

Potenzial der Mid-Infrarot-Spektrometrie bei Kuhmilchproben zur Abschätzung der Rationszusammensetzung

Steinwiddler A¹, Klaffenböck M², Fasching C³, Terler G³, Gruber L³, Mészáros G² & Sölkner J²

Keywords: dairy cows, feed composition, MIR, milk, mid infrared.

Abstract

Milk composition of dairy animals is influenced by the composition of the ration fed. The objective of this study was to determine if the percentages and absolute amounts of hay, grass silage, pasture, maize silage and concentrate in the feed ration can be estimated using MIR spectrometry of milk. A total of 10200 milk samples from 90 dairy cows were collected, and the intakes of all ration components were measured. Using partial least squares regression (PLS), equations were developed to estimate ration compositions corresponding to each milk sample. To evaluate accuracy, the correlation between observed and estimated values (R) and ratio to performance (RPD) were used. Notable R values (for kg/for %) were observed for the ration proportion of pasture (0.85/0.87), maize silage (0.74/0.75) and concentrate intake (0.75/0.73). Estimation of groups of feedstuffs (all forages, energy-dense feedstuffs) resulted in R values of >0.8. Including the parameters milk yield and/or concentrate intake into PLS improved R values by up to 0.08. The results indicate a potential use of MIR spectra as a promising predictor for ration composition of dairy cows.

Einleitung und Zielsetzung

Die Mid-Infrarot (MIR) Spektrometrie ist derzeit die Methode der Wahl zur routinemäßigen Bestimmung der Haupt-Milchinhaltsstoffe (Laktose, Fett, Eiweiß etc.). Mit Hilfe der MIR-Spektrometrie können aber auch Fettsäuren- und Mineralstoffgehalte sowie Stoffwechselprodukte in der Milch abgeschätzt werden (Ferrand-Calmels et al. 2014, Soyeurt et al. 2009). Die Zusammensetzung und Gehalte an Milchinhaltsstoffen werden wesentlich von der Futterration beeinflusst (Larsen et al. 2016). In der vorliegenden Arbeit sollte geprüft werden, ob und mit welcher Genauigkeit die Rationszusammensetzung von Milchkühen über die MIR Spektrometrie abgeschätzt werden kann. Bei erfolgversprechenden Ergebnissen könnte die MIR-Spektrometrie als kostengünstiges Analyseverfahren zur Qualitätssicherung spezieller Qualitätsmilchprogramme (Weidemilch, Heumilch, Wiesenmilch etc.) eingesetzt und auch in der Milchviehzucht zur besseren Beschreibung der Umwelteffekte (Zuchtwerte) genutzt werden.

Tiere, Material und Methoden

Die Daten der vorliegenden Arbeit wurden von 10.08.2013 bis 12.12.2014 in sieben noch nicht publizierten Forschungsprojekten an den zwei Milchviehversuchsbetrieben (Bio- bzw. konventioneller Betrieb) der HBLFA Raumberg-Gumpenstein (Österreich)

² Universität für Bodenkultur Wien, Institut für Nutztierwissenschaften, Gregor-Mendel-Straße 33
1180 Wien, Österreich, johann.soelkner@boku.ac.at

³ HBLFA Raumberg-Gumpenstein, Raumberg 38, 8952 Irdning, Österreich

gesammelt. Die Milchviehherden setzten sich aus unterschiedlichen Rassen (Fleckvieh, Braunvieh, Holstein Friesian (HF) Europa-Typ, HF-Neuseelandtyp und HF-Lebensleistungszucht) zusammen. Für die vorliegende Auswertung standen insgesamt 10.200 individuelle Tagesdatensätze (Milch und Futtermittelaufnahme) von 90 Milchkühen zur Verfügung. Alle Kühe waren in Laufställen mit eingestreuten Außenliegeboxen untergebracht, wobei die individuelle Futtermittelaufnahme im Stall mit Hilfe von Calan-Gates erhoben wurde. Die Futtermittelaufnahmeerhebung erfolgte zweimal täglich durch Ein- und Rückwaage der Rationskomponenten und Bestimmung des jeweiligen Trockenmassegehalts (105°C über 24 h). Von den 90 Kühen wurden 31 Kühe in der Vegetationsperiode auch auf der Weide (Kurzrasenweide, 4 bis 21 Stunden/Tag je nach Versuch) gehalten. Die Weidefuttermittelaufnahme der Kühe wurde indirekt aus dem Energie-Nährstoffbedarf (Milchleistung, Milchhaltsstoffe, Trächtigkeitsstadium, Lebendmasse (LM) und LM-Schwankung) und der Energieaufnahme im Stall errechnet (GfE 2001). Angaben zur Rationsgestaltung finden sich in Tabelle 1. Die durchschnittliche T-Aufnahme der Kühe lag bei 15,1 ±4,2 kg T, über das Kraftfutter wurden davon im Durchschnitt 1,26 ±1,11 kg Gerste, 0,55 ±0,61 kg Körnermais, 0,39 ±0,36 kg Sojaextraktionsschrot, 0,39 ±0,37 kg Rapsextraktionsschrot, 0,64 ±1,21 kg Weizen und geringe Mengen (<0,25 kg) an Trockenschnitzeln, Sojabohnenschalen, Erbsen, Triticale, Ackerbohnen und Weizenkleie aufgenommen.

Tabelle 1: Futtermittelaufnahme und Energiegehalt der Rationskomponenten

	Futtermittelaufnahme, kg T/Tier u. Tag				Energie, MJ NEL/kg T	
	Mittel	SD	Min	Max	Mittel	SD
Futtermittelaufnahme, kg T	15,1	4,2	5	27	6,57	0,36
Heu (H), kg T	3,2	3,1	0	23	5,88	0,15
Grassilage (GS), kg T	4,4	3,2	0	23	5,98	0,10
Maissilage (MS), kg T	2,6	1,7	0	7	6,33	0,08
Weidefutter (W), kg T	2,1	4,6	0	21	6,40	0,22
Kraftfutter (KF), kg T	3,3	3,0	0	13	8,47	0,12

Alle Kühe wurden täglich zweimal gemolken und die Milchmenge kuhindividuell erfasst. Die gekühlten und mit Konservierungsmitteln versehenen Morgen- und Abendmilchproben wurden zu gleichen Teilen zu einer kuhindividuellen Tagesprobe vereint, gekühlt gelagert und wöchentlich an das LKV-Milchlabor (St. Michael) gesandt. Dort wurden die Milchhaltsstoffe mit Hilfe des MIR-Spektrums mit einer MilkoScan Apparatur (MilkoScan FT6500; Foss, Hillerød, Denmark) und dem Datenintegrator v1.58 bestimmt. Die MIR-Spektraldaten wurden abgespeichert und umfassten 1060 Datensätze (Absorptionsraten bei verschiedenen Wellenzahlen) pro Probe im Bereich von 926 cm⁻¹ bis 5.012 cm⁻¹. Diese MIR-Datensätze wurden ohne Vorbehandlung zur statistischen Auswertung herangezogen und den entsprechenden Tages-Futtermittelaufnahmedaten gegenübergestellt. Im Mittel waren die Kühe in der 1,85 ±1,41 (Min-Max: 1-9) Laktation, hatten eine Lebendmasse von 545 ±98 kg und gaben 20,0 ± 7,1 kg Milch. Der Milchfettgehalt betrug 4,25 ±0,73 %, der Eiweißgehalt 3,23 ±0,36 %, der Laktosegehalt 4,62 ±0,20 % und der Milchnährstoffgehalt lag bei 20,2 ±10,8 mg/100 ml. Die statistische Auswertung der Daten erfolgte mit dem „Partial Least Squares (PLS) Regressionsmodell“ im SAS-Programmpaket (SAS 9.4 TS Level 1M2). Alle im Ergebnisteil angeführten PLS-Ergebnisse (R, Abweichungsmaßzahlen) stellen Mittelwerte von 50 PLS-Prozedurdurchläufen dar. Der Datensatz wurde bei jeder PLS-Prozedur zufällig in einen Kalibrierungs- bzw. Validierungsdatsatz im Verhältnis 40:60 % geteilt. Dieses Verhältnis lieferte die höchsten durchschnittlichen Korrelationskoeffizienten (R) zwischen den gemessenen und geschätzten Futtermittelaufnahmedaten, bei vertretbarer Berechnungszeit. Bei jeder PLS-Prozedur wurde auf Basis von

latenten Variablen („fiktive“ Faktoren mit Vorhersagekraft im MIR-Spektrum) eine Schätzgleichung erstellt, welche die größte Vorhersagegenauigkeit lieferte. Die optimale Anzahl an latenten Variablen wurde für jedes Futtermittel auf Basis der erzielten Korrelationskoeffizienten und Abweichungsmaßzahlen individuell festgesetzt und lag zwischen 80 und 130 Variablen. Zusätzlich zu den MIR-Spektraldaten wurden in weiteren PLS-Auswertungsschritten geprüft, ob zusätzliche Informationen zur Tagesmilchleistung der Kühe bzw. zur Kraftfutteraufnahme die Vorhersagegenauigkeit erhöhen können. In den Ergebnistabellen sind für jedes Futtermittel bzw. jede Futtermittelgruppen die Korrelationskoeffizienten (R) zwischen gemessenen und geschätzten Werten aus den 50 PLS-Prozedurdurchläufen angeführt. Der RMSE („root mean square error“) beschreibt die durchschnittliche Abweichung der Schätzwerte von den gemessenen Werten. Da dieser Wert jedoch vom durchschnittlichen Rationsanteil beeinflusst wird, wurde auch der RPD-Wert („ratio to performance deviation“) berechnet. Dabei wird die Standardabweichung der gemessenen Werte eines Futtermittels durch dessen RMSE-Wert dividiert. Zur Beschreibung etwaiger systematischer Fehler wurden die BIAS- und SLOPE-Werte berechnet. Der BIAS-Wert wurde als nicht signifikant bezeichnet, wenn der absolute BIAS-Wert abzüglich der Standardabweichung*1,96 kleiner 0 war. Der SLOPE-Wert wurde als nicht signifikant unterschiedlich von 1 angesetzt, wenn der SLOPE plus die Standardabweichung*1,96 größer 1 war.

Tabelle 2: Korrelationskoeffizienten und Abweichungsparameter zwischen erhobenen und berechneten Rationsdaten für die Validierungsdatensätze

<i>PLS-Einflussvariablen:</i>	<i>MIR-Spektrum (MIR)</i>					<i>MIR+M¹⁾</i>		<i>MIR+M+KF²⁾</i>	
	R	RPD	RMSE	BIAS	SLOPE	R	RPD	R	RPD
Futtermittelgruppen, kg T									
Weidefutter (W), kg T	0,85	1,9	2,4	0,01	0,97	0,85	1,9	0,86	2,0
Kraftfutter (KF), kg T	0,75	1,5	2,0	0,00	0,95	0,83	1,8		
Maissilage (MS), kg T	0,74	1,5	1,2	0,00	0,93	0,74	1,5	0,74	1,5
Grassilage (GS), kg T	0,67	1,4	2,4	-0,01	0,94	0,68	1,4	0,68	1,4
Heu (H), kg T	0,60	1,2	2,5	0,00	0,91	0,61	1,3	0,61	1,3
GS+H, kg T	0,84	1,9	2,3	0,01	0,98	0,86	2,0	0,86	2,0
GS+H+W, kg T	0,72	1,4	2,4	-0,01	0,92	0,73	1,5	0,76	1,5
MS+KF, kg T	0,82	1,7	2,3	0,00	0,97	0,87	2,0		
Rationsanteil, %									
Weidefutter (W), %	0,87	2,0	17	0,05	0,97	0,87	2,1	0,88	2,1
Kraftfutter (KF), %	0,73	1,5	10	-0,04	0,94	0,79	1,6		
Maissilage (MS), %	0,75	1,5	7	-0,02	0,93	0,76	1,5	0,77	1,6
Grassilage (GS), %	0,74	1,5	13	-0,03	0,94	0,74	1,5	0,75	1,5
Heu (H), %	0,60	1,3	13	0,00	0,92	0,61	1,3	0,62	1,3
GS+H, %	0,85	1,9	13	0,00	0,96	0,85	1,9	0,87	2,0
GS+H+W, %	0,83	1,8	11	0,01	0,96	0,85	1,9	0,92	2,5
MS+KF, %	0,83	1,8	11	0,00	0,97	0,85	1,9		

¹⁾ MIR+M: MIR-Spektrum + Milchtagesleistung als Einflussvariablen im PLS-Modell

²⁾ MIR+M+KF: MIR-Spektrum + Milchtagesleistung + Kraftfutteraufnahme als Einflussvariablen

Ergebnisse

Bei ausschließlicher Nutzung der MIR-Spektrendaten zur Schätzung der Rationszusammensetzung wurden Korrelationskoeffizienten (R) zwischen 0,6 und 0,9 festgestellt (Tabelle 2). Bei allen Merkmalen zeigte sich kein signifikanter BIAS. Die SLOPE-Ergebnisse unterscheiden sich nicht signifikant von 1, mit der Ausnahme von Heu (kg T), Weidefutter (kg T) der GS+H-Aufnahme, bei denen der SLOPE auf eine

leichte Überschätzung bei geringen und eine leichte Unterschätzung bei hohen Werten hinweist. Die RPD-Werte lagen je nach Futtermittel zwischen 1,2 und 2,1. Bei den Einzelfutterkomponenten zeigten sich die höchsten Korrelationskoeffizienten für die Weidefuturaufnahme (0,85) und den Weidefutterrationsanteil (0,87). Auch für die Aufnahme an konserviertem Grünlandfutter (GS+H), die Aufnahme an MS+KF bzw. deren Rationsanteile (%) sowie den Grünlandfutterrationsanteil (GS+H+W) wurden Korrelationskoeffizienten über 0,8 festgestellt. Auch bei den RPD-Ergebnissen erzielten diese Futtermittel bzw. Futtermittelgruppen die vielversprechendsten Ergebnisse. Bei zusätzlicher Berücksichtigung der Tagesmilchleistung im PLS-Modell erhöhte sich R am deutlichsten bei der Kraftfutter-Abschätzung. Wenn weiters noch die Kraftfuttermenge im Modell berücksichtigt wurde, dann stieg R in allen Kategorien leicht, am deutlichsten aber bei dem Grünlandfutter-Rationsanteil (GS+H+W) an.

Diskussion und Schlussfolgerungen

Vielversprechend können die vorliegenden Ergebnisse auf Grund der R-Werte $>0,8$ und RPD-Werte von 2 vor allem für Weidefutter und einige Futtermittelgruppen (GS+H, GS+H+W; KF+MS) eingestuft werden. Nach Karoui et al. (2006) ermöglichen R-Werte im Validierungsdatensatz zwischen 0,8-0,9 approximative quantitative Abschätzungen und weisen RPD-Werte von $\geq 2,0$ auf die analytische Nutzungsmöglichkeit von Methoden hin. McParland et al. (2012) nutzten MIR-Milchdaten zur Beurteilung der Energieversorgung von Milchkühen. Die Autoren stufen R-Werte zwischen 0,5 und 0,8 als „angemessen genau“ ein. Vanlierde et al. (2016) schätzten die Methanemissionen mit MIR-Daten ab und bezeichneten R-Werte von 0,84 als ausreichend für Screening-Tools um diese in der Zucht und im Management zu nutzen. Die Abweichungsparameter der vorliegenden Arbeit weisen aber auch darauf hin, dass bei im Durchschnitt guten Ergebnissen bei Einzelproben deutliche Abweichungen bestehen können. In weiterführenden Untersuchungen (Tankmilchproben, geänderte Rationen) soll diesen Zusammenhängen nachgegangen werden.

Literatur

- Ferrand-Calmels M, Palhière I, Brochard M, Leray O, Astruc JM, Aurel MR, Barbey S, Bouvier F, Brunshwig P, Caillat H, Douguet M, Faucon-Lahalle F, Gelé M, Thomas G, Trommenschlager JM & Larroque H (2014) Prediction of fatty acid profiles in cow, ewe, and goat milk by mid-infrared spectrometry. *Journal of Dairy Science* 97(1): 17-35.
- GfE (Gesellschaft für Ernährungsphysiologie) (2001): Empfehlungen zur Energie- und Nährstoffversorgung der Milchkühe und Aufzuchttrinder. Ausschuss für Bedarfsnormen der Gesellschaft für Ernährungsphysiologie. DLG-Verlag, Frankfurt am Main.
- Karoui R, Mouazen AM, Dufour E, Pillonel L, Schaller E, De Baerdemaeker J & Bosset JO (2006) Chemical characterisation of European Emmental cheeses by near infrared spectroscopy using chemometric tools. *International Dairy Journal* 16(10): 1211-1217.
- Larsen T, Alstrup L & Weisbjerg MR (2016) Minor milk constituents are affected by protein concentration and forage digestibility in the feed ration. *Journal of Dairy Research* 83: 12-19.
- McParland S, Banos G, McCarthy B, Lewis E, Coffey MP, O'Neill B, O'Donovan M, Wall E & Berry DP (2012) Validation of mid-infrared spectrometry in milk for predicting body energy status in Holstein-Friesian cows. *Journal of Dairy Science* 95(12): 7225-7235.
- Soyeurt H, Bruwier D, Romnee J-M, Gengler N, Bertozzi C, Veselko D & Dardenne P (2009) Potential estimation of major mineral contents in cow milk using mid-infrared spectrometry. *Journal of Dairy Science* 92(6): 2444-2454.
- Vanlierde A, Vanrobays ML, Gengler N, Dardenne P, Soyeurt H, McParland S, Lewis E, Deighton MH, Mathot M & Dehareng F (2016) Milk mid-infrared spectra enable prediction of lactation-stage-dependent methane emissions of dairy cattle within routine population-scale milk recording schemes. *Animal Production Science* 56: 258-264.