( $< 0.001$ )	0.325 ( $< 0.001$ )	0.269 ( $< 0.001$ )	-0.181 ( $< 0.001$ )	0.175 ( $< 0.001$ )	-0.005 (0.248)
Energy balance, MJ NE <sub>L</sub> /d	-0.300 ( $< 0.001$ )	-0.166 ( $< 0.001$ )	0.210 ( $< 0.001$ )	-0.097 ( $< 0.001$ )	-0.338 ( $< 0.001$ )	0.010 ( $< 0.05$ )
CP balance, g/d	-0.306 ( $< 0.001$ )	0.019 ( $< 0.001$ )	0.096 ( $< 0.001$ )	-0.088 ( $< 0.001$ )	-0.048 ( $< 0.001$ )	0.198 ( $< 0.001$ )
uCP balance, g/d	-0.346 ( $< 0.001$ )	0.026 ( $< 0.001$ )	0.113 ( $< 0.001$ )	-0.117 ( $< 0.001$ )	-0.052 ( $< 0.001$ )	0.094 ( $< 0.001$ )
<b>Blood and urine traits</b>						
β-hydroxybutyrate, mmol/L	0.100 ( $< 0.001$ )	0.265 ( $< 0.001$ )	-0.138 ( $< 0.001$ )	-0.146 ( $< 0.001$ )	0.367 ( $< 0.001$ )	-0.025 (0.119)
Nonesterified fatty acids, μmol/L	-0.018 (0.265)	0.394 ( $< 0.001$ )	-0.075 ( $< 0.001$ )	-0.196 ( $< 0.001$ )	0.452 ( $< 0.001$ )	-0.062 ( $< 0.001$ )
Blood calcium, mmol/L	0.041 ( $< 0.01$ )	-0.075 ( $< 0.001$ )	0.065 ( $< 0.001$ )	0.091 ( $< 0.001$ )	-0.116 ( $< 0.001$ )	0.148 ( $< 0.001$ )
Net acid-base excretion, mmol/L	-0.116 ( $< 0.001$ )	0.044 ( $< 0.05$ )	0.171 ( $< 0.001$ )	0.153 ( $< 0.001$ )	-0.047 ( $< 0.05$ )	0.094 ( $< 0.001$ )
<b>Loss of<sup>4</sup></b>						
Body condition score	-0.006 (0.862)	0.218 ( $< 0.001$ )	0.055 (0.112)	-0.201 ( $< 0.001$ )	0.201 ( $< 0.001$ )	-0.067 ( $< 0.10$ )
Back fat, mm	0.024 (0.473)	0.216 ( $< 0.001$ )	-0.007 (0.845)	-0.067 ( $< 0.05$ )	0.215 ( $< 0.001$ )	-0.013 ( $< 0.05$ )
Body weight, kg	-0.118 ( $< 0.001$ )	0.245 ( $< 0.001$ )	0.083 ( $< 0.001$ )	-0.195 ( $< 0.001$ )	0.207 ( $< 0.001$ )	0.011 ( $< 0.05$ )

<sup>1</sup> Utilizable crude protein at the duodenum

<sup>2</sup> Ruminal nitrogen balance

<sup>3</sup> Crude fiber

<sup>4</sup> between 6 and 60 DIM

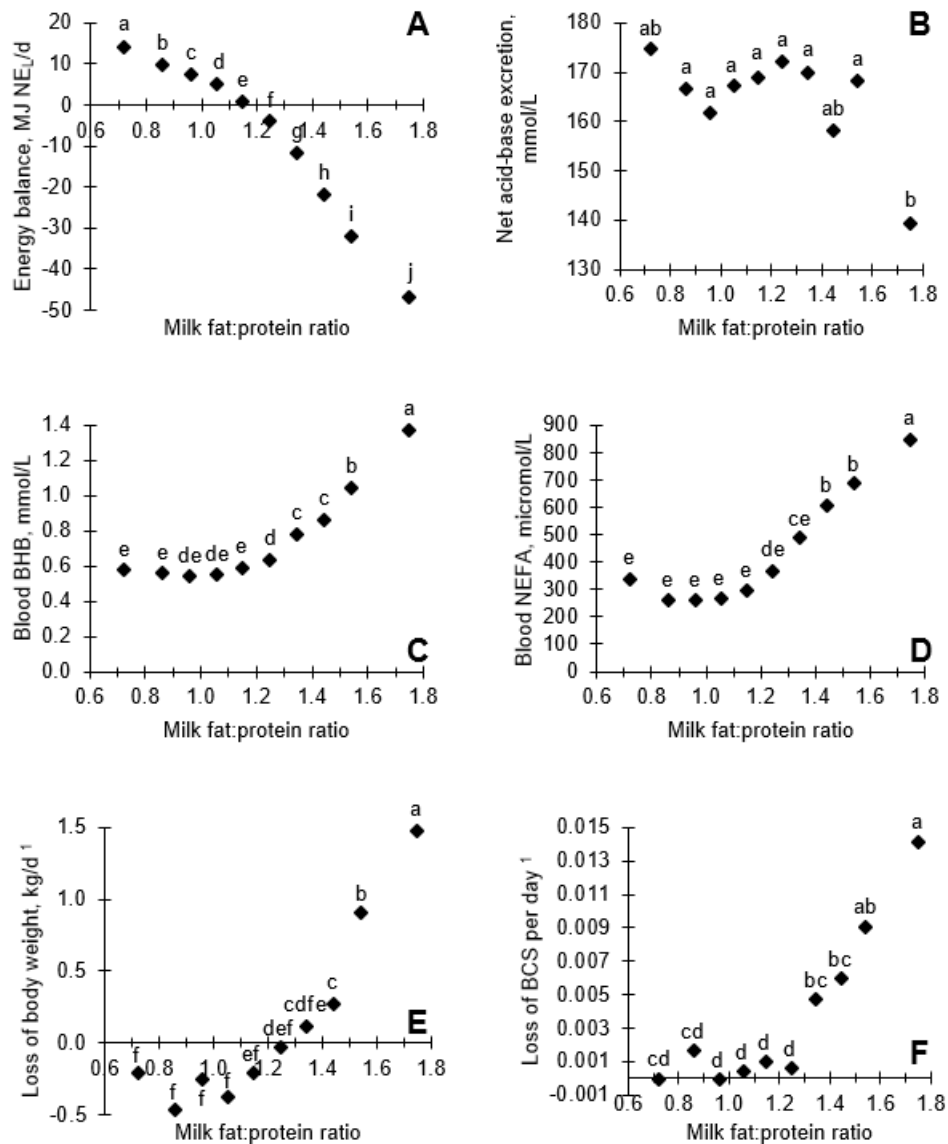
( $r = -0.097$ ) and MU ( $r = 0.010$ ) showed very small values. Correlations at Reist et al. (2002) displayed stronger degrees of relationships for the relation of energy balance with milk traits. This probably resulted from the fact that only data up to week 10 postpartum were examined there. During this period, the negative energy balance is predominant, also seen in this data set (Heuer et al., 2000; Breves, 2007; Gross et al.,

2011; Ebert et al., 2017; Denißen et al., 2018; Harder et al., 2018, Hertel-Böhnke et al., 2018; Schmitz et al., 2018a). The present study included appropriate data up to 320 postpartum. In the course of lactation, milk constituents and energy balance change (Ebert et al., 2017; Denißen et al., 2018; Hertel-Böhnke et al., 2018; Glatz-Hoppe et al., 2019a). When interpreting the correlations, it must be taken into account that this does not proceed in the same direction (Ebert et al., 2017; Glatz-Hoppe et al., 2019a; 2019b). Furthermore, in comparison with the other milk traits the FPR correlated strongest with concentrations of blood  $\beta$ -hydroxybutyrate ( $r = 0.367$ ) which is a measure for ketone bodies. An even higher degree of linear correlation was shown by the FPR with blood nonesterified fatty acids ( $r = 0.452$ ). Correlations of F and P with both blood traits were less. Pearson correlations for blood calcium and net acid-base excretion in urine with milk constituents were at a relatively low level ( $r = -0.116$  up to  $0.171$ ). Loss of BCS in early lactation (6 to 60 DIM) correlated at a similar level with F ( $r = 0.218$ ) and FPR ( $r = 0.201$ ). For loss of back fat and BW F and FPR showed strongest correlations as well (loss of back fat: F:  $r = 0.216$ ; FPR:  $r = 0.215$ ; loss of BW: F:  $r = 0.245$ ; FPR:  $r = 0.207$ ). As expected, body fat reduction is reflected in milk fat content and FPR. MU is the milk characteristic for dietary protein supply appreciation and it correlated most strongly with the RNB [g/d] ( $r = 0.324$ ), followed by CP [g/kg DM] ( $r = 0.312$ ) and PB CP [g/d] ( $r = 0.198$ ). The more positive the RNB or the higher the CP content, the higher the MU values to be expected (Steinwiddler et al., 1998; Lebzien et al., 2006; Steinwiddler et al., 2009).

### **Analysis of data divided into FPR and MU classes**

The scatter diagrams in Figure 4-7 illustrate the relationships between selected characteristic values and the FPR. The classification into FPR classes was used to give weight to the extreme values of the FPR in both directions. For the energy balance an almost linear course was shown, a positive energy balance was accompanied by low FPR, the larger the negative energy balance the higher the FPR as expected. The strong link between EB and FPR was underlined by the differences of the LSM for EB per FPR class ( $p < 0.01$ ). Actually, low NABE values are associated with acid metabolic states in the rumen, which are usually associated with low FPR or milk fat percentage (Lachmann et al., 1985; Zebeli et al., 2008; Zebeli et al., 2012). The course of the NABE values in the scatter diagram was not directional and the highest NABE values were in the lowest FPR species. There are increasing concerns in more recent literature about





**Figure 4-7.** Energy balance per day (A), net acid-base excretion in urine (B), blood BHB (C), blood nonesterified fatty acids (D), loss of BW (E) and BCS (F) in relation to milk fat:protein ratio. Scatter diagrams show least squares means per class of milk fat:protein ratio. Number of observations used: energy balance = 46,680; net acid-base excretion = 2,281; blood BHB = 3,955; blood nonesterified fatty acids = 3,955; loss of BW = 24,605; loss of BCS = 6,529. Mean values of FPR differ at a level of  $p < 0.001$ .

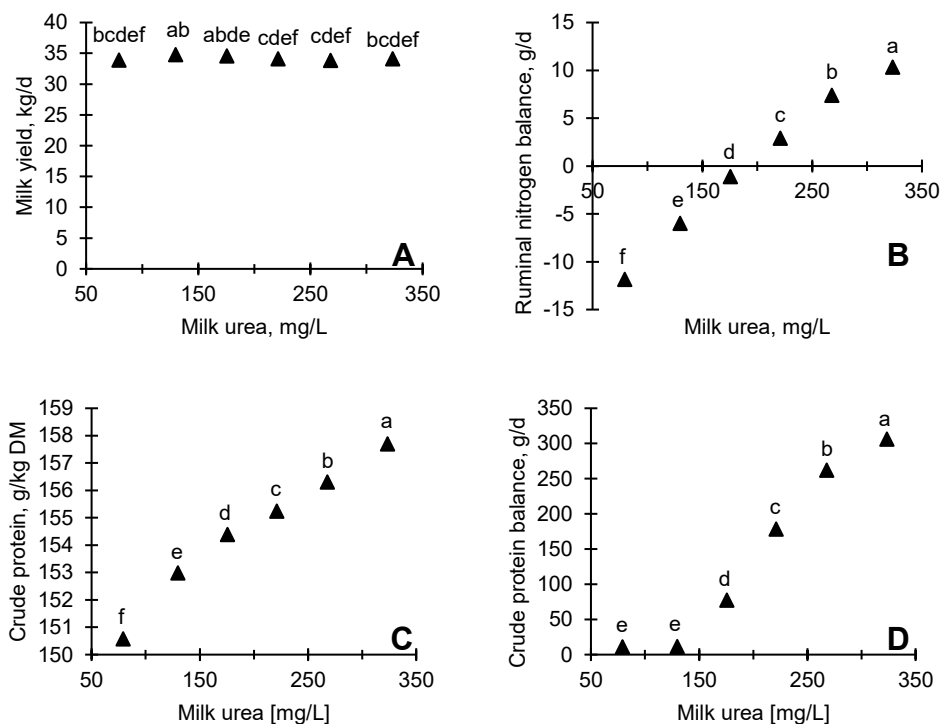
<sup>a-j</sup>Values with different letters within a diagram differ (A:  $p < 0.01$ , B:  $p < 0.1$ , C, D, E and F:  $p < 0.05$ ).

<sup>1</sup>until d 60 postpartum

the links between F or FPR and SARA diagnosis, low rumen pH or NABE (Kricziokat et al., 2009; Seemann and Spohr, 2010; Wittek, et al., 2010; Lessire et al., 2013). When interpreting the NABE values, the dietary cation-anion difference of the ration must

always be taken into account (Fischer et al., 2009). Scatter diagrams with blood BHB and NEFA in relation to FPR class were very much alike. In low FPR classes values stayed nearly on the same level and from FPR section 1.2 onwards they started to rise linearly. The figures have a similar look to diagrams at Kronschnabl (2010) and Kronschnabl et al. (2011), who displayed both metabolic parameters depending on energy ranges. This confirmed the link between FPR and EB. The two blood metabolites BHB and NEFA also resembled the BW and BCS loss graphs and verified the linkage between fat tissue loss and FPR. The higher the FPR, the greater the loss of BW or BCS.

In Figure 4-8 scatter diagrams illustrate the relationships between milk yield, RNB, CP content of the ration and daily CP balance with MU classes. While milk yield was nearly not affected by MU, the three feeding characteristics rose almost linear with



**Figure 4-8.** Daily milk yield (A), ruminal nitrogen balance (RNB; B), crude protein content of the feed ration (C) and daily crude protein balance (D) in relation to milk urea content. Scatter plots show least squares means per class of milk urea content. Number of observations used: milk yield = 49,259; ruminal nitrogen balance = 49,275; crude protein content = 49,275; crude protein balance = 46,317. Mean values of Milk urea differ at a level of  $p < 0.001$ .

<sup>a-f</sup>Values with different letters within a diagram differ (A:  $p < 0.01$ , B, C and D:  $p < 0.001$ ).

higher MU as the Pearson correlations documented. The LSM for each MU class were different ( $p < 0.001$ ). The differences in milk quantities estimated per MU class ( $p < 0.01$ ) were negligible small (0.92 kg from the smallest to the highest daily milk yield) and not relevant for this characteristic in feeding practice. Glatz-Hoppe et al. (2019b) found in a dataset of practical farms a slight increase in milk yield in the low MU classes associated with undersupply, the highest milk yield in MU class 200 - 250 mg urea/L milk and no further increase in milk yield with higher urea classes as in this investigation. Godden et al. (2001) documented higher milk yields with increasing urea contents and a much higher MU level at all. The results of the recent investigations documented very well the feeding, which has been adapted to the demand, which is based on extended knowledge how to create a ration for dairy cows (GfE, 2001; Glatz-Hoppe et al., 2019b).

### Validity of milk constituents in relation to gold standards

Table 4-6 shows that the field sensitivities for the new evaluation scheme for milk constituents in fields 2 to 6 and 9 were higher than for the old scheme. In field 1 there was no agreement for either system. In fields 7 and 8, the old system had a higher proportion of correctly assigned values. In particular, the higher number of correctly assigned data in fields 3, 6 and 9 of the new scheme confirmed that the upper value for MU of 250 mg/L was better than the often used value of 300 mg/L to distinguish an optimal from an oversupply of CP. Field number 5 was for both schemes the optimum field and reached for both the highest sensitivity, but there was also a small plus for the new scheme. In total the overall conformity of milk components with energy and CP intake in relation to demand was on a low level of only 20.5 % for the old scheme

**Table 4-6.** *Adjustment of classification of milk constituents according to old and new scheme with feed energy and crude protein intake in relation to demand. Correctly assigned values for each field in % (Sensitivity per field;  $n = 46,243$ ). Field description and value ranges for classification are shown in Figure 4-1 and Table 4-1.*

Field	Sensitivity, %								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Old Scheme	0.0	12.2	0.9	21.0	49.0	4.5	10.9	40.8	8.4
New Scheme	0.0	17.9	3.5	35.8	52.5	25.4	6.9	12.9	17.2

**Table 4-7.** *Adjustment of classification of milk constituents according to new and old scheme with feed energy and crude protein intake in relation to demand. Correctly assigned values total in % (Sensitivity of scheme).*

Assignment of supply situation	n <sup>1</sup>	Old scheme	New scheme
Classification into 9 fields, all data	46,243		
Energy and protein correct, %		20.5	23.5
Protein correct, %		38.0	42.4
Energy correct, %		43.6	48.2
Classification into 9 fields, only Holstein cows	32,275		
Energy and protein correct, %		20.2	22.1
Protein correct, %		37.2	41.9
Energy correct, %		39.5	45.1
Classification into 9 fields, only Simmental cows	13,362		
Energy and protein correct, %		21.7	25.4
Protein correct, %		38.7	43.1
Energy correct, %		53.3	55.9
Classification into 6 fields, <sup>2</sup> all data	46,243		
Energy and protein correct, %		25.1	33.8
Protein correct, %		38.0	42.4
Energy correct, %		68.7	80.7
Classification into 6 fields, high yielding farm <sup>3</sup>	1,721		
Energy and protein correct, %		32.8	40.5
Protein correct, %		57.4	56.0
Energy correct, %		55.6	71.2
Classification into 6 fields, low yielding farm <sup>4</sup>	4,932		
Energy and protein correct, %		21.4	28.8
Protein correct, %		31.1	37.4
Energy correct, %		81.3	81.8

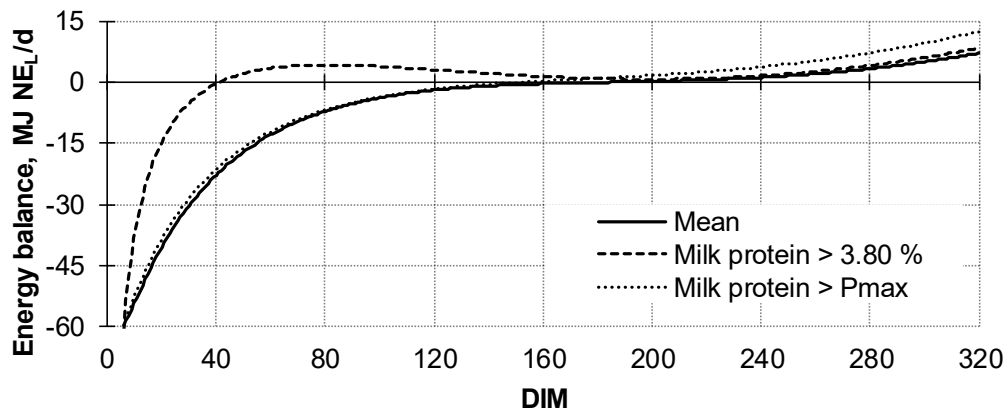
<sup>1</sup>number of observations

<sup>2</sup>limit for energy oversupply deleted, field 1 and 4, 2 and 5, 3 and 6 are fused in each case

<sup>3</sup>average milk yield per cow of the farm: > 40 kg/d

<sup>4</sup>average milk yield per cow of the farm: < 25 kg/d

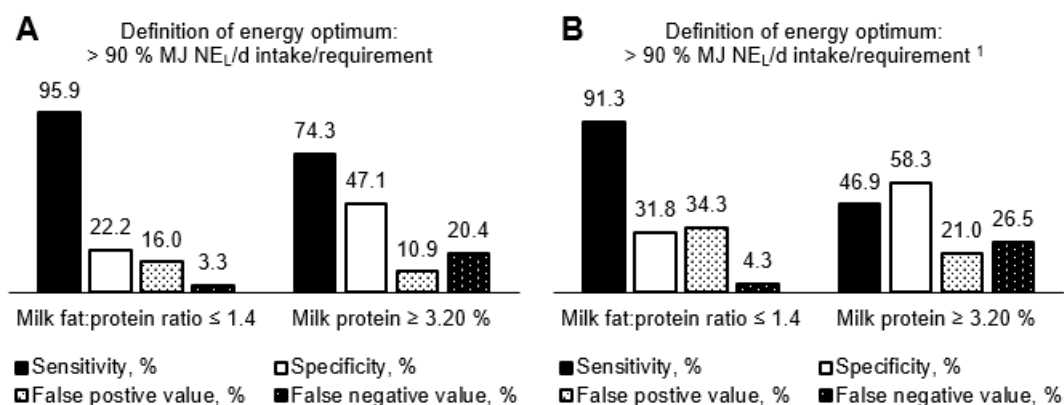
and 23.5 % for the new scheme (Table 4-7). Seggewiß (2004) also rated the assessment of the old 9-field table according to Spohr and Wiesner (1991) to be unreliable. In the separate analysis of feed energy and dietary protein supply, higher sensitivities in the range of 38 % to 42 % for energy supply evaluation and 44 % to 48 % for crude protein supply evaluation were achieved, both with a higher conformity for the new evaluation scheme. If we analyzed only the data of German Holstein, sensitivities lied in a similar range. If only the Simmental data were considered, it can be seen that the energy



**Figure 4-9.** Lactation curves for energy balance [MJ NEL/d] over all data (Mean) and for data sorted by milk protein concentration > 3.80 % and >  $P_{max}$ . Number of observations used: Mean = 46,680; Milk protein > 3.80 % = 5,003; Milk protein >  $P_{max}$  = 6,237. Curves are modeled as described by Ali and Schaeffer (1987).

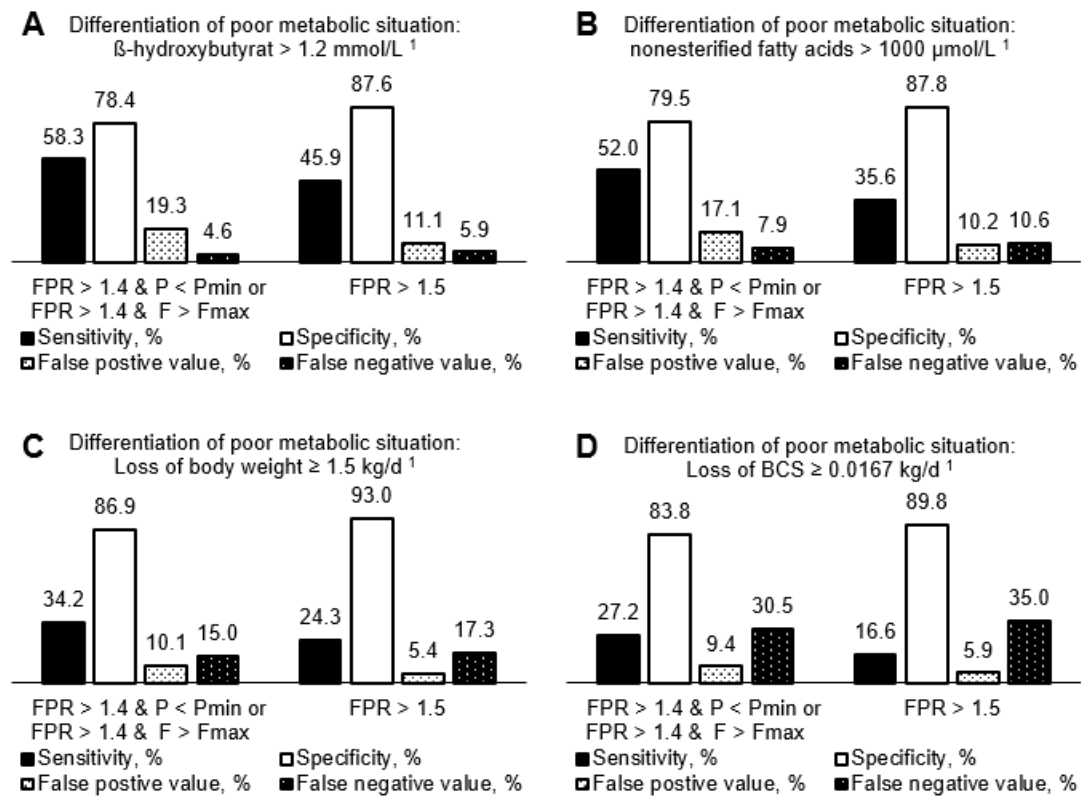
evaluation showed a sensitivity of more than 50 % for both schemes, but there was still an advantage of the new system. An upper limit of P, which was intended to indicate an oversupply of energy and a possible risk of obesity, is viewed critically because high milk protein contents primarily give an indication of well supplied cows and an oversupply cannot be distinguished solely on the basis of milk constituents (Glatz-Hoppe et al., 2019b). The original proposal by Spohr and Wiesner (1991) did not include a category for energetic oversupply. The visualized lactation curves for energy balance in Figure 4-9 show that the curve of the data sorted by  $P > 3.80\%$  was clearly above the other curves at the beginning of the lactation and in a positive range from d 40 postpartum onwards. But that it is aligned with the mean in the course of the lactation from about the middle. In early lactation, an energy surplus is rather unlikely, and what can be seen there is the concentration of P due to a reduction in the milk quantity. A drop in milk quantity could have had various causes, such as disease, regrouping or estrus. To reduce the energy supply for these cows would be completely wrong. The curve of the data sorted by  $P > P_{max}$  ran almost along the line of the data mean until the middle of lactation. From about DIM 200, however, it was slightly higher and indicates a negligible higher energy supply level. If there is to be an upper limit of milk protein, then at the end of lactation the increased protein content relative to the milk quantity would have to be considered, whereas a rigid limit such as 3.80 % should be rejected. If the limits for energy supply were left out and only an inadequate or optimal

energy supply was assessed, the proportions of the correct allocations increased considerably (Table 4-7). Over all data, the new feeding evaluation scheme came to > 80 % correctly assigned data for feed energy supply and was thus 12 percentage points better than the old scheme. Of course, this also had a positive effect on the sensitivity of the entire scheme. In the separate consideration of the data of a very high-performance farm within the total data set, even a correct allocation for energy and protein supply of > 40 % was achieved by the new scheme and over 70 % of the data sorted according to FPR > 1.4 and  $\leq 1.4$  were correctly assigned measured by energy consumption in relation to demand. In this comparison, the old scheme showed a minimally increased hit rate in relation to the new scheme for CP supply evaluation (57.4 % vs. 56.0 %). If the dietary protein intake in relation to requirement was not used for validation, but the RNB with limits of an optimum range of 0 g/d and 30 g/d was used, the new scheme again showed an advantage (New feeding evaluation: 57.6 %; old scheme: 51.9 %; data not shown in Table 4-7). As the Pearson correlation and Graph B in Figure 4-8 documented, the milk urea content was also closely related to the RNB. Furthermore, we considered the data of an experimental farm with low milk yield separately. For these data only an overall agreement of 21.4 % for the old and 28.8 % for the new assessment was achieved. But the feed energy supply rating for both systems was over 81 %. There were therefore slight operational shifts in the



**Figure 4-10.** Sensitivity, specificity, false positive value, and false negative value for a nutritional energy optimum defined by more than 90 % of feed energy intake in relation to demand in MJ NE<sub>L</sub>/d. Tested milk trait threshold values are milk fat:protein ratio  $\leq 1.4$  and milk protein  $\geq 3.20$  %. Number of observations used: A = 46,243; B = 10,561.

<sup>1</sup>only early lactation until d 60 postpartum.



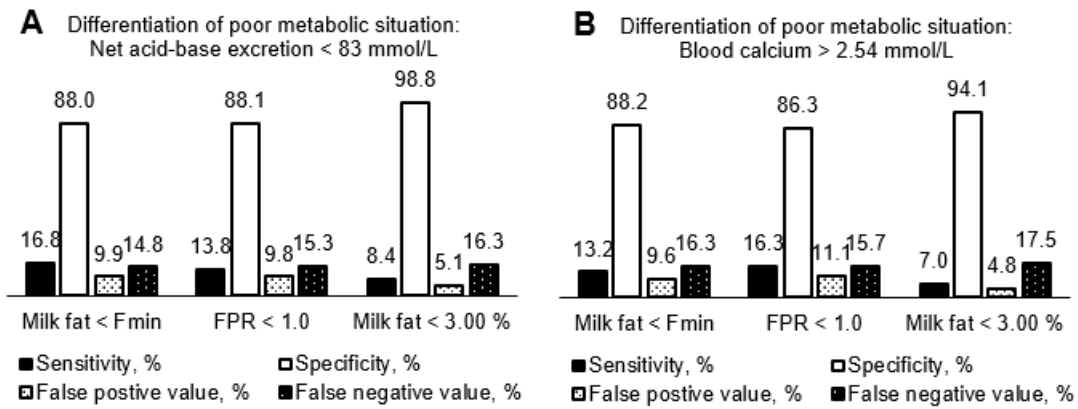
**Figure 4-11.** Sensitivity, specificity, false positive value, and false negative value for poor metabolic situation associated with ketosis or strong fat mobilization from adipose tissue defined by different blood values and loss of body weight and condition. Tested milk trait threshold values are milk fat:protein ratio (FPR)  $> 1.4$  and milk fat  $> F_{max}$  in combination with milk fat:protein ratio  $> 1.4$  and milk protein  $< P_{min}$  and milk fat:protein ratio  $> 1.5$ . Number of observations used: A = 2,001; B = 2,001; C = 5,504; D = 1,539.

<sup>1</sup>in early lactation until d 60 postpartum.

accuracy of what milk constituents say in relation to the comparison with measured feed energy and crude protein intake in relation to demand. In any case, the new system was more accurate. If we only considered the assignment of milk constituents to an energy optimum that is defined as the feed energy intake in relation to the requirement in MJ NE<sub>L</sub>/d of more than 90 %, a very high sensitivity of almost 96 % was achieved with the limit value of FPR  $\leq 1.4$  (Figure 4-10). In contrast, the old limit of  $\geq 3.20$  % P only achieved an agreement of 74.3 %. In early lactation (Figure 4-10 B) sensitivity was slightly smaller for the FPR but considerably smaller for the old limit. Cows with a risk of ketosis are also usually identified via the milk constituents, when there are no blood values. An increased FPR of  $> 1.5$  is often used for this purpose (Geishauser et

al., 1997; Heuer et al., 1999). The possibility of identifying overruns and underruns of the statistical normal range for F and P in combination with the threshold for energy deficiency  $FPR > 1.4$  increased the informative value of the milk recording data (Glatz-Hoppe et al., 2019b). There had been better sensitivities for risk of ketosis sorted by  $FPR > 1.4 \& F > F_{max}$  and  $FPR > 1.4 \& P < P_{min}$  in relation to an increased FPR of  $> 1.5$  when a poor metabolic situation was classified by blood BHB  $> 1.2$  mmol/L, blood NEFA  $> 1,000$   $\mu$ mol/L, loss of BW  $\geq 1.5$  kg/d, and loss of BCS  $\geq 0.0167$  points/d respectively (Figure 4-11). For the blood values, sensitivities of over 50 % were achieved with acceptable specificities, for the condition losses sensitivities were lower at around 34.2 % and 27.2 % but with higher specificities of over 80 %. Sensitivities and specificities at Heuer et al. (2000) for the comparison of different milk characteristics, on-farm ketosis tests, BCS and BHB with different degrees of negative energy balance can only be compared to a limited extent with the existing investigations, but also showed similar magnitudes for such biological data. Also, in Steen et al. (1996), the comparison of milk acetone as gold standard with FPR or with the fat:lactose ratio showed sensitivities and specificities in the range of 50 % to 70 %. The influence of other variables on the expression of the characteristics like herd management, climate or barn design was present as well as the different physiological compensation mechanisms of cows which affect milk composition, blood values as well as lipolysis (Klein et al., 2012; Tremblay et al., 2018). Low urine NABE and elevated blood calcium are both values associated with acidotic metabolic states which in turn when they concern subacute ruminal acidosis are associated with low F or low FPR. Sensitivities for different milk trait limits were on a very poor level of well under 20 % with simultaneously high specificities over 88 % (Figure 4-12). Even a relatively low crude fiber content in the mixed ration of the cows or a relatively low daily crude fiber intake in relation to BW could not be associated with low fat contents or a low FPR (data not shown). The evaluated data had not been collected against the background of borderline rations to test for subclinical ruminal acidosis. This may be one reason why no discernible trends have been found for the association between low milk fat concentrations and NABE, blood calcium or crude fiber levels. The interpretation of milk constituents to identify borderline metabolic situations with regard to acid metabolic states did not appear to be meaningful. Glatz-Hoppe et al. (2019b) could in their evaluations not deduce an impairment of the performance of cows affected by low fat





**Figure 4-12.** Sensitivity, specificity, false positive value, and false negative value for poor metabolic situation associated with subclinical ruminal acidosis defined by urine net acid-base excretion and blood calcium values. Tested milk trait threshold values are milk fat <  $F_{min}$ , milk fat:protein ratio (FPR) < 1.0 and  $F < 3.00$  %. Number of observations used: A = 2,281; B = 3,953.

contents or low FPR. Further parameters such as ruminating behavior could provide additional information (Denißen et al., 2018; Ettle et al., 2018, Schmitz et al., 2018b).

## Conclusions

The informative value of milk constituents with regard to the supply situation of dairy cows with feed energy and crude protein was only conditionally high. Nevertheless, milk recording data have been used for feeding and health control for decades. And that is correct, because they provide useful information on possible mistakes in feeding, herd management and can draw attention to abnormalities in impaired animals. They are a cost-effective tool for herd management as milk recording data is already available on most farms. By observing test day data over time and in combination with other established instruments for feeding and animal control, good herd management could be achieved. However, the investigations have shown that frequently used limit values, some of which are more than 30 years old, should no longer be used. The new “Dummerstorf feeding evaluation” had a higher agreement with other physiological data such as diagnoses, measured energy and nutrient intake, blood and urine values as well as body condition changes. New ranges for milk constituents can be suggested as follows:

Recommended range for milk urea content: 150 mg/L – 250 mg/L.

Measure for dividing an optimal energy supply from energy deficiency: milk fat:protein ratio  $> 1.4$  (not for breeds German Angler and Jersey (Glatz-Hoppe et al., 2019b)). Cows with a risk of ketosis should be identified by  $FPR > 1.4$  &  $P < P_{\min}$  and  $FPR > 1.4$  &  $F > F_{\max}$ .

Energy oversupply or a risk of obesity as well as SARA cannot be identified just with milk constituents. If, however, for didactic reasons, such risk animals are to be identified in milk recording assessments, the individually calculated statistical limits for  $P$  and  $F$  would be more consistent:

Risk of obesity in later lactation after d 200 postpartum:  $P > P_{\max}$ .

Indication of possible SARA:  $F < F_{\min}$ .

Further research is needed to evaluate other possible predictors for metabolic situations. Maybe Fouriertransforminfrared data from milk could transport additional information directly with the milk recordings assessments to the farms. The aim of future studies should be the more accurate detection of cows with health risks and cows needing attention and in addition how to evaluate on-farm nutrition and transition cow management.

## Acknowledgments

In order to work on this topic, the first author received a scholarship from the Federal state Mecklenburg-Vorpommern graduate promotion via the University of Rostock, Germany. Record set A originates from the RinderAllianz GmbH test herd project and was kindly provided by the Mecklenburg-Vorpommern Research Centre for Agriculture and Fisheries, Institute of Livestock Farming (Dummerstorf, Germany). The optiKuh consortium kindly provided Dataset B. The optiKuh joint project was funded by the Federal Ministry of Food and Agriculture (Berlin, Germany) because of a resolution of the German Bundestag via the Federal Office for Agriculture and Food under the innovation support program.

## References

- ADR. 2001. ADR-Richtlinie 1.4 zum Ausscheiden unwahrscheinlicher Ergebnisse bei der Feststellung der Milchmenge und Milchinhaltsstoffe. Bonn, Germany.
- Ali, T. E., and L. R. Schaeffer. 1987. Accounting for covariances among test day milk yields in dairy cows. *Can. J. Anim. Sci.* 67, 637-644.

- Baumann, D. E., C. L. Davis, and H. F. Buchholtz. 1971. Propionate production in the rumen of cows fed either a control or high-grain, low-fiber diet. *J. Dairy Sci.* 54, 1282-1287.
- Baumann, D. E., and J. M. Griinary. 2001. Regulation and nutritional manipulation of milk fat: low-fat milk syndrome. *Livest. Prod. Sci.* 70, 15-29.
- Bergk, N., and H. H. Swalve. 2011. Fat-to-protein-ratio in early lactation as an indicator of herd life for first lactation dairy cows. *Züchtungskunde* 83, 89-103.
- Breves, G. 2007. Züchtung und Stoffwechselstabilität beim Rind – Empfehlungen für Zucht und Haltung. *Züchtungskunde* 79, 52-58.
- Butler, W. R., J. J. Calaman, and S. W. Beam. 1996. Plasma and milk urea nitrogen in relation to pregnancy rate in lactating dairy cattle. *J. Anim. Sci.* 74, 858-865.
- Canfield, R., C. Sniffen, and W. Butler. 1990. Effects of excess degradable protein on postpartum reproduction and energy balance in dairy cattle. *J. Dairy Sci.* 73, 2342-2349.
- DLG (Deutsche Landwirtschafts-Gesellschaft). 1997. DLG-Futterwerttabellen, Wiederkäuer. Herausgeber: Universität Hohenheim – Dokumentationsstelle. 7. erweiterte und überarbeitete Auflage, DLG-Verlag, Frankfurt a. M., Germany.
- DLQ (Deutscher Verband für Leistungs- und Qualitätsprüfungen e.V.). 2013. DLQ-Richtlinie 1.13: DLQ-Referenzmethode zur Bestimmung des Harnstoffgehaltes in Milch, Kontinuierliche Durchflussanalyse. Bonn, Germany.
- Denißen, J., S. Beintmann, S. Hoppe, E. Stamer, H. Spiekers, M. Pries, and K.-H. Südekum. 2018. Effects of energy density of forage and amount of concentrates on feed intake, rumination behaviour and performance of German Holstein cows during a whole lactation. *Züchtungskunde* 90, 430-452.
- DLG (Deutsche Landwirtschafts-Gesellschaft). 2012. Arbeitskreis Futter und Fütterung. Fütterungsempfehlungen für Milchkühe im geburtsnahen Zeitraum: Versorgung während des Trockenstehens und in der Früh lactation; eine Information des DLG-Arbeitskreises Futter und Fütterung. Herausgeber DLG e.V. DLG-Verlag GmbH, Frankfurt a. M., Germany.
- Drackley, J. K. 1999. Biology of Dairy Cows During the Transition Period: the Final Frontier? *J. Dairy Sci.* 82, 2259-2273.
- Ebert, T., C. Koch, F.-J. Romberg, and S. Hoy. 2017. Untersuchungen zur negativen Energiebilanz bei Milchkühen. *Züchtungskunde* 89, 321-332.

- Edmonson A. J., I. J. Lean, L. D. Weaver, T. Farver, and G. Webster. 1989. A body condition scoring chart for Holstein Dairy cows. *J. Dairy Sci.* 72, 68-78.
- Ettle, T., P. Hertel-Böhnke, A. Obermaier, and H. Spiekers. 2018. Investigations on supplementation of concentrates to diets based on grass or maize silage for Fleckvieh or Brown Swiss Cows. *Züchtungskunde* 90, 453-466.
- Fischer, T., T. Döhler, H. Scholz, T. Engelhard, and M. Wähner. 2009. Einfluss der Zusammensetzung und unterschiedlicher Gehalte von Futtermitteln auf die NSBA im Harn laktierender Milchkühe. Pages 58-59 in Proc. German Society for Breeding Science and Society for Animal Breeding Sciences, 16<sup>th</sup>–17<sup>th</sup> September 2009 in Gießen, Germany.
- Geishauser, T., K. Leslie, T. Duffield, and V. Edge. 1997. Fat/protein ratio in first DHI test milk as test for displaced abomasum in dairy cows. *J. Vet. Med. A* 44, 265-270.
- GfE (Ausschuss für Bedarfsnormen der Gesellschaft für Ernährungsphysiologie). 2001. Empfehlungen zur Energie- und Nährstoffversorgung der Milchkühe und Aufzuchttrinder. Heft 8. DLG-Verlag, Frankfurt a. M., Germany.
- Glatz-Hoppe, J., and B. Losand. 2019. Use of milk recording data for characterisation of dairy cow supply situation. Page 37 in Proc. Soc. Nutr. Physiol. 28. 73<sup>rd</sup> Conference 13<sup>th</sup>–15<sup>th</sup> March 2019 in Göttingen, Society of Nutrition Physiology, Frankfurt a. M., Germany.
- Glatz-Hoppe, J., F. Onken, A. Eggert, E. Mohr, and B. Losand. 2019a. Use of milk recording data for characterization of dairy cow supply situation. First part: Milk performance and composition of German dairy breeds by comparison. *Züchtungskunde* 91, 423-448.
- Glatz-Hoppe, J., E. Mohr, and B. Losand. 2019b. Use of milk recording data for characterization of dairy cow supply situation. Second part: Evaluation scheme for the assessment of milk ingredients at farm level. *Züchtungskunde* 91, 449-473.
- Godden, S. M., K. D. Lissemore, D. F. Kelton, K. E. Leslie, J. S. Walton, and J.H. Lumsden. 2001. Factors associated with milk urea concentrations in Ontario Dairy cows. *J. Dairy Sci.* 84, 107-114.
- Grieve, D. G., S. Korver, Y. S. Rijpkema, and G. Hof. 1986. Relationship between milk composition and some nutritional parameters in early lactation. *Livest. Prod. Sci.* 14, 239-254.

- Gross, J., H. A. van Dorland, R. M. Bruckmaier, and F. J. Schwarz. 2011. Performance and metabolic profile of dairy cows during a lactational and deliberately induced negative energy balance with subsequent realimentation. *J. Dairy Sci.* 94, 1820-1830.
- Grummer, R. R., D. G. Mashek and, A. Hayirli. 2004. Dry matter intake and energy balance in the transition period. *Vet. Clin. Food Anim.* 20, 447-470.
- Harder, I., E. Stamer, W. Junge, and G. Thaller. 2018. Zucht auf Futteraufnahme bei Milchkühen mit Hilfe der genomischen Selektion. *Züchtungskunde* 90, 476-490.
- Hertel-Böhnke, P., M, Schneider, T. Ettle, and H. Spiekers. 2018 Langzeitstudie zu den Effekten verschiedener Kraftfutter-: Grobfutterverhältnisse in der Milchkuhfütterung auf Leistung und Futteraufnahme. *Züchtungskunde* 90, 417-429.
- Heuer, C., Y. H. Schukken, and P. Dobbelaar. 1999. Postpartum body condition score and results from the first test day milk as predictors of disease, fertility, yield, and culling in commercial dairy herds. *J. Dairy Sci.* 82, 295-304.
- Heuer, C., W. M. van Straalen, Y. H. Schukken, A. Dirkzwager, and J. P. T. M. Noordhuizen. 2000. Prediction of energy balance in a high yielding dairy herd in early lactation: model development and precision. *Livest. Prod. Sci.* 65, 91-105.
- ICAR (International Committee for Animal Recording). 2019. Health codes for bovine. <https://www.icar.org/index.php/publications-technical-materials/amendments-recording-guidelines/diseases-codes-for-cows/>. Viewed on 10/27/2019.
- Kessel, S., M. Stroehl, H. H. D. Meyer, S. Hiss, H. Sauerwein, F.J. Schwarz, and R.M. Bruckmaier. 2008. Individual variability in physiological adaption to metabolic stress during early lactation in dairy cows kept under equal conditions. *J. Anim. Sci.* 86, 2903-2912.
- Kirchgeßner, M., D. A. Roth-Maier, and M. Kreuzer. 1986. Milk urea and protein content to diagnose energy and protein malnutrition of dairy cows. *Arch. Tierernaehr.* 36, 192-197.
- Klein, M. S., N. Buttchereit, S. P. Miemczyk, A. K. Immervoll, C. Louis, S. Wiedemann, W. Junge, G. Thaller, P. J. Oefner, and W. Gronwald. 2012. NMR metabolomic analysis of dairy cows reveals milk glycerophosphocholine to phosphocholine ratio as prognostic biomarker for agreement of ketosis. *J. Proteome Res.* 11, 1373-1381.

- Kricziokat, J., T. Wittek, and M. Fürll. 2009. Untersuchungen zum Säuren-Basen-Haushalt in Pansen und Harn beim Milchrind. *Tierärztl. Prax.* 37 (G), 229-235.
- Kronschnabl, C. 2010. Ermittlung von laktationsspezifischen Prognosebereichen zur Beurteilung der Konzentration von Blutparametern beprobter Milchkühe. Dissertation, Veterinär-medizinische Fakultät, Ludwig-Maximilians-Universität München, Germany.
- Kronschnabl, C., H. Spiekers, W. Preissinger, M. Stangassinger, K. Mahlkow-Nerge, M. Pries, T. Jilg, B. Losand, and F.-J. Schwarz. 2011. Ermittlung von laktationsspezifischen Prognosebereichen zur Beurteilung der Konzentrationen von Blutparametern beprobter Milchkühe. Pages 558-567 in VDLUFA-Publication Series Vol. 67, VDLUFA-Verlag, Darmstadt, Germany.
- Lachmann, G., H. Siebert, and M. Schäfer. 1985. Säure-Basen-Parameter in Blut, Erythrozyten, Lebergewebe und Harn bei dekompensierter metabolischer Azidose des Rindes. *Arch. exp. Vet. med.* 39, 422-428.
- Lebzien, P., A. Riemeier, and G. Flachowsky. 2006. Investigations on the effect of the ruminal N-balance on rumen metabolism, urea content in blood serum and milk as well as some liver parameters of lactating cows. *Arch. Anim. Nutr.* 60, 99-109.
- Lessire, F., E. Knapp, L. Theron, and F. Rollin. 2013. Fiedl investigation of subacute rumen acidosis prevalence in Waloon dairy herds. Proceedings Buiatrissima 28.–30.08.2013, Bern, Switzerland.
- Martens, H. 2015. Stoffwechselbelastung und Gesundheitsrisiken der Milchkühe in der frühen Laktation. *Tierärztl. Umschau* 70, 496-504.
- Morrow, D. A. 1976. Fat Cow Syndrome. *J. Dairy Sci.* 59:1625–1629.
- NRC (National Research Council). 2001. *Nutrient Requirement of Dairy Cattle*. 7th rev. ed. Natl. Acad. Sci., Washington, DC.
- Pfeffer, E., A. Holthausen, H. Griese, M. Hovenjürgen, S. Kehraus, U. Boeser, and M. Loeff. 2010. Untersuchungen an Mastfärsen über Stickstoff-Ausscheidungen bei Fütterung von Mischrationen mit unterschiedlichen Gehalten an Rohprotein. *Züchtungskunde* 82, 144-154.
- Potter, T. J., J. Guitian, J. Fishwick, P. J. Gordon, and I. M. Sheldon. 2010. Risk factors for clinical endometritis in postpartum dairy cattle. *Theriogenology*. 74, 127-134.

- Pries, M., S. Hoppe, K.-H. Südekum, M. Baum, and M. Bruinenberg. 2018. Einfluss einer proteinreduzierten Fütterung hochleistender Milchkühe auf Leistungsparameter und Stickstoffausscheidungen. Pages 325-333 in VDLUFA-Publication Series Vol. 75, VDLUFA-Verlag, Darmstadt, Germany.
- Rajala-Schultz, P. J., W. J. A. Saville, G. S. Frazer and T. E. Wittum. 2001. Association between milk urea nitrogen and fertility in Ohio dairy cows. *J. Dairy Sci.* 84, 482-489.
- Reist, M., D. Erdin, D. von Euw, K. Tschuemperlin, H. Leuenberger, Y. Chilliard, H. M. Hammon, C. Morel, C. Philipona, Y. Zbinden, N. Kuenzi, and J. W. Blum. 2002. Estimation of Energy Balance at the Individual and Herd Level Using Blood and Milk Traits in High-Yielding Dairy Cows. *J. Dairy Sci.* 85, 3314-3327.
- Richardt, W., H. Jeroch, and J. Spilke. 2001a. Fütterungs- und nicht fütterungsbedingte Einflüsse auf den Milchharnstoffgehalt von Milchkühen. 1. Mitteilung: Fütterungsbedingte Einflussfaktoren auf den Milchharnstoffgehalt von Milchkühen. *Arch. Tierz., Dummerstorf* 44, 251-262.
- Richardt, W., H. Jeroch, and J. Spilke. 2001b. Fütterungs- und nicht fütterungsbedingte Einflüsse auf den Milchharnstoffgehalt von Milchkühen. 2. Mitteilung: Nicht fütterungsbedingte Einflussfaktoren auf den Milchharnstoffgehalt von Milchkühen. *Arch. Tierz., Dummerstorf* 44, 505-519.
- Richardt, W., H. Jeroch, and J. Spilke. 2002. Fütterungs- und nicht fütterungsbedingte Einflüsse auf den Milchharnstoffgehalt von Milchkühen. 3. Mitteilung: Vorschlag für ein dynamisches Modell zur Einschätzung der Rohproteinversorgung an Hand des Milchharnstoffgehaltes. *Arch. Tierz., Dummerstorf* 45, 151-157.
- Schmitz, R., K. Schnabel, D. von Soosten, U. Meyer, H. Spiekers, J. Rehage, and S. Dänicke. 2018a. The effects of energy concentration in roughage and allowance of concentrates on performance, health and energy efficiency of pluriparous dairy cows during early lactation. *Arch. Anim. Nutr.* 72, 100-120.
- Schmitz, R., K. Schnabel, D. von Soosten, U. Meyer, L. Hüther, H. Spiekers, J. Rehage, and S. Dänicke. 2018b. Changes of ruminal pH, rumination activity and feeding behavior during early lactation as affected by different energy and fibre concentrations of roughage in pluriparous dairy cows. *Arch. Anim. Nutr.* 72, 458-477.

- Seemann, G., and M. Spohr. 2010. Untersuchungen zur Häufigkeit der subklinischen Pansenazidose und Zuverlässigkeit üblicher Diagnostika. Leipziger Blaue Hefte: Proceedings 5. Leipziger Tierärztetag, Germany, Band 2, 99-102.
- Seggewiß, S. 2004. Überprüfung der Bedeutung von Milchhaltsstoffen für die Beurteilung der Energie-, Protein- und Strukturversorgung von HF-Kühen. Aus der Klinik für Rinder der Tierärztlichen Hochschule Hannover und dem Institut für Tierernährung der Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft in Braunschweig. Dissertation. University of Veterinary Medicine Hanover, Germany.
- Spiekers, H. 2018. Verbesserung der Haltung von Milchkühen durch Zuchtverfahren auf Futteraufnahme und Stoffwechselstabilität sowie Umweltverträglichkeit bei optimierter Fütterungsintensität und Nutzung von Stoffwechselindikatoren sowie Sensoren im Herdenmanagement – optiKuh – Einführung und Projektüberblick. Züchtungskunde 90, 410-416.
- Spiekers, H., P. Hertel-Böhnke, and U. Meyer. 2018. Verbundprojekt optiKuh. Tagungsband der Abschlussveranstaltung am 30/31.01.2018 in Braunschweig. LfL-Schriftenreihe 2/2018. Publisher: Bavarian State Institute for Agriculture, Freising-Weihenstephan, Germany.
- Spohr, M., and H. U. Wiesner, (1991): Kontrolle der Herdengesundheit und Milchproduktion mit Hilfe der erweiterten Milchleistungsprüfung. Milchpraxis 29, 231-236.
- Staufenbiel, R. 1992. Energie- und Fettstoffwechsel des Rindes. Untersuchungskonzept und Messung der Rückenfettdicke. Mh. Vet. Med. 47, 467-474.
- Steen, A., O. Østerås, and H. Grønstøl. 1996. Evaluation of additional acetone and urea analyses, and of the Fat-Lactose-Quotient in cow milk samples in the herd recording system in Norway. J. Vet. Med. A 43, 181-191.
- Steinwigger, A., P. Schweiger, L. Gruber, F. Lettner, and W. Schmid. 1998. Einfluß des Fütterungszeitpunktes sowie der Protein- und Energieversorgung auf den Milchharnstoffgehalt. Agribiol. Res. 51, 341-355.
- Steinwigger, A., T. Guggenberger, J. Gasteiner, L. Podstatzky, L. Gruber, J. Häusler, M. Gallnböck, and A. Schauer. 2009. Einfluss der Proteinversorgung auf Futteraufnahme, Milchleistung, Pansen- und Blutparameter sowie N-Ausscheidung von Milchkühen. Züchtungskunde 81, 106-124.



- Tamminga, S., P. A. Luteijn, and R. G. M. Meijer. 1997. Changes in composition and energy content of liveweight loss in dairy cows with time after parturition. *Livest. Prod. Sci.* 52, 31-38.
- Toni, F., L. Vincenti, L. Grigoletto, A. Ricci, and Y. H. Schukken. 2011. Early lactation ratio of fat and protein percentage in milk is associated with health, milk production, and survival. *J. Dairy Sci.* 94, 17721783.
- Tremblay, M., M. Kammer, H. Lange, S. Plattner, C. Baumgartner, J. A. Stegemann, J. Duda, R. Mansfeld, and D. Döpfer. 2018. Identifying poor metabolic adaptation during early lactation in dairy cows using cluster analysis. *J. Dairy Sci.* 101, 7311-7321.
- Urh, C., J. Denißen, T. Ettle, U. Meyer, R. Schmitz, E. Stamer, H. Spiekers, and H. Sauerwein. 2018. Varying the energy density of the diet by roughage composition and the amount of concentrates – effects on the circulating concentrations of adiponectin in Holstein and Simmental cows. Page 27 in *Proc. Soc. Nutr. Physiol.* 27. 72<sup>rd</sup> Conference 13<sup>th</sup>–15<sup>th</sup> March 2018 in Göttingen, society of Nutrition Physiology, Frankfurt a. M., Germany.
- VDLUFA. 2012. *VDLUFA-Methodenbuch, Bd. III. Die Chemische Untersuchung von Futtermitteln.* VDLUFA-Verlag, Darmstadt, Germany.
- Weissbach, F., and S. Kuhla. 1995. Stoffverluste bei der Bestimmung des Trockenmassegehaltes von Silagen und Grünfutter. Entstehende Fehler und Möglichkeiten der Korrektur. *Übers. Tierernährung.* 23, 189-214.
- Whiteford, L. C., and I. M. Sheldon. 2005. Short Communications. Association between clinical hypocalcaemia and postpartum endometritis. *Vet. Record.* 157, 202-204.
- Wittek, T., J. Kricziokat, and M. Füll. 2010. Pufferkapazität und pH-Wert des Pansensafts beim Milchrind während des Trockenstehens sowie in unterschiedlichen Laktationsstadien. *Tierärztl. Prax.* 38 (G), 141-146.
- Zebeli, Q., J. Dijkstra, M. Tafaj, H. Steingäß, B. N. Ametaj, and W. Drochner. 2008. Modeling the adequacy of dietary fiber in dairy cows based on the responses of ruminal pH and milk fat production to composition of the diet. *J. Dairy Sci.* 91, 2046-2066.
- Zebeli, Q., J. R. Aschenbach, M. Tafaj, J. Boguhn, B. N. Ametaj, and W. Drochner. 2012. Invited review: Role of physically effective fiber and estimation of dietary fiber adequacy in high-producing dairy cattle. *J. Dairy Sci.* 95, 1041-1056.

## 5 Zusammenfassende Diskussion

### 5.1 Verwendete Datensätze

Die Untersuchungen der vorliegenden Arbeit konnten an sehr umfangreichen Datensätzen durchgeführt werden. Das ausgewertete Material umfasst etwa 20 % der Milchkontrollen aller Milchkontrollverbände in Deutschland und Luxemburg aus dem Jahr 2015 und stellt eine repräsentative Stichprobe des aktuellen Leistungsvermögens der Milchkühe dar. Die Anteile der verglichenen Rassen im Datensatz entsprechen der Verteilung in Deutschland (Statistisches Bundesamt, 2017). Kühe der Rassen Deutsche Holstein, Fleckvieh und Braunvieh machen den größten Teil aus. Etwa 20 % der Milchkühe Deutschlands gehören anderen Rassen an (ADR, 2016, Statistisches Bundesamt, 2017) und wurden in dieser Arbeit mit verglichen. Die Datenauswahl sah zudem vor, dass möglichst fortlaufende Milchkontrollen der ausgewählten Kühe enthalten waren, was eine besonders gute Eignung des Datensatzes für die durchgeführten Analysen ausmacht. Nach Datenbereinigung und Auswahl der 15 häufigsten Milch- und Zweinutzungsrassen standen knapp 7,4 Mio. Milchkontrolldatensätze von fast 965.000 Kühen aus 9.000 Betrieben für die Auswertungen zur Verfügung. Die Ergebnisse beruhen auf einer zugrundeliegenden sehr großen Anzahl an Datensätzen, was die Sicherheit und Aussagekraft der Ableitungen untermauert. Da diese Untersuchungen sich jedoch nur auf Milchmenge und Milchinhaltsstoffe bezogen und die durchgeführte Innevalidierung anhand der Milchmenge nach bestimmten Kriterien sortierter Datensätze nur eine eingeschränkte Aussagekraft besitzt, war eine Validierung mit milchfernen Daten zur Absicherung der Ergebnisse notwendig.

Zwei verschiedene Validierungsansätze und -materialien kamen zur Anwendung. Der erste Teil (Validierungsdatensatz A) enthält zusätzlich zu den Milchkontrollen exakt und umfassend erhobene Gesundheitsdaten der Kühe (Testherdenprojekt der RinderAllianz GmbH). Der zweite Teil (Validierungsdatensatz B) entstammt den umfangreichen Datenerhebungen aus dem Projekt optiKuh und beinhaltet neben MLP-Daten Blut- und Fütterungsinformationen der Kühe. Validierungsdatensatz A wurde in Anlehnung an den MLP-Datensatz und den Validierungsdatensatz B mit Daten von Kühen aus den Jahren 2015 bis 2018 zusammengestellt. Im Rahmen des Testherdenprojekts der RinderAllianz GmbH werden seit 2005 Aufzeichnungen zur Tiergesundheit von Praxisbetrieben systematisch erfasst und für Zuchtwertschätzungen sowie

verschiedenste wissenschaftliche Untersuchungen vor dem Hintergrund der Gesunderhaltung leistungsstarker Milchküherden genutzt. Insgesamt standen 72.982 Datensätze mit fortlaufenden Milchkontrolldaten in Kombination mit Diagnosen nach dem Zentralen Tiergesundheitsschlüssel für Rinder (ICAR, 2019) aus dem Komplex Stoffwechselgesundheit inkl. Fruchtbarkeitskennzahlen von 43.863 Holsteinkühen aus mehreren Laktationen zur Verfügung. Dieser Datensatz A spiegelt die Datenlage gut geführter Hochleistungsherden aus dem Nordosten Deutschlands wider. Mit den vorhandenen Informationen konnten krankheitsbedingte Veränderungen der Milchinhaltstoffe im Verlauf der Laktation bzw. der anhand von Milchinhaltstoffen eingeschätzten Fütterungssituation auf Fruchtbarkeitskennzahlen aufgezeigt werden. Exakte Aussagen zur realen Versorgungssituation konnten jedoch nicht getroffen werden, da Daten zur Futtersituation oder Blutwerte nicht vorhanden waren.

Diese Daten konnte aber der zweite Validierungsdatensatz liefern. Mit dem Verbundprojekt optiKuh, Ursprung von Datensatz B, konnte in den Jahren 2014 bis 2017 ein umfangreicher Datensatz mit tierindividuellen Fütterungs- und Stoffwechsellinformationen zusammengestellt werden (Spiekers, 2018; Spiekers et al., 2018). Tier-, Fütterungs-, Blut- und Harndaten wurden unter standardisierten Bedingungen in zwölf Versuchsbetrieben verteilt über ganz Deutschland erhoben und in einer Versuchsdatenbank bei der TiDa Tier und Daten GmbH (Westensee-Brunx, Deutschland) zusammengeführt. Mit daraus tierindividuell berechneten Salden zur Futterenergie- und Futterrohproteinversorgung sowie den Stoffwechseldaten standen für den Abgleich des neu entwickelten Bewertungsschemas für Milchinhaltstoffe 49.275 sehr gut geeignete Datensätze mit den drei häufigsten Milchrindrassen zur Verfügung. Die gefütterten Rationen und Milchleistungskennzahlen können als typisch für deutsche Praxisbetriebe eingeordnet werden. Da die Rationen jedoch nach Empfehlungen der GfE (2001) gestaltet wurden und auf den Versuchsbetrieben eine gute Tierbetreuung gesichert war, konnten extreme Fütterungssituationen wie z. B. Fasermangel oder Überschuss an Stärke und Zucker nicht mit den Milchinhaltstoffen in Verbindung gebracht werden, wie es in anderen wissenschaftlichen Arbeiten mit speziellen Versuchsanstellungen der Fall war (z. B. Zebeli et al., 2008).

## 5.2 Zielstellung

Ziel der Arbeit war es, aus diesen umfangreichen Daten vorhandene Bewertungsrahmen für Milchinhaltsstoffe anhand von Milchleistungsdaten verschiedener Rassen und Regionen anzupassen und an milchfernen Daten wie Futter- und Nährstoffaufnahmen, Blut- und Harnparametern sowie Gesundheitsdaten von Milchkühen zu validieren. Das auf dieser Grundlage entwickelte Bewertungsschema wurde als „Dummerstorfer Fütterungsbewertung“ benannt. Die Validierung der Wertebereiche dieser 6-feldrigen Tafel führte zu guten Übereinstimmungen mit der Gesundheit bzw. dem Auftreten von Stoffwechselstörungen bei Milchkühen, mit Rationskennwerten sowie Blutwerten für ketotische Belastungen.

Da die neue „Dummerstorfer Fütterungsbewertung“ auf sehr vielen und aktuellen Daten von 15 verschiedenen Milchrindrassen basiert und deren Leistungsstand und rassespezifische Milchinhaltsstoffe berücksichtigt, kann das in dieser Arbeit entwickelte Bewertungsschema für die meisten Milch- und Zweinutzungsrasse in Deutschland zur Anwendung empfohlen werden. Hiermit kann nicht nur die Fütterung präziser kontrolliert, sondern es können auch Stoffwechselbelastungen der Kühe erkannt werden. Gleichzeitig wurden mit dieser Arbeit Reserven in der Futterrohproteinversorgung aufgezeigt. Eine Verringerung von Rohproteinüberschüssen in Rationen mit Hilfe dieses Schemas kann zum einen Futterkosten reduzieren, aber auch aus Stickstoffüberschüssen entstehende Ammoniakemissionen mindern. Die Anwendung der in dieser Arbeit entwickelten „Dummerstorfer Fütterungsbewertung“ erscheint somit sinnvoll, um sowohl für das Tierwohl, als auch für die Nachhaltigkeit und den Umweltschutz einen Beitrag zu leisten. Die Empfehlungen für die Rassen Jersey und Angler konnten allerdings nicht mit milchfernen Daten validiert werden, weil dazu aktuell keine entsprechenden Datensätze verfügbar waren. Für die Zukunft wäre dies ein wünschenswertes Forschungsthema.

## 5.3 Die drei wissenschaftlichen Publikationen

Im Rahmen der vorliegenden Arbeit wurden drei wissenschaftliche Artikel zur Veröffentlichung in begutachteten (peer-review) Fachzeitschriften entsprechend der Promotionsordnung der Agrar- und Umweltwissenschaftlichen Fakultät der Universität Rostock vom 12. April 2017 erstellt. Zur Bearbeitung der überlassenen Thematik

wurden in einem ersten Artikel 15 verschiedene Milch- und Zweinutzungsrasen verglichen sowie Zusammenhänge von Milchmenge und Milchinhaltsstoffen im Verlauf der Laktation und zwischen Laktationsnummernklassen analysiert. Anhand des gleichen Datenmaterials wurde ein zweites Manuskript zur Ableitung eines neuen Bewertungsschemas zur Beurteilung der Versorgungssituation von Milchkühen mittels Daten aus der Milchkontrolle verfasst. Die aus diesen Auswertungen entstandenen neuen Empfehlungen zur künftigen Auswertung von Milchinhaltsstoffen wurden anhand von zwei verschiedenen Datensätzen mit milchfernen Daten validiert und Aussagen zum neuen Bewertungsrahmen konkretisiert. Diese Ergebnisse sind Grundlage der dritten Publikation. Die drei Publikationen bauen somit unmittelbar aufeinander auf und widmen sich der Weiterentwicklung der benannten Bewertungswerkzeuge mit verschiedenen Ansätzen. Zudem stehen sie in sehr engem zeitlichem Zusammenhang, da sie alle drei innerhalb eines Jahres verfasst und eingereicht wurden: Manuskript 1 und 2 wurden Ende Juni 2019 eingereicht, am 17. September 2019 zur Veröffentlichung angenommen und im November 2019 in der Züchtungskunde 91 veröffentlicht. Manuskript 3 wurde am 29. November 2019 beim Journal of Dairy Science eingereicht und in überarbeiteter Version am 16. Juni 2020 mit dem Titel „Relationship between milk constituents from milk testing and health, feeding and metabolic data of dairy cows“ zur Veröffentlichung angenommen. Mit dieser Veröffentlichung werden die wesentlichen Inhalte des neuen Bewertungsschemas auch einer internationalen Leserschaft zugänglich.

Das verwendete Datenmaterial stammt aus den Jahren 2014 bis 2018 und spiegelt somit die aktuelle Situation deutscher Milchkühe wider. Zwischen der Entwicklung von bisher vielfach genutzten Bewertungsrahmen zur Charakterisierung der Versorgungssituation von Milchkühen anhand von Milchinhaltsstoffen und den Empfehlungen zur Umsetzung der neuen „Dummerstorfer Fütterungsbewertung“ liegen rund 3 Jahrzehnte. In dieser Zeit hat sich in der Milchproduktion viel verändert und eine Anpassung an den heutigen Leistungs- und Wissensstand wird dringend von Praxis und Beratung erwartet. Für eine flächendeckende Umsetzung seitens der Landeskontrollverbände wird eine Bestätigung durch die Gesellschaft für Ernährungsphysiologie (GfE) gewünscht mit der noch in diesem Jahr gerechnet werden kann.

## 5.4 Empfehlungen zur Umsetzung

Wichtigstes Ergebnis des Vergleichs der 15 verschiedenen Milch- und Zweinutzungsrasen stellen die Unterschiede von Fettgehalt und Fett-Eiweiß-Quotient der Rassen Jersey und Angler zu allen weiteren Rassen der Untersuchung dar. Dies spiegelt sich auch in der Höhe der Laktationskurven wider. Da diese Unterschiede für die Interpretation von Milchinhaltstoffen im Hinblick auf die Energieversorgungslage relevant sind, ergibt sich hieraus die Notwendigkeit von drei separaten Bewertungsrahmen für Jersey, für Angler sowie für alle weiteren Rassen dieser Auswertung.

Unterschiede zwischen verschiedenen Laktationsnummern innerhalb der Rassen, abgesehen von der Milchmenge, sind als eher gering und von untergeordneter Bedeutung für die Fütterungs- und Gesundheitsbewertung einzustufen.

Zur Beurteilung der Futterenergieversorgung sollte der Milcheiweißgehalt allein (Spohr und Wiesner, 1991) nicht mehr verwendet werden, da er von der Milchmenge abhängig ist und diese bei aktuell genutzter Genetik stark variiert. Ein milchleistungsunabhängiger Anzeiger für den Energiesaldo ist der Fett-Eiweiß-Quotient. Dieser wird auch in diversen nationalen und internationalen wissenschaftlichen Arbeiten als Bewertungsmaßstab für die Energieversorgungssituation gesehen (z. B. Grieve et al., 1986; Spohr und Wiesner, 1991; Heuer et al., 1999, 2000; Reist et al., 2002; Seggewiß, 2004; Cook et al., 2006; Bergk und Swalve, 2011; Toni et al., 2011; Buttchereit et al., 2012). Zur Abgrenzung einer Mangel- von einer optimalen Energieversorgung wird vorgeschlagen, den populationsspezifischen Mittelwert + 1 Standardabweichung zu verwenden (Tab. 5-1). Der Fettgehalt unterliegt ebenfalls mit steigender Milchleistung einem Verdünnungseffekt und ist ohne Berücksichtigung von Rasse und Milchmenge nicht geeignet, um Aussagen zur Futterenergieversorgungs- oder Stoffwechsellage zu treffen, wie es z. B. von Heuer et al. (2000) aufgeführt wurde. Auch der Fett-Laktose-Quotient (Steen et al., 1996, Reist et al., 2002) stellte sich in der vorliegenden Untersuchung zur Beurteilung der Energieversorgungssituation als nicht geeignet dar.

Des Weiteren können Unter- bzw. Überschreitungen eines statistischen Normalbereichs für die Milchinhaltstoffe Eiweiß (%) und Fett (%) zusätzliche Hinweise zur Stoffwechselsituation liefern. Hierzu wird die populationsspezifische Regressionsformel für die Abhängigkeit von Eiweiß bzw. Fett von der Milchmenge genutzt und der am Datenmittelwert berechnete Anteil der Reststandardabweichung einbezogen (Tab. 3-4).

**Tabelle 5-1.** Übersicht Ableitung eines populationspezifischen  $FEQ_{Grenz}$ 

Auswertung für	n	Fett-Eiweiß-Quotient		$FEQ_{Grenz}$
		$\bar{x}_{arith}$	s	
JERSEY	3.601	1,41	0,22	1,6
ANGLER	81.722	1,29	0,21	1,5
GRUPPE <sup>1</sup>	7.284.904	1,20	0,19	1,4

<sup>1</sup> Deutsche Holstein-Schwarzbunt, Deutsche Holstein-Rotbunt, Braunvieh, Rotvieh alter Angler Zuchtrichtung, Rotbuntes Niederungsgrind, Deutsches Schwarzbuntes Niederungsgrind, Fleckvieh, Vorderwälder, Braunvieh alter Zuchtrichtung, Montbéliard, Sonstige Rassen, Kreuzung Fleischrind x Milchrind, Kreuzung Milchrind x Milchrind

Zur Identifikation von Risikotieren im Hinblick auf eine ketotische Stoffwechsellage wurde bisher häufig ein erhöhter Fett-Eiweiß-Quotient von  $> 1,5$  verwendet (z. B. Heuer et al., 1999). Mit der Kombination des populationsabhängigen  $FEQ_{Grenz}$  mit den Grenzen der statistischen Normalbereiche wird eine bessere Übereinstimmung mit milchfernen Daten zur Ketoseidentifikation erreicht. Mit Hilfe von Sensitivitäts-Spezifitäts-Analysen mit Daten aus beiden Validierungsdatensätzen wurde die erste Darstellung zur Identifizierung von Kühen mit Verdacht auf Ketose des neuen Bewertungsrahmens (z. B. Tab. 3-7) noch ergänzt und so eine bessere Auffindungsrate verdächtiger Tiere erreicht. Kühe mit einer Ketosegefahr sollten wie folgt gekennzeichnet werden:

$$FEQ > FEQ_{Grenz} \text{ und } E < E_{min} \text{ bzw. } FEQ > FEQ_{Grenz} \text{ und } F > F_{max}$$

Gemessen am sogenannten Goldstandard zur Ketosebestimmung, dem Laborwert für Betahydroxybutyrat im Blut (BHB) von  $> 1,2$  mmol/L (Mahrt et al., 2015), waren 218 Tiere aus dem Validierungsdatensatz B von insgesamt 2001, für die innerhalb der ersten 60 Laktationstage ein Laborblutwert verfügbar war, an Ketose erkrankt. Diese Zahl entspricht 10,8 % der Kühe in der Früh-laktation, ähnlich wie bei Mahrt et al. (2015), die für Kühe innerhalb der ersten 42 Laktationstage eine Prävalenz von 11,8 % ermittelten. Mit der oben aufgeführten Kennzeichnung anhand der Milchinhaltsstoffe wurden 58,3 % der Ketosekühe richtig identifiziert (Sensitivität) und ein Anteil von 78,4 % wurde richtiger Weise als gesund eingestuft (Spezifität). Der positive prädiktive Wert, der Anteil der über die Milchinhaltsstoffe wie oben aufgeführt als krank gekennzeichneten Kühe, der tatsächlich erkrankt war, lag bei 24,8 %, der negative prädiktive Wert, der Anteil als gesund markierter Kühe, der tatsächlich gesund war, lag bei 93,9 %. Zum Abgleich wurden die Daten mit den Merkmalen nach

Goldstandard sowie einem  $FEQ > 1,5$  als Ketosekennzeichnung in die Kontingenztafel eingetragen. Dieser Test ergab eine Sensitivität von 45,9 %, eine Spezifität von 87,5 %, einen positiven prädiktiven Wert von 31,1 % und einen negativen prädiktiven Wert von 93,0 %. Die Trennfähigkeit für die gesunden Kühe ist für beide Grenzwerte für Milchinhaltsstoffe hoch und auf ähnlichem Niveau. Die Genauigkeit für das Auffinden einer Kuh mit  $BHB > 1,2$  mmol/L mit Hilfe eines erhöhten  $FEQ > 1,5$ , wie er bisher häufig verwendet wurde, ist etwas höher als mit dem Neuvorschlag, jedoch ist die Empfindlichkeit der Kennzeichnung  $FEQ > FEQ_{Grenz}$  und  $E < E_{min}$  bzw.  $FEQ > FEQ_{Grenz}$  und  $F > F_{max}$  im Gegensatz zum  $FEQ > 1,5$  größer. Da insgesamt viele Faktoren Einflüsse auf die Ausprägung der Milchinhaltsstoffe haben können und die Genauigkeit mit 25 % bis 31 % begrenzt ist, sollte niemals anhand von MLP-Daten allein entschieden werden, ob ein Tier hinsichtlich einer Ketose behandelt werden soll oder nicht. Es sind stets weitere Indikatoren in die Entscheidung mit einzubeziehen. Im Umgang mit den Tieren ist jedoch eine hohe Trefferquote aus der Analyse von MLP-Daten für eine richtige Vorauswahl ketosegefährdeter Kühe sehr wertvoll und daher das Merkmal mit der höheren Sensitivität zu bevorzugen.

Neben der positiven Eigenschaft, dass Milchproben mittels Infrarotspektroskopie relativ kostengünstig untersucht werden können, haben Milchuntersuchungen zudem den Vorteil gegenüber einer Ketosebestimmung im Vollblut, dass die Gewinnung des Probenmaterials nicht invasiv ist.

Über die Milchinhaltsstoffe allein lassen sich Kühe mit einer subklinischen Pansenazidose sowie Kühe in einer Energieübersorgungssituation bzw. mit der Gefahr, zu verfetten, nicht eindeutig identifizieren. Bisher wurden zur Kennzeichnung azidosegefährdeter Kühe z. B. ein geringer  $FEQ$  von  $< 1,0$  oder ein geringer Fettgehalt von  $< 3,00$  % genutzt (Kruif et al., 2007). Letzterer ist aus Gründen des beschriebenen Verdünnungseffektes bei hohen Milchmengen abzulehnen. Ein geringer  $FEQ$  von  $< 1,0$  zeigt leicht niedrigere bzw. ähnlich schlechte Sensitivitäten wie der relativ zur Milchmenge erniedrigte Fettgehalt  $F < F_{min}$ . Andere bewährte Instrumente der Tierkontrolle wie z. B. die Beobachtung des Wiederkauverhaltens und die Beurteilung der Kotkonsistenz sind hier heranzuziehen. Soll in einem MLP-Rückbericht dennoch auf eine Ausweisung azidosegefährdeter Kühe nicht verzichtet werden, dann ist konsequenter Weise der Wert  $F < F_{min}$  zu empfehlen.

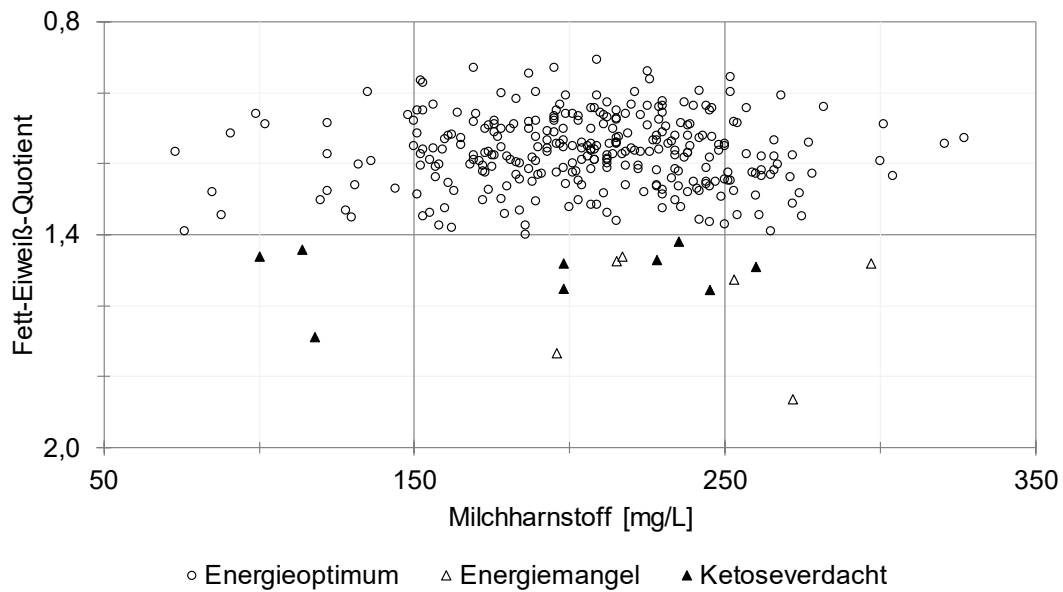
Regional verschieden werden bisher Obergrenzen für Milcheiweißgehalte von 3,70 % bis 4,00 % ausgewiesen (LKV NRW, 2018; LKV SH, 2019). Überschreitungen sollen



auf Energieübersorgung bzw. eine Verfettungsgefahr hinweisen. Kühe mit hohem Eiweißgehalt sind vermutlich sehr gut versorgt und zeigen ihr genetisches Potential, welches auch innerhalb einer Rasse variieren kann. Eine mögliche Verfettung sollte daher mit anderen Methoden, wie z. B. der regelmäßigen Beurteilung der Körperkondition (Edmonson et al., 1989), überprüft werden. Wenn auch hier auf eine Ausweitung eines oberen Grenzwertes nicht verzichtet werden soll, dann ist im letzten Laktationsdrittel ein relativ zur Milchmenge erhöhter Eiweißgehalt  $E > E_{\max}$  als Indikator zu empfehlen.

Zur Beurteilung der Futterrohproteinversorgung wird weiterhin der Milchharnstoffgehalt empfohlen. Er steht in keinem engeren relevanten Verhältnis zu weiteren Milchhaltsstoffen oder der Milchmenge und wird hauptsächlich von der Fütterung beeinflusst. Aus den vorliegenden Untersuchungen und in Anlehnung an andere wissenschaftliche Arbeiten ist aus ernährungsphysiologischer Sicht und vor dem Hintergrund eines geringeren Stickstoffeintrags in den Produktionskreislauf ein optimaler Bereich für den Milchharnstoffgehalt von 150 mg/L bis 250 mg/L anzustreben (z. B. Wenninger und Distl, 1994; Rajala-Schultz et al., 2001; Lebzien et al., 2006; Steinwidder et al., 2009; Pfeffer et al., 2010; Pries et al., 2018). Dies entspricht einer Absenkung der bisherigen oberen Grenze um 50 mg Harnstoff/L Milch. In besonderen Fütterungssituationen, z. B. wenn die Futtergrundlage zu größeren Teilen aus Weidegras oder proteinreichen Grassilagen bestehen soll bzw. aufgrund fehlender anderer Futtermittel nicht ausbalanciert werden kann, sind Harnstoffgehalte  $> 250$  mg/L auf Herdenniveau normal und zu tolerieren. Eine Option stellt eine zusätzliche Kategorie bis 300 mg/L für Weidebetriebe dar.

Die optische Darstellung von Milchharnstoffgehalten und Fett-Eiweiß-Quotienten als Punktdiagramm im Fütterungsbericht des MLP-Rückberichts stellt ein einfaches und übersichtliches Hilfsmittel zur schnellen Einschätzung der Fütterungssituation auf Herdenebene dar und könnte wie in Abbildung 5-1 gestaltet werden. Mit einer tabellarischen Aufbereitung lassen sich zusätzliche nützliche Informationen zur Fütterungssituation sowohl für die gesamte Herde als auch für Gruppen nach Laktationsstadien kompakt darstellen (Tab. 5-2). Wird der FEQ als  $FEQ_{\text{Grenz}}$ , d. h. relativ dargestellt, können Kühe der drei verschiedenen Bewertungsrahmen auch zusammengefasst im Punktdiagramm und im unteren Teil der Tabelle dargestellt werden.



**Abbildung 5-1.** Beispiel-Punktdiagramm nach neuer „Dummerstorfer Fütterungsbewertung“ für einen Betrieb mit Kühen der Rasse Deutsche Holstein.

**Tabelle 5-2.** Beispieltabelle nach neuer Fütterungsbewertung für einen Betrieb mit Kühen der Rasse Deutsche Holstein

Laktationsstadium	Durchschnittswerte Milchkontrolle								
	gemolkene Kühe	Milch [kg/Tag]	Fett [%]	Eiweiß [%]	FEQ	Harnstoff [mg/L]	Laktose [%]	Zellzahl [Tsd./ml]	
<b>Herde</b>	<b>gesamt</b>	<b>409</b>	<b>39,5</b>	<b>3,99</b>	<b>3,40</b>	<b>1,17</b>	<b>209</b>	<b>4,88</b>	<b>168</b>
	6 – 30	21	39,1	4,41	3,46	1,28	131	4,86	167
	31 – 60	43	45,9	3,85	3,09	1,25	190	4,99	79
	61 – 100	43	48,7	3,76	3,17	1,19	202	4,95	169
	101 – 200	111	42,0	3,80	3,31	1,15	213	4,91	188
	201 – 300	118	37,4	4,05	3,50	1,16	229	4,86	141
	> 300	73	29,9	4,26	3,66	1,16	208	4,76	233
<b>1. Laktation</b>	<b>gesamt</b>	<b>125</b>	<b>34,5</b>	<b>4,03</b>	<b>3,43</b>	<b>1,17</b>	<b>200</b>	<b>4,99</b>	<b>82</b>
<b>2. Laktation</b>	<b>gesamt</b>	<b>100</b>	<b>42,5</b>	<b>4,01</b>	<b>3,39</b>	<b>1,18</b>	<b>204</b>	<b>4,87</b>	<b>118</b>
<b>≥ 3. Laktation</b>	<b>gesamt</b>	<b>184</b>	<b>41,2</b>	<b>3,95</b>	<b>3,38</b>	<b>1,17</b>	<b>218</b>	<b>4,81</b>	<b>253</b>

Laktationsstadium	Anteil Kühe in %					
	gemolkene Kühe	Energiemangel FEQ > 1,4	Ketoseverdacht FEQ > 1,4 & E < E <sub>min</sub> FEQ > 1,4 & F > F <sub>max</sub>	Azidoseverdacht F < F <sub>min</sub>	Verfettungsgefahr E > E <sub>max</sub>	
<b>Herde</b>	<b>gesamt</b>	<b>100</b>	<b>3,9</b>	<b>2,4</b>	<b>4,6</b>	<b>32,8</b>
	6 – 30	5	9,5	9,5	0,0	38,1
	31 – 60	10	23,3	4,7	4,7	20,9
	61 – 100	11	20,9	4,7	0,0	27,9
	101 – 200	27	5,4	1,8	2,7	29,7
	201 – 300	29	1,7	1,7	5,1	37,3
	> 300	18	2,7	0,0	11,0	38,4
<b>1. Laktation</b>	<b>gesamt</b>	<b>31</b>	<b>1,6</b>	<b>0,8</b>	<b>3,2</b>	<b>16,8</b>
<b>2. Laktation</b>	<b>gesamt</b>	<b>24</b>	<b>5,0</b>	<b>2,0</b>	<b>4,0</b>	<b>46,0</b>
<b>≥ 3. Laktation</b>	<b>gesamt</b>	<b>45</b>	<b>4,9</b>	<b>3,8</b>	<b>6,0</b>	<b>36,4</b>

Lediglich der obere Teil der Tabelle sollte aufgrund der deutlichen Milchmengenunterschiede zwischen den drei Auswertungsgruppen Jersey, Angler und die Gruppe der weiteren Rassen separat dargestellt werden.

Bei der Interpretation von Milchfettgehalten und dem Fett-Eiweiß-Quotienten sind stets besondere Situationen, die den Fettgehalt beeinflussen können, auszuschließen bzw. zu berücksichtigen. Milchfettdepression durch spezielle Futtermittel bzw. geringe Fettkonzentrationen durch falsche Probenahme für die Milchkontrolle bzw. sehr kurze Melkintervalle bei automatischen Melkverfahren können denkbare Energiemangelsituationen oder Ketoseverdachtsfälle maskieren und möglicherweise eine gute Fütterungssituation vortäuschen. Ebenso könnten dadurch fälschlicher Weise Risikotiere für Pansenfermentationsstörungen ausgewiesen werden.

Die vorliegende Arbeit konnte anhand von verschiedenen Ansätzen darstellen, warum in der Praxis eine Diskrepanz zwischen Aussagen bisher vielfach genutzter Beurteilungssysteme für Milchinhaltsstoffe mit weiteren Möglichkeiten der Tierbeurteilung festgestellt wird. Auch wenn die Aussagekraft der Milchinhaltsstoffe im Hinblick auf die Versorgungs- und Stoffwechselsituation nur begrenzt ist und viele andere Faktoren ebenfalls Einfluss haben, stellen Milchkontrolldaten weiterhin ein wertvolles und kostengünstiges Hilfsmittel in der Betriebsführung dar. Für den neuen Beurteilungsrahmen konnte eine deutlich höhere Übereinstimmung der neuen Wertebereiche mit der tatsächlichen Versorgungs- bzw. Stoffwechselsituation gemessen an Futter- und Nährstoffsalden sowie Körperkonditionsveränderungen und Blutwerten gezeigt werden. Mit der Weiterentwicklung steht Milcherzeugern jetzt monatlich ein aussagekräftigeres Bewertungswerkzeug zur Verfügung, mit dem eine ausgewogene Ernährung laktierender Kühe, ihr Gesundheitsstatus gegenüber Stoffwechselstörungen sowie eine umwelt- und ressourcenschonende Proteinversorgung bewertet und umgesetzt werden können.

Zukünftig sollte aber auch dieses Bewertungsschema in regelmäßigen Abständen anhand aktueller und möglichst umfangreicher Daten validiert werden. Bei fortschreitender technischer Entwicklung ist die Einbeziehung von Körperkonditionsbeurteilung sowie umfangreicher Rations- und Futteraufnahme-daten denkbar. Gegebenenfalls sind Präzisierungen des Schemas notwendig. Die Digitalisierung mit einer rasant zunehmenden Datenerfassung ermöglicht gegebenenfalls zukünftig die Einbeziehung mehrerer oder sogar ganz anderer Parameter in die Bewertung der Ernährung von Kühen. Z. B. kann die Mittelinfrarotspektroskopie Informationen zur Fettsäurezusammen-

setzung bzw. zur Herkunft des Milchfetts geben (Eskildsen et al., 2014; Woolpert et al., 2016).

Auch ist eine häufigere Milchkontrolle gerade zu Laktationsbeginn sinnvoll. Im Sinne einer intensiven und regelmäßigen Kontrolle und insbesondere einer zeitnahen Reaktion auf Hinweise aus den Milchinhaltsstoffen, ist eine wöchentliche Milchkontrolle in der frühen Laktation z. B. bis zum 30. Laktationstag empfehlenswert. Demgegenüber könnten aus Kostengründen Milchkontrollen bei Kühen in späten Laktationsabschnitten mit größeren zeitlichen Intervallen durchgeführt werden. Jedoch erfordert dies eine deutlich aufwändigere Logistik der Milchkontrollen.

Zusätzliche Untersuchungen sollten auch in der Validierung der hier beschriebenen Grenzwerte für die Rassen Angler und Jersey sowie für Kühe mit Weidegang durchgeführt werden. Dazu sind umfassende Datenerhebungen von Blut- und Harnparametern, Rationszusammensetzungen sowie Gesundheitsdaten hinsichtlich Stoffwechselstörungen erforderlich. Weiterer Forschungsbedarf besteht hinsichtlich der Beurteilung des Beitrags von endogenem Stickstoff zum Milchwahnharnstoff in katabolen Stoffwechselsituationen.

## 6 Schlussfolgerungen

Auch wenn die Aussagekraft von MLP-Daten zur Versorgungssituation von Milchkühen nur bedingt hoch ist, stellt die Standardmilchkontrolle weiterhin ein wertvolles und kostengünstiges Hilfsmittel zur Unterstützung der täglichen Arbeit insbesondere zur Fütterungs- und Gesundheitskontrolle von Milchkühen dar. Werden der Verlauf über das Jahr betrachtet und weitere etablierte Werkzeuge der Tier- und Fütterungskontrolle einbezogen, kann auf dieser Grundlage ein gutes Herdenmanagement gelingen. Die Untersuchungen der vorliegenden Arbeit brachten neue Auswertungsmöglichkeiten für MLP-Daten hervor, die rassespezifische Eigenschaften bezogen auf Milchinhaltstoffe und Leistungspotential von im deutschsprachigen Raum genutzten Milchkühen berücksichtigen. Des Weiteren zeigten sie eine deutlich höhere Übereinstimmung der neuen Wertebereiche mit der tatsächlichen Versorgungs- bzw. Stoffwechselsituation gemessen an Futter- und Nährstoffsalden sowie Körperkonditionsveränderungen und Blutwerten im Gegensatz zu bisher vielfach genutzten Grenzwerten.

Aus den Ergebnissen können folgende Schlussfolgerungen zusammenfassend herausgestellt werden:

1. Abgesehen von der Milchmenge bestehen innerhalb der ausgewerteten Rassen nur sehr geringe Unterschiede der Milchmerkmale zwischen den Laktationsnummern.
2. Zwischen den Rassen unterscheidet sich die Form der Laktationskurven nur unwesentlich, Höhe und Ausprägung hingegen stehen im Zusammenhang mit rassespezifischem Leistungsvermögen und den überwiegend genetisch fixierten Eiweiß- sowie Fettkonzentrationen.
3. Jersey und Angler unterscheiden sich im Milchfettgehalt und Fett-Eiweiß-Quotienten von allen weiteren Rassen dieser Untersuchung, weshalb drei separate Bewertungsrahmen als sinnvoll erscheinen, da die Unterschiede zwischen den Rassen für die Interpretation von erheblicher Relevanz sind.
4. Da Fett- und Eiweißkonzentrationen mit steigender Milchleistung abnehmen, sind starre Wertebereiche ungeeignet. Der Fett-Eiweiß-Quotient ist hingegen nahezu unabhängig von der Milchleistung und daher ein besserer Indikator zur Einschätzung der Futterenergieversorgung.

5. Zur Abgrenzung einer Energiemangelversorgung von einer optimalen Energieversorgung werden rassespezifische Grenzwerte für den Fett-Eiweiß-Quotienten empfohlen:  $FEQ_{\text{Grenz}} = \bar{x}_{\text{Rasse}} + 1$  s:

Jersey > 1,6; Angler > 1,5; weitere Rassen dieser Auswertung > 1,4

6. Individuelle unter Einbeziehung der Milchmenge berechnete statistische Ober- und Untergrenzen für Milcheiweiß (%) und Milchfett (%) separat für Jersey, Angler und die weiteren Rassen dieser Auswertung liefern zusätzliche Hinweise zur Stoffwechselsituation.

7. Ketoseverdacht kann wie folgt markiert werden:

$FEQ > FEQ_{\text{Grenz}} \ \& \ E < E_{\text{min}}$  bzw.  $FEQ > FEQ_{\text{Grenz}} \ \& \ F > F_{\text{max}}$

8. Milhharnstoff stellt weiterhin das Kriterium zur Beurteilung der Futterrohproteinversorgung bzw. der ruminalen Stickstoffbilanz auf Gruppenebene dar, die Obergrenze für einen Optimalbereich im Hinblick auf eine effiziente Stickstoffnutzung sollte jedoch auf 250 mg/L gesenkt werden.

9. Sowohl Energieübersversorgung als auch subklinische Pansenazidosen sind allein anhand von MLP-Daten nicht eindeutig zu identifizieren.

10. Sollen z. B. aus didaktischen Gründen jedoch weiterhin Verdachtsfälle für Verfettungsgefahr bzw. Pansenfermentationsstörung gekennzeichnet werden, so sind konsequenterweise folgende Kennwerte zu nutzen:

Verfettungsgefahr:  $E > E_{\text{max}}$  in Spätlaktation > 200 Tage postpartum

Azidoseverdacht:  $F < F_{\text{min}}$

11. Übersichten auf Herden- bzw. Gruppenebene sind sowohl als Punktdiagramm als auch als Tabelle, in der das Laktationsstadium berücksichtigt wird, hilfreich.

12. Weitere Forschung ist nötig, um die Grenzwerte für Kühe der Rassen Angler und Jersey anhand von Gesundheitsdaten bzw. Stoffwechselfparametern aus Blut oder Harn zu validieren.

13. Das hier entwickelte und empfohlene neue Fütterungsbewertungsschema gilt es auch zukünftig an umfangreichen und präzisen milchfernen Daten zu validieren und ggf. zu präzisieren.

## 7 Danksagung

Um dieses Thema zu bearbeiten, erhielt die Autorin dankenswerterweise ein Stipendium der Landesgraduiertenförderung Mecklenburg-Vorpommern über die Universität Rostock.

Dank gilt auch den Landeskontrollverbänden für die Überlassung der Milchkontrolldaten.

Der Datensatz A stammt aus dem Testherdenprojekt der RinderAllianz GmbH und wurde freundlicherweise vom Institut für Tierproduktion der Landesforschungsanstalt für Landwirtschaft und Fischerei Mecklenburg-Vorpommern in Dummerstorf zur Verfügung gestellt.

Das optiKuh-Konsortium stellte freundlicherweise den Datensatz B zur Verfügung. Das Verbundprojekt optiKuh wurde vom Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages über die Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung im Rahmen des Innovationsförderprogramms gefördert.

Ein besonderer Dank gilt dem Institut für Tierproduktion der Landesforschungsanstalt für Landwirtschaft und Fischerei Mecklenburg-Vorpommern für die Überlassung des Themas und für die Bereitstellung von Büroräumen und -equipment sowie der Agrar- und Umweltwissenschaftlichen Fakultät der Universität Rostock, über die diese Promotionsarbeit im Rahmen des Kooperationsvertrages mit der Landesforschungsanstalt realisiert werden konnte.

Ganz herzlich bedanken möchte ich mich bei allen Menschen, die zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen haben, die sich Zeit für meine Anliegen und Fragen genommen, sich mit mir in die Thematik hineingedacht, mir den Rücken freigehalten und mit Ratschlägen, Tipps und Expertise weitergeholfen haben.

## 8 Literaturverzeichnis (Kapitel 1 und 5)

- ADR. 2016. Rinderproduktion in Deutschland 2015. Ausgabe 2016. Bonn.
- Bergk, N. und H. H. Swalve. 2011. Der Fett-Eiweiß-Quotient in der Früh lactation als Indikator für den Verbleib von Erstkalbinnen in der Milchkuhherde. Züchtungskunde 83, 89-103.
- BLE (Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung). 2019.  
[https://www.ble.de/SharedDocs/Downloads/DE/BZL/Informationsgrafiken/190726\\_Milchleistung.html](https://www.ble.de/SharedDocs/Downloads/DE/BZL/Informationsgrafiken/190726_Milchleistung.html), eingesehen am 28.11.2019.
- Breves, G. 2007. Züchtung und Stoffwechselstabilität beim Rind – Empfehlungen für Zucht und Haltung. Züchtungskunde 79, 52-58.
- Buttchereit, N., E. Stamer, W. Junge und G. Thaller. 2012. Modellevaluierung und Schätzung genetischer Parameter für Energiebilanz und verwandte Merkmale bei Milchkühen. Züchtungskunde 84, 74-89.
- Cook, N., G. Oetzel and K. Nordlund. 2006. Modern techniques for monitoring high-producing dairy cows 2. Practical applications. In Practice 28, 598-603.
- DLG (Deutsche Landwirtschafts-Gesellschaft). 2012. Arbeitskreis Futter und Fütterung. Fütterungsempfehlungen für Milchkühe im geburtsnahen Zeitraum: Versorgung während des Trockenstehens und in der Früh lactation; eine Information des DLG-Arbeitskreises Futter und Fütterung. Herausgeber DLG e.V. DLG-Verlag GmbH, Frankfurt a. M.
- DLQ (Deutscher Verband für Leistungs- und Qualitätsprüfungen e. V.). 2019.  
<https://www.die-milchkontrolle.de/milchkontrolle/>, eingesehen am 06.12.2019.
- Edmonson A. J., I. J. Lean, L. D. Weaver, T. Farver and G. Webster. 1989. A body condition scoring chart for Holstein Dairy cows. J. Dairy Sci. 72, 68-78.
- Eskildsen, C. E., M. A. Rasmussen, S. B. Engelsen, L. B. Larsen, N. A. Poulsen and T. Skov. 2014. Quantification of individual fatty acids in bovine milk by infrared spectroscopy and chemometrics: Understanding predictions of highly collinear reference variables. J. Dairy Sci. 97, 7940-7951.
- GfE (Ausschuss für Bedarfsnormen der Gesellschaft für Ernährungsphysiologie). 2001. Empfehlungen zur Energie- und Nährstoffversorgung der Milchkühe und Aufzuchtrinder. Heft 8. DLG-Verlag, Frankfurt a. M., Deutschland.



- Glatz-Hoppe, J. und B. Losand. 2019. Use of milk recording data for characterisation of dairy cow supply situation. *Proc. Soc. Nutr. Physiol.* 28, 37.
- Grieve, D. G., S. Korver, Y. S. Rijpkema and G. Hof. 1986. Relationship between milk composition and some nutritional parameters in early lactation. *Livest. Prod. Sci.* 14, 239-254.
- Haenel H.-D., C. Rösemann, U. Dämmgen, A. Freibauer, U. Döring, S. Wulf, B. Eurich-Menden, H. Döhler, C. Schreiner and B. Osterburg. 2016. Calculations of gaseous and particulate emissions from German agriculture 1990-2014: Report on methods and data (RMD) Submission 2016. Braunschweig: Johann Heinrich von Thünen-Institut, Thünen Report 39.
- Heuer, C., Y. H. Schukken and P. Dobbelaar. 1999. Postpartum body condition score and results from the first test day milk as predictors of disease, fertility, yield, and culling in commercial dairy herds. *J. Dairy Sci.* 82, 295-304.
- Heuer, C., W. M. van Straalen, Y. H. Schukken, A. Dirkzwager and J. P. T. M. Noordhuizen. 2000. Prediction of energy balance in a high yielding dairy herd in early lactation: model development and precision. *Livest. Prod. Sci.* 65, 91-105.
- ICAR (International Committee for Animal Recording). 2019. Health codes for bovine. <https://www.icar.org/index.php/publications-technical-materials/amendments-recording-guidelines/diseases-codes-for-cows/>, eingesehen am 27.10.2019.
- Kirchgeßner, M., D. A. Roth-Maier and M. Kreuzer. 1986. Milk urea and protein content to diagnose energy and protein malnutrition of dairy cows. *Arch. Tierernaehr.* 36, 192-197.
- Kohn, R. A., K. F. Kalscheur and E. Russek-Cohen. 2002. Evaluation of models to estimate urinary nitrogen and expected milk urea nitrogen. *J. Dairy Sci.* 85, 227-233.
- Kruif, A. de, R. Mansfeld und M. Hoedemaker. 2007. Tierärztliche Bestandsbetreuung beim Milchrind: 96 Tabellen. 2., vollständig überarbeitete und erweiterte Auflage. Enke Verlag, Stuttgart.
- Lebzien, P., A. Riemeier and G. Flachowsky. 2006. Investigations on the effect of the ruminal N-balance on rumen metabolism, urea content in blood serum and milk as well as some liver parameters of lactating cows. *Arch. Anim. Nutr.* 60, 99-109.

- LKV NRW (Landeskontrollverband Nordrhein-Westfalen e.V.). 2018. MLP-Monatsbericht Prüfungstag: 05.09.2018.
- LKV SH (Landeskontrollverband Schleswig-Holstein e.V.). 2019. Beispielergebnisse Monatlicher Rückbericht. <https://www.lkv-sh.de/mlp/mlp-ergebnisse-mlp/jahresabschluss>, eingesehen am 27.02.2019.
- Mahrt, A., O. Burfeind and W. Heuwieser. 2015. Evaluation of hyperketonemia risk period and screening protocols for early-lactation dairy cows. *J. Dairy Sci.* 98, 3110-3119.
- Martens, H. 2015. Stoffwechselbelastung und Gesundheitsrisiken der Milchkühe in der frühen Laktation. *Tierärztl. Umschau* 70, 496-504.
- Nordlund, K. V. and N. B. Cook. 2004. Using herd records to monitor transition cow survival, productivity, and health. *Vet. Clin. N. Am.- Food A.* 20, 627-649.
- Pfeffer, E., A. Holthausen, H. Griese, M. Hovenjürgen, S. Kehraus, U. Boeser, and M. Loeff. 2010. Untersuchungen an Mastfärsen über Stickstoff-Ausscheidungen bei Fütterung von Mischrationen mit unterschiedlichen Gehalten an Rohprotein. *Züchtungskunde* 82, 144-154.
- Piatkowski, B., J. Voigt und H. Girschewski. 1981. Einfluss des Rohproteinniveaus auf die Fruchtbarkeit und den Harnstoffgehalt in Körperflüssigkeiten bei Hochleistungskühen, *Arch. Tierernaehr.* 31, 497-504.
- Pries, M., S. Hoppe, K.-H. Südekum, M. Baum, and M. Bruinenberg. 2018. Einfluss einer proteinreduzierten Fütterung hochleistender Milchkühe auf Leistungsparameter und Stickstoffausscheidungen. Pages 325-333 in *VDLUFA-Publication Series Vol. 75*, VDLUFA-Verlag, Darmstadt, Germany.
- Rajala-Schultz, P. J., W. J. A. Saville, G. S. Frazer and T. E. Wittum. 2001. Association between milk urea nitrogen and fertility in Ohio dairy cows. *J. Dairy Sci.* 84, 482-489.
- Reist, M., D. Erdin, D. von Euw, K. Tschuemperlin, H. Leuenberger, Y. Chilliard, H. M. Hammon, C. Morel, C. Philipona, Y. Zbinden, N. Kuenzi and J. W. Blum. 2002. Estimation of Energy Balance at the Individual and Herd Level Using Blood and Milk Traits in High-Yielding Dairy Cows. *J. Dairy Sci.* 85, 3314-3327.
- Richardt, W., H. Jeroch und J. Spilke. 2001. Fütterungs- und nicht fütterungsbedingte Einflüsse auf den Milchharnstoffgehalt von Milchkühen. 1. Mitteilung:

- Fütterungsbedingte Einflussfaktoren auf den Milchharnstoffgehalt von Milchkühen. Arch. Tierz., Dummerstorf 44, 251-262.
- Richardt, W., H. Jeroch und J. Spilke. 2002. Fütterungs- und nicht fütterungsbedingte Einflüsse auf den Milchharnstoffgehalt von Milchkühen. 3. Mitteilung: Vorschlag für ein dynamisches Modell zur Einschätzung der Rohproteinversorgung an Hand des Milchharnstoffgehaltes. Arch. Tierz., Dummerstorf 45, 151-157.
- Richtlinie (EU) 2016/2284 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 14. Dezember 2016 über die Reduktion der nationalen Emissionen bestimmter Luftschadstoffe, zur Änderung der Richtlinie 2003/35/EG und zur Aufhebung der Richtlinie 2001/81/EG. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:32016L2284&from=DE>, eingesehen am 07.12.2019.
- Seggewiß, S. 2004. Überprüfung der Bedeutung von Milchinhaltsstoffen für die Beurteilung der Energie-, Protein- und Strukturversorgung von HF-Kühen. Aus der Klinik für Rinder der Tierärztlichen Hochschule Hannover und dem Institut für Tierernährung der Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft in Braunschweig. Dissertation. Tierärztliche Hochschule, Hannover.
- Siebert, F. und J. Pallauf. 2010. Analyse von Ergebnissen der Milchleistungsprüfung in Hessen im Hinblick auf ein Ketoserisiko. Züchtungskunde 82, 112-122.
- Spiekers, H. 2018. Verbesserung der Haltung von Milchkühen durch Zuchtverfahren auf Futteraufnahme und Stoffwechselstabilität sowie Umweltverträglichkeit bei optimierter Fütterungsintensität und Nutzung von Stoffwechselindikatoren sowie Sensoren im Herdenmanagement – optiKuh – Einführung und Projektüberblick. Züchtungskunde 90, 410-416.
- Spiekers, H., P. Hertel-Böhnke und U. Meyer. 2018. Verbundprojekt optiKuh. Tagungsband der Abschlussveranstaltung am 30/31.01.2018 in Braunschweig. LfL-Schriftenreihe 2/2018. Herausgeber: Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Freising-Weihenstephan, Deutschland.
- Spoehr, M. und H. U. Wiesner. 1991. Kontrolle der Herdengesundheit und Milchproduktion mit Hilfe der erweiterten Milchleistungsprüfung. Milchpraxis 29, 231-236.
- Statistisches Bundesamt. 2017. Land- und Forstwirtschaft, Fischerei, Viehbestand und tierische Erzeugung. Fachserie 3, Reihe 4, 2015. Erschienen am 2. Februar 2017, Wiesbaden.

- Steen, A., Østerås, O. and H. Grønstøl. 1996. Evaluation of additional acetone and urea analyses, and of the Fat-Lactose-Quotient in cow milk samples in the herd recording system in Norway. *J. Vet. Med. A* 43, 181-191.
- Steinwigger A., P. Schweiger, L. Gruber, F. Lettner und W. Schmid. 1998. Einfluß des Fütterungszeitpunktes sowie der Protein- und Energieversorgung auf den Milhharnstoffgehalt. *Agribiol Res* 51, 341-355.
- Steinwigger, A., T. Guggenberger, J. Gasteiner, L. Podstatzky, L. Gruber, J. Häusler, M. Gallnböck und A. Schauer. 2009. Einfluss der Proteinversorgung auf Fut-  
teraufnahme, Milchleistung, Pansen- und Blutparameter sowie N-Ausschei-  
dung von Milchkühen. *Züchtungskunde* 81, 106-124.
- TierSchG (Tierschutzgesetz). 2019. Ausfertigungsdatum: 24.07.1972. Tierschutzge-  
setz in der Fassung der Bekanntmachung vom 18. Mai 2006 (BGBl. I S. 1206,  
1313), das zuletzt durch Artikel 101 des Gesetzes vom 20. November 2019  
(BGBl. I S. 1626) geändert worden ist. <https://www.gesetze-im-internet.de/tierschg/index.html>, eingesehen am 07.12.2019.
- Toni, F., L. Vincenti, L. Grigoletto, A. Ricci and Y.H. Schukken. 2011. Early lacta-  
tion ratio of fat and protein percentage in milk is associated with health, milk  
production, and survival. *J. Dairy Sci.* 94, 1772-1783.
- Tremblay, M., M. Kammer, H. Lange, S. Plattner, C. Baumgartner, J. A. Stegeman,  
J. Duda, R. Mansfeld, and D. Döpfer. 2018. Identifying poor metabolic adap-  
tation during early lactation in dairy cows using cluster analysis. *J. Dairy Sci.*  
101, 7311-7321.
- Wenninger, A. und O. Distl. 1994. Harnstoff und Acetongehalt in der Milch als Indi-  
katoren für ernährungsbedingte Fruchtbarkeitsstörungen der Milchkuh. *Dtsch.*  
*Tierärztl. Wschr.* 101, 152-157.
- Woolpert, M. E., H. M. Dann, K. W. Cotanch, C. Melilli, L. E. Chase, R. J. Grant  
and D. M. Barbano. 2016. Management, nutrition, and lactation performance  
are related to bulk tank milk de novo fatty acid concentration on northeastern  
US dairy farms. *J. Dairy Sci.* 99, 8486-8479.
- Zebeli, Q., J. Dijkstra, M. Tafaj, H. Steingäß, B. N. Ametaj, and W. Drochner. 2008.  
Modeling the adequacy of dietary fiber in dairy cows based on the responses  
of ruminal pH and milk fat production to composition of the diet. *J. Dairy Sci.*  
91, 2046-2066.

## Selbstständigkeitserklärung

Hiermit erkläre ich durch eigenhändige Unterschrift, die vorliegende Dissertation selbstständig verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel verwendet zu haben. Die aus den Quellen direkt oder indirekt übernommenen Gedanken sind als solche kenntlich gemacht. Die Dissertation ist in dieser Form noch keiner anderen Prüfungsbehörde vorgelegt worden.

Rostock, 17. Dezember 2019

---

Julia Glatz-Hoppe