

Aus dem Klinischem Department für Nutztiere und Sicherheit von
Lebensmittelsystemen
der Veterinärmedizinischen Universität Wien
(Leiterin: Prof. Andrea Buzanich-Ladinig)

Zentrum für Systemtransformation und Nachhaltigkeit in der Veterinärmedizin
Abteilung für Bestandsbetreuung
(Leiterin: Prof. Barbara Metzler-Zebeli)

**Evaluierung des Bruker NIRS-Gerätes “MPA“ zur Analyse von
ausgewählten Milchinhaltsstoffen**

Diplomarbeit

Veterinärmedizinische Universität Wien

vorgelegt von
Hansjörg Pfattner

Wien, im Februar 2025

Inhaltsverzeichnis

Abstract	4
Zusammenfassung	5
1. Einleitung und Fragestellung	6
2. Literaturrecherche	8
2.1. Funktionsweise	8
2.2 Anwendungsgebiete von NIRS (Bruker Gerät MPA)	10
3. Material und Methode	12
3.1. Multipurpose Analyzer MPA	12
3.2. Proben und Probenentnahme	13
3.3. Auftauen und Probenvorbereitung	13
3.4. Inbetriebnahme des Messgerätes	13
3.5. Durchführung der Messung zur Evaluierung des Gerätes MPA	14
3.4 Referenzmethode der LKV	14
3.5. Statistische Auswertung	15
4. Ergebnisse	16
4.1. Test auf Normalverteilung	16
4.2. Deskriptive Statistik	16
4.3. Korrelation nach Spearman	17
4.4. Bland-Altman Darstellungen	17
5. Diskussion	21
Abbildungsverzeichnis	23
Tabellenverzeichnis	24
Literaturverzeichnis	25

Abkürzungen

NIRS	Nah Infrarot Spektroskopie
NIR	Nah Infrarot
LKV	Landeskontrollverband
P4	Progesteron
MPA	Multi Purpose Analyzer
Standardab	Standardabweichung
TMR	Totalmischration

Abstract

In this study, the suitability of the “Multipurpose Analyser MPA“ from Bruker, which is based on NIRS technology, for analysing selected milk components (fat %, protein % and lactose %) was investigated. The results of the Milkoscan FT+ (FOSS, Denmark) used by the Landeskontrollverband Niederösterreich were used as a reference method. The Bruker device was evaluated at Vetfarm of the University of Veterinary Medicine Vienna.

The correlation according to Spearman was determined in the statistical analysis. The correlation for fat-%, protein-% and lactose-% was very high and significant in each case. The Bland-Altman method was selected for further analysis. For fat-% the 95% confidence interval was quite wide and for lactose-% the differences were widely scattered.

Overall, the measurement results were promising and the device can be used in practice and on farms.

Zusammenfassung

In dieser Studie wurde die Eignung des auf NIRS-Technologie basierenden „Multipurpose Analysers MPA“ der Firma Bruker zur Analyse ausgewählter Milchbestandteile (Fett-%, Eiweiß-% und Laktose-%) untersucht. Als Referenzmethode wurden die Ergebnisse des beim Landeskontrollverband Niederösterreich verwendeten Milkoscan FT+ (Firma FOSS, Dänemark) herangezogen. Die Evaluierung des Bruker-Gerätes erfolgte am Lehr- und Forschungsgut der Veterinärmedizinischen Universität Vetfarm, wobei routinemäßig im Rahmen der Milchleistungsprüfung gewonnene Milchproben verwendet wurden.

Bei der statistischen Auswertung wurde die Korrelation nach Spearman ermittelt. Für Milchfett- und Milcheiweißgehalt (%) waren die ermittelten Korrelationen (0,81 bzw. 0,94) „stark“ und für Laktose-% (0,71) „mittelstark“ und jeweils signifikant. Für die weitere Auswertung wurde noch das Bland-Altman Verfahren gewählt. Bei Fett-% ist das 95% Konfidenzintervall recht groß und bei Laktose-% sind die Differenzen weit gestreut.

Die Messergebnisse waren insgesamt vielversprechend und das Gerät kann sowohl in der Praxis, als auch auf den landwirtschaftlichen Höfen verwendet werden.

1. Einleitung und Fragestellung

Die Nah Infrarot Spektroskopie-Technologie (NIRS) wird als eine vielseitige, nicht destruktive, nicht invasive, schnelle und genaue Analysemethode in verschiedenen Anwendungsgebieten verwendet, die von der Landwirtschaft bis hin zu den fossilen Energieträgern reicht (1). Analysen mit NIRS führen zu keiner übermäßigen Umweltbelastung, weil bei der Analyse unter anderem keine Chemikalien benötigt werden. Dies ist als Vorteil gegenüber anderen Analysemethoden anzusehen. Ein anderer Vorteil von NIRS ist, dass mehrere Parameter gleichzeitig gemessen und die Geräte vor Ort eingesetzt werden können (2).

On-line NIRS-Sensoren können unter anderem zum Monitoren von Fett, Protein, Laktose, Somatischer Zellzahl und Milch-Harnstoff in automatische Melksysteme eingebaut werden. Die Sensoren sind dabei drahtlos mit der Software verbunden. Die Milchviehhalter:innen werden damit mit Informationen über die Qualität der Milch und die physiologischen Konditionen von jeder einzelnen Kuh versorgt. Diese Informationen können gleichzeitig zum Feedback über das Management v. a. Energie- und Eiweißversorgung genutzt werden. Mit dem Einsatz des Systems sind die Milchviehhalter in der Lage, hohe Milchqualität zu produzieren und das System trägt zur „Precision Agriculture bzw. zum Precision Dairy Farming“ bei (3).

Die von Pierce et al. (1999) vorgestellte Definition von "Precision Agriculture" beschreibt ein System, in dem die richtigen Maßnahmen zur richtigen Zeit am richtigen Ort durchgeführt werden (4).

Ein entscheidender Punkt in der Milchviehwirtschaft ist die gute Fruchtbarkeitsleistung der Kühe. Es gibt zahlreiche Möglichkeiten und Methoden die Brunst zu erkennen bzw. den Zeitpunkt der Brunst vorherzusagen. So können NIRS-Sensoren in automatische Melkanlagen eingebaut werden und z. B. bei jeder Melkung den Progesterongehalt für jede Kuh in der Milch messen. In der Praxis wird nicht bei jeder Melkung der Progesterongehalt in der Milch gemessen, sondern in Abhängigkeit vom Zyklus der Milchkuh wird in unterschiedlichen Intervallen gemessen. Dadurch kann die kontinuierliche Veränderung der Progesteronkonzentration aufgezeichnet werden. Diese Veränderungen in der

Progesteronkonzentration können als zusätzliches Tool für die Brunsterkennung, sowie für die Trächtigkeitsdiagnostik eingesetzt werden (5).

In der Studie von Coppa et al. (6) wurde gezeigt, dass es möglich ist, von den Milchinhaltsstoffen, welche mittels NIRS analysiert wurden, auf die Fütterung zurück zu schließen. Mit einer Genauigkeit von 92,3 % kann NIRS richtig unterscheiden, ob das Fütterungssystem auf Maissilage oder auf Weide basiert. Auch bei der Unterscheidung zwischen Fütterung mit Weidezugang und ohne Weidezugang lag die Fehlerquote bei 5,6 %. Diese Ergebnisse können für die Authentifizierung von Milchprodukten, bei denen die Produktspezifikation die Fütterung einschränkt, nützlich sein. Zusätzlich wurde in dieser Studie untersucht, ob man mit NIRS in der Lage ist die geografische Herkunft von der Milch zu bestimmen. Dabei wurde zwischen Hochland und Flachland unterschieden. Die Richtigkeit bezüglich der geografischen Herkunft lag bei 75,5%, was für eine korrekte Aussage zu niedrig ist.

2. Literaturrecherche

2.1. Funktionsweise

Die elektromagnetische NIR-Strahlung wurde 1800 von William Herschel als erster Teil des elektromagnetischen Spektrums, der für das bloße Auge unsichtbar ist, entdeckt. Es dauerte dann 150 Jahre, bis die NIRS erste analytische Anwendungen fand. Die ersten analytischen Anwendungen waren dabei die Bestimmung vom Wassergehalt in Gelatine sowie Bestimmung der Kohlenwasserstoff-Verbindungen in Erdölfraktionen (1).

Bei Umgebungstemperatur befinden sich die meisten Moleküle in ihrem grundlegenden Schwingungsenergieniveau. Atome oder Atomgruppen, welche an chemischen Bindungen beteiligt sind, verschieben sich in einer bestimmten Frequenz zueinander. Diese Frequenz ist abhängig von der Stärke der Bindung und von der Masse der jeweils gebundenen Atome. Die Amplituden dieser Schwingungen liegen bei einigen Nanometern. Durch zugeführte Energie mittels Photonen mit bestimmter Wellenlänge werden die Amplituden größer (1).

Die Übereinstimmung der Strahlungsenergie mit der Energiedifferenz zwischen zwei Schwingungsenergieniveaus führt zu einer selektiven Reaktion des Molekülsystems. Das bedeutet, dass in einem bestimmtem Wellenlängenbereich einige Frequenzen absorbiert werden, andere nicht absorbiert werden oder wiederum andere teilweise absorbiert werden. Dieses komplexe Bild der Absorptionsintensität in Abhängigkeit von der Wellenlänge stellt das spezifische Absorptionsspektrum einer Probe dar (7).

In einer Probe nehmen normalerweise fast alle Moleküle das Energieniveau 0 ein. Bei bestimmter Frequenz der NIR-Strahlung gelangen Moleküle von Energieniveau null zu Energieniveau eins. Dieser Übergang wird als Grundton oder harmonisches Modell bezeichnet. Da sich im einen Extremen Atome abstoßen, je näher sie sich kommen und im anderen Extremen Moleküle dissoziieren, kommt es zu Obertönen. Obertöne sind Übergänge von Energieniveau null zu Energieniveau zwei oder drei. Dabei ist die Frequenz zwei- bzw. dreimal so hoch wie beim Grundton. Besondere Bindung mit Wasserstoff (H-C, H-N, H-O, ...) führen zu Obertönen. Diese Bindungen bilden oft funktionelle Gruppen eines Moleküls und die Frequenz dieser funktionellen Gruppen ähnelt sich bei verschiedenen Molekülen (8). Es gibt viele organische Moleküle, die das Licht absorbieren können. Der wichtigste Absorber in der organischen Chemie, der über Schwingungsübergänge NIR-Strahlung absorbiert, ist

Wasser. Im Infrarotbereich trägt die Absorption von Wasser am stärksten zur gesamten Gewebeabsorption bei (9).

Das Nahe Infrarot umfasst Wellenlängen zwischen 800 und 2500 nm bzw. den entsprechenden Wellenzahlen von 12500 bis 4000 cm^{-1} (Abb.1) (10).

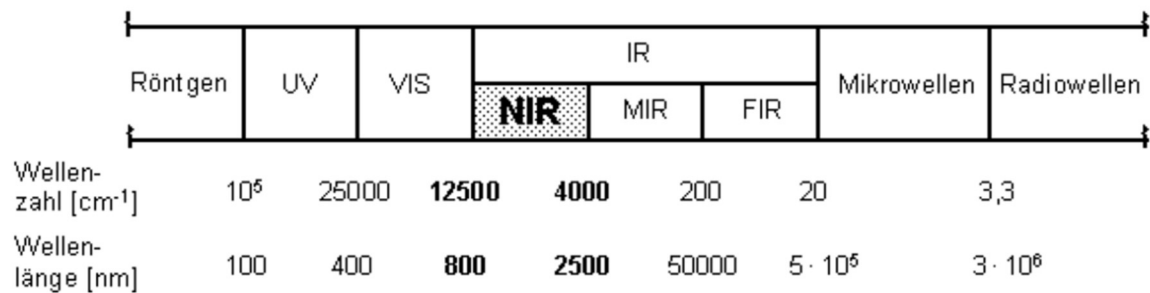


Abb. 1 Spektralbereich von NIRS (10)

Nahinfrarotspektroskopische Messungen können entweder im Transmissions-, Reflexions- oder Transflexionsmodus (Abb. 2 Messmethoden von NIRS) durchgeführt werden. Der Transmissionsmodus ermöglicht es, Informationen über das gesamte Volumen der vom Licht durchstrahlten Probe zu erhalten, während der Reflexionsmodus nur Informationen über die Oberfläche der Probe ergibt. Der Transflexionsmodus ist eine Kombination der beiden vorgenannten Modi und eignet sich besonders für flüssige Proben wie z.B. Milch (11).

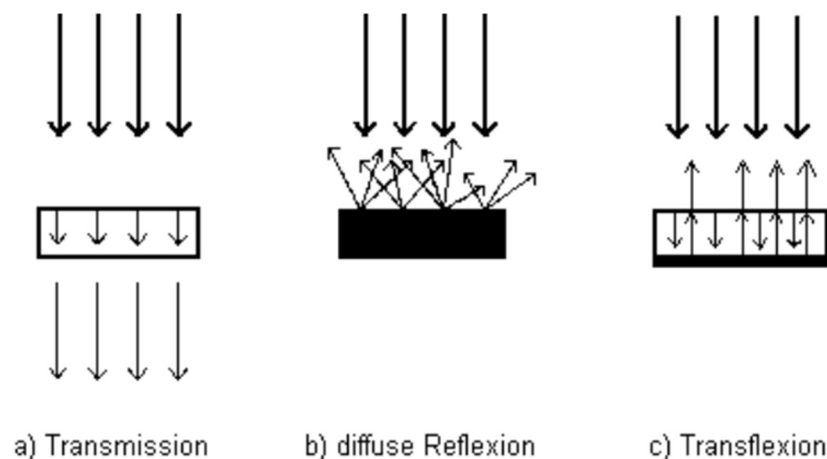


Abb. 2 Messmethoden von NIRS (10)

Die Reflexionsmessung ermöglicht eine sehr genaue Analyse des Fett- und Rohproteingehalts in Rohmilch (Bestimmtheitsmaß $R^2 > 0,95$), führt jedoch zu schlechten Analyseergebnissen bei der Bestimmung von Laktose ($R^2 < 0,75$). Im Gegensatz dazu ergaben die Transmissionsmessungen der Milchproben genaue Fett- und Rohproteinvorhersagen ($R^2 > 0,90$) und brauchbare Laktosevorhersagen ($R^2 = 0,88$). Die Transmissionsmessung ist ein Kompromiss, mit dem die drei Hauptbestandteile der Milch gemessen werden können, jedoch mit einer geringeren Genauigkeit (12).

Eine regelmäßige Kalibrierung der Geräte zur Erzielung verlässlicher Analyseergebnisse ist essenziell. Die Vorhersagegenauigkeit verbessert sich, wenn die Validierung durch Spektren mit einer größerer Probenvariation durchgeführt wird. Eine weitere Verbesserung kann durch Hinzufügen von zusätzlichen Betriebsinformationen (TMR, Anzahl der täglichen Melkungen, ...) erzielt werden (13).

Das Vorhandensein von MilCHFettkügelchen in der Emulsion Milch führt zu Streuungsphänomenen bei NIR-Messungen. Diese Streuungsphänomene entstehen, da die Fettpartikel einen anderen Beugungsindex als das sie umgebende wässrige Medium haben. Daher zeigen Milchproben mit einem hohen Fettgehalt höhere Offset-Werte und niedrigere spezifische Absorptionswerte an als vollentrahmte oder halbentrahmte Milchproben. Die höheren Offset-Werte kommen dadurch zu Stande, dass das Fett in der Milch das Licht streut und somit die gemessene Intensität des durchgelassenen Lichts erhöht, was zu einem höheren Grundwert bzw. höheren Offset-Werte führt. Durch Homogenisierung kann der Streuung und somit auf die Variation in der Messung durch die Fettkügelchen vorgebeugt werden (9).

2.2 Anwendungsgebiete von NIRS (Bruker Gerät MPA)

Das Anwendungsgebiet des NIRS-Geräts MPA vom Hersteller „Bruker“ ist vielseitig. Es kann zur Analyse von festen und flüssigen Medien eingesetzt werden und bietet verschiedene Aufsätze und Messmethoden an.

Die Messung von flüssigen Medien erfolgt in einer Küvette durch Transmission.

Folgende Milchkomponenten wurden gemessen:

- Fett in %
- Protein in %

- Laktose in %
- Trockensubstanz in %
- Nicht fetthaltige MilCHFeststoffe (Solid not fat/ SNF) in %
- Casein in %
- Gefrierpunkt in °C (Freezing point in degree/FPD)

Mit dem Gerät MPA können noch weitere Milchprodukte analysiert werden. Beispiele hierfür sind Rohmilch, entrahmte, standardisierte Milch und Kondensmilch, Molke und Molkenkonzentrat, Rahm und Molkenrahm, Molkenprotein- und Laktose-Konzentrat, Permeate und Retentate, Milchpulver aus Molke, Magermilch und Vollmilch, Käse (weich, fest, in Scheiben, Schmelzkäse, Frischkäse, Quark, etc.), Butter (gesalzen, ungesalzen), Joghurt, Puddings und Desserts, Eiscreme und MilChmischgetränke und pflanzenbasierte „Milch-Alternativen“ (14).

Ein weiteres interessantes Anwendungsgebiet von MPA in der Landwirtschaft ist die Analyse von Futtermitteln.

Dabei können folgende Futtermittelkomponenten analysiert werden:

- Feuchtigkeit
- Fett
- Rohfaser
- Protein
- Rohasche
- ADF
- NDF
- Stärke

3. Material und Methode

3.1. Multipurpose Analyzer MPA

Der vollständige Produktname des zur Evaluierung verwendeten Gerätes (Abb. 3) lautet „Multipurpose Analyzer MPA“ und stammt vom Hersteller Bruker Optics GmbH (Ettlingen, Deutschland).

Die Stromversorgung des Gerätes erfolgt über ein externes Tischnetzteil mit einem Eingangsbereich von 100 - 240 V AC, 2,5 A, 50 - 60 Hz.

Die Verbindung zwischen Laptop und MPA wurde mit dem mitgelieferten Kabel hergestellt.

Die Analyse der Milchproben erfolgte in der Messkammer des MPA. Die Messkammer ist für flüssige Medien in Transmission konzipiert. Zusätzlich war die Messkammer auf 37 °C beheizt.

Die von der NIR-Quelle erzeugte Strahlung passiert anschließend das Filterrad. Nach dem Filterrad durchqueren die Strahlen das Interferometer. Nach dem Interferometer folgt die Probe. Nach dem Passieren der Probe werden die Strahlen vom Detektor erfasst.



Abb. 3; Bruker MPA, www.dairyfoods.com/articles/89276-brukers-mpa-ft-nir-spectrometer;
Stand 07.01.2025

3.2. Proben und Probenentnahme

Die Proben stammen von 78 Kühen des Lehr- und Forschungsbetriebes der Veterinärmedizinischen Universität Wien (Vetfarm). Die Rasse der beprobten Kühe war Fleckvieh und Holstein Friesian.

Die Probenentnahme geschah während der Melkung am Abend. Es wurden eine Vorgemelksprobe und eine Sammelmilchprobe von jeder der insgesamt 78 Kühe gezogen. Bei der Vorgemelksprobe wurden die ersten drei Strahlen verworfen.

Bei derselben Melkung erfolgte auch die Probenentnahme für die LKV-Messung.

3.3. Auftauen und Probenvorbereitung

Die Messung wurden im Labor an der Vetfarm durchgeführt. Die Proben waren bei -20°C tiefgefroren. An den Probetagen wurden die Proben aus dem Tiefkühlfach genommen und im 40 °C warmen Wasserbad (Memmert W 350, Firma Memmert GmbH und Co. KG, Deutschland) aufgetaut. Vor der Messung der Proben, wurden diese noch mit einem Vortex (IKA S1 Minishaker, Firma IKA Werke GmbH und Co.KG, Deutschland) gut durchmischt und die Temperatur der Proben wurde mit einem Thermometer (THERM 2280-2, Firma Ahlborn, Deutschland) kontrolliert.

3.4. Inbetriebnahme des Messgerätes

Das NIRS-Gerät wurde an den Probetagen eingeschaltet sowie der dazugehörige Laptop hochgefahren. Am Laptop wurden die entsprechenden Programme gestartet. Am Gerät wurde mit der Küvette und dem entsprechenden Modus (Transmission-Modus) gemessen. Auch an der Software wurde der dazugehörige Modus ausgewählt, daraufhin stellte sich das NIRS-Gerät auf die Küvetten Messung um.

Das Gerät hat den Null-Abgleich selbständig durchgeführt.



Abbildung 4; Befüllen der Küvette, mit einer Kolbenhubpipette wurde 1 ml Milch in die Küvette gefüllt

3.5. Durchführung der Messung zur Evaluierung des Gerätes MPA

Bei dieser Messung war eine größere Probenmenge (25 ml) vorhanden und so konnte die Küvette mit der dazugehörigen Milchpumpe befüllt werden. Dabei wurde die Probe in die Pumpe gestellt und die Pumpe entnahm sich selbständig die benötigte Menge (5 ml) der Probe. Pro Probe wurden drei Messungen durchgeführt. Aus den drei einzelnen Messungen wurde anschließend der Durchschnitt errechnet. Sämtliche Messungen wurden von der Software gespeichert. Die Küvette wurde von der Pumpe selbständig gereinigt.

Die überschüssige Probenmenge wurde als Rückstellprobe zurückbehalten und zur Aufbewahrung bei -20°C tiefgefroren.

3.4 Referenzmethode der LKV

Als Referenz und Goldstandard wurden die Ergebnisse der Landeskontrollverband (LKV) herangezogen. Der LKV Niederösterreich verwendet für die Messung der Milchkomponenten

folgendes Gerät Milkoscan FT+ (Firma FOSS, Dänemark). Dieses Gerät gehört zu den Fourier Transform Infrarot Spektrometern.

Im Zuge der LKV-Messungen werden Fett, Eiweiß, Laktose, Zellzahl und Harnstoff pro Milchprobe ermittelt. Diese Ergebnisse scheinen im LKV-Monatsbericht auf. Die Proben für die Vergleichsmessung wurden bei derselben Melkung gewonnen.

3.5. Statistische Auswertung

Die Auswertung der Daten wurde mit Microsoft Excel 365 (Microsoft Corporation, Redmond, USA) sowie IBM SPSS durchgeführt. Bei dem Programm Excel 365 kamen die Funktionen Mittelwert (=MITTELWERT), Standardabweichung (=STABWA), sowie Minimalwert (=MIN) und Maximalwert (=MAX) zum Einsatz.

Ebenfalls wurde die Normalverteilung mit Excel errechnet.

Die Korrelation nach Spearman wurde mit IBM SPSS (Version 29, IBM Deutschland, Böblingen, Deutschland) ermittelt.

4. Ergebnisse

4.1. Test auf Normalverteilung

Es wurden insgesamt 78 Milchproben statistisch ausgewertet.

Der Test auf Normalverteilung der Messergebnisse von NIRS und LKV erfolgte gemäß Kolmogorov-Smirnov-Test und wurde mit Excel durchgeführt. Die Nullhypothese der Tests lautet: die Daten liegen in einer Normalverteilung vor. Diese Hypothese musste in sechs von sechs Fällen (Fett NIRS, Fett LKV; Eiweiß NIRS, Eiweiß LKV; Laktose NIRS, Laktose LKV) verworfen werden. Die maximale Abweichung der Teststatistik war in allen sechs Fällen größer als der kritische Wert und daher musste überall die Nullhypothese verworfen werden.

4.2. Deskriptive Statistik

Beim Vergleich von Mittelwert, Standardabweichung, Minimal- und Maximalwert von Fett, Eiweiß und Laktose der zwei zu vergleichenden Messsysteme konnten Unterschiede festgestellt werden.

Bei Fett ist der Mittelwert bei NIRS und LKV-Messung nahe zu identisch. Die Standardabweichung ist bei beiden Messgeräten mit 0,90 % bei NIRS und mit 0,76 % bei LKV hoch. Das deutet darauf hin, dass die Fettgehalte in der Herde physiologisch schwanken. Das belegen auch die Minimal- und Maximalwerte. Der Minimalwert von Fett beträgt 2,55 % bei NIRS und 2,56% und der Maximalwert 6,51 % bzw. 6,33 %. Daher ist auch die Spannweite groß.

Bei Eiweiß und Laktose sind die Differenzen zwischen den NIRS und LKV-Messungen kleiner als bei Fett. Die Standardabweichung von den Eiweiß Messungen ist größer als die Standardabweichung von Laktose.

Tab 1: Mittelwert, Standardabweichung, Minimal-, Maximalwert, Spannweite; sowie die Differenz beider Messsysteme

	Mittelwert	Standardab.	Min	Max	Spannweite
Fett NIRS	4,22	0,80	2,55	6,51	3,96
Fett LKV	4,31	0,76	2,56	6,33	3,77
Differenz	0,08	0,14	2,15	0,18	2,34

Eiweiß NIRS	3,58	0,30	3,02	4,39	1,37
Eiweiß LKV	3,56	0,33	2,92	4,52	1,60
Differenz	0,02	0,02	0,10	0,13	0,23
Laktose NIRS	4,73	0,18	4,01	5,00	1,00
Laktose LKV	4,79	0,17	4,22	5,09	0,87
Differenz	0,06	0,02	0,21	0,09	0,13

4.3. Korrelation nach Spearman

Die Spearman-Korrelation zwischen NIRS und LKV wurde für die Parameter Fett, Eiweiß und Laktose berechnet. Die Ergebnisse zeigen eine signifikante Korrelation von 0,81 für Fett, von 0,94 für Eiweiß und von 0,74 für Laktose ($p < 0,01$ für alle Parameter).

4.4. Bland-Altman Darstellungen

Zur Beurteilung der Übereinstimmung von zwei Messmethoden reicht die alleinige Ermittlung der Korrelation oftmals nicht aus. Im Bland-Altman Verfahren wird die Differenz der beiden Messergebnisse (NIRS-LKV) gegen den Mittelwert der beiden Messmethoden $(\text{NIRS} + \text{LKV} / 2)$ grafisch aufgetragen. Bei einer perfekten Übereinstimmung ist die Differenz der beiden Messmethoden gleich null (15). In den Abbildungen fünf bis sieben sind die jeweiligen Bland-Altman-Grafiken für Fett, Eiweiß und Laktose dargestellt.

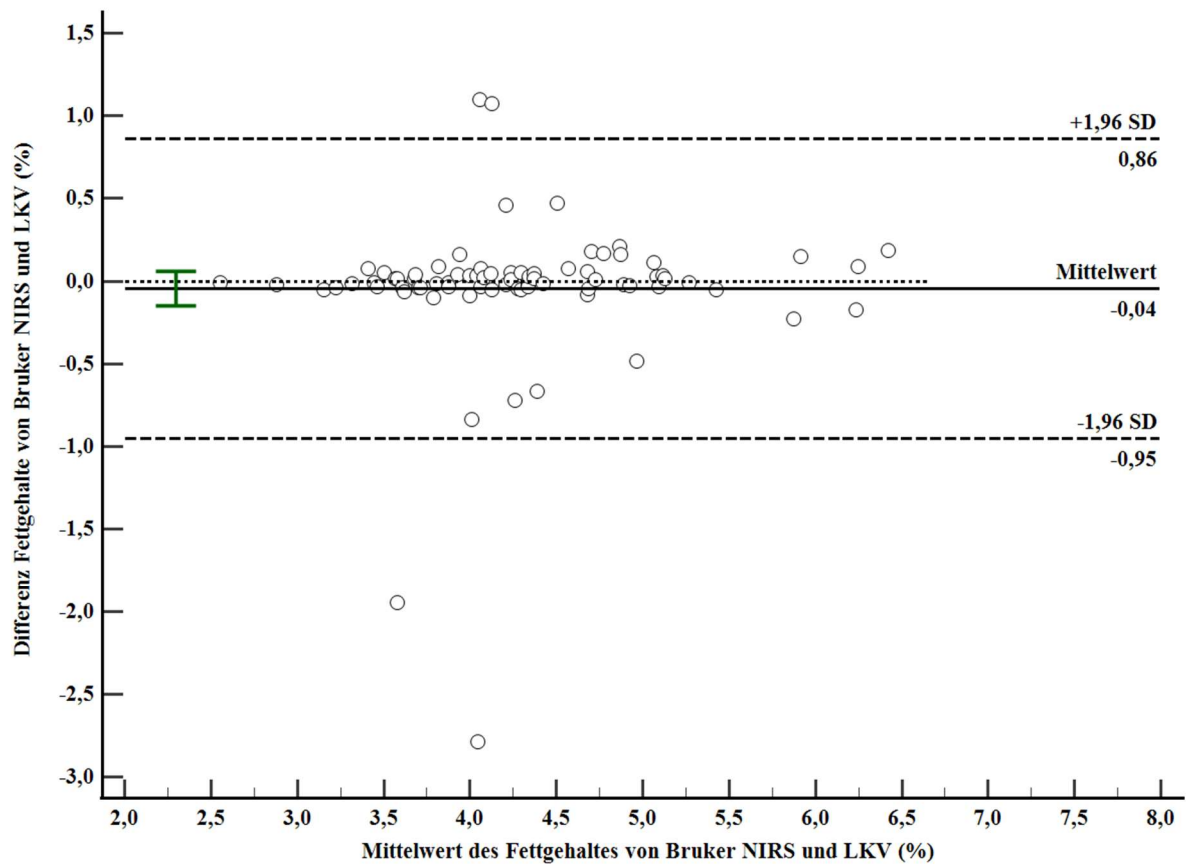


Abb. 5 Bland-Altman-Grafik der Messergebnisse der Fettgehalte

Der arithmetische Mittelwert der Differenzen für den Fettgehalt der mittels Bruker MPA und LKV ermittelten Werte beträgt -0,04 %. Das 95 % Konfidenzintervall reicht von -0,95 % bis 0,86 %, d.h. 95% der Differenzen liegen im Bereich von -0,95 % bis 0,86 %. Es sind einzelne Ausreiser nach unten sowie nach oben sichtbar.

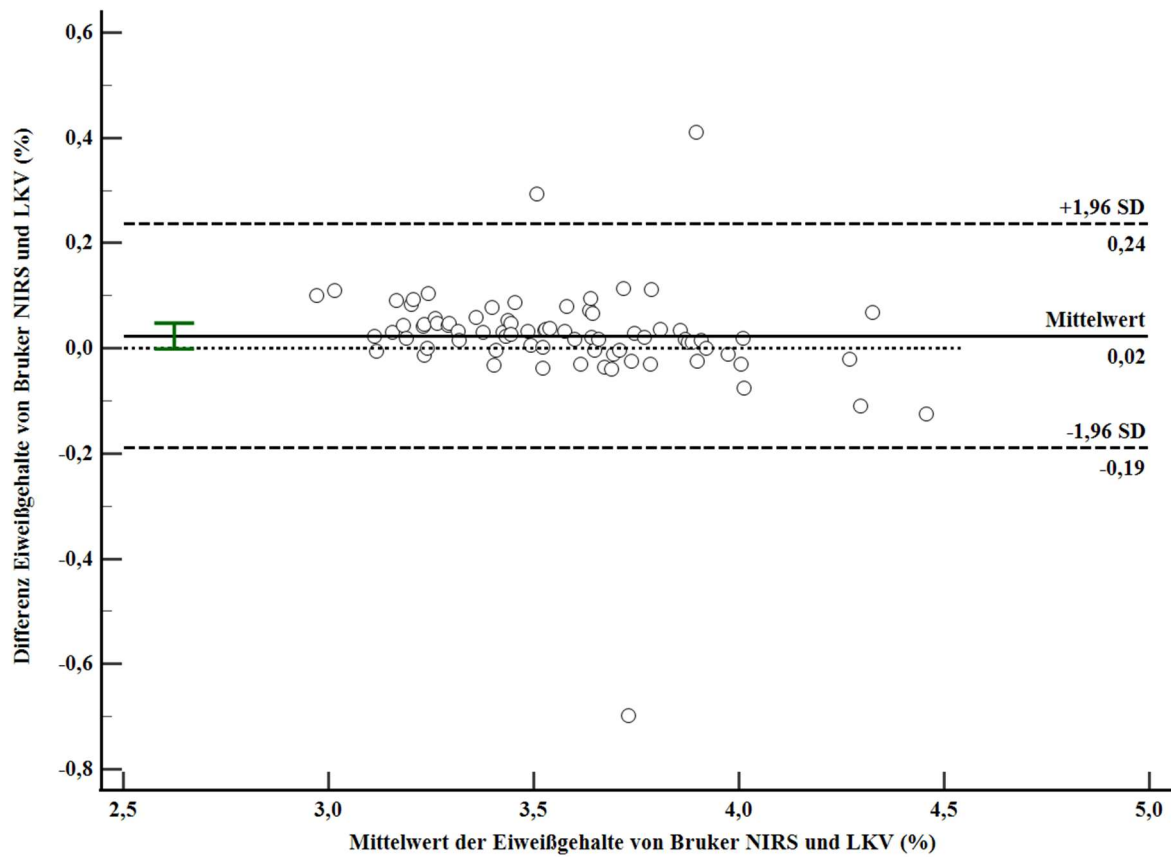


Abb. 6 Bland-Alt-Grafik der Messergebnisse der Eiweißgehalte

Der arithmetische Mittelwert der Differenzen beträgt 0,02 % und das 95 % Konfidenzintervall erstreckt sich von -0,19 bis 0,24 %. Die Differenzen befinden sich eng um den Mittelwert.

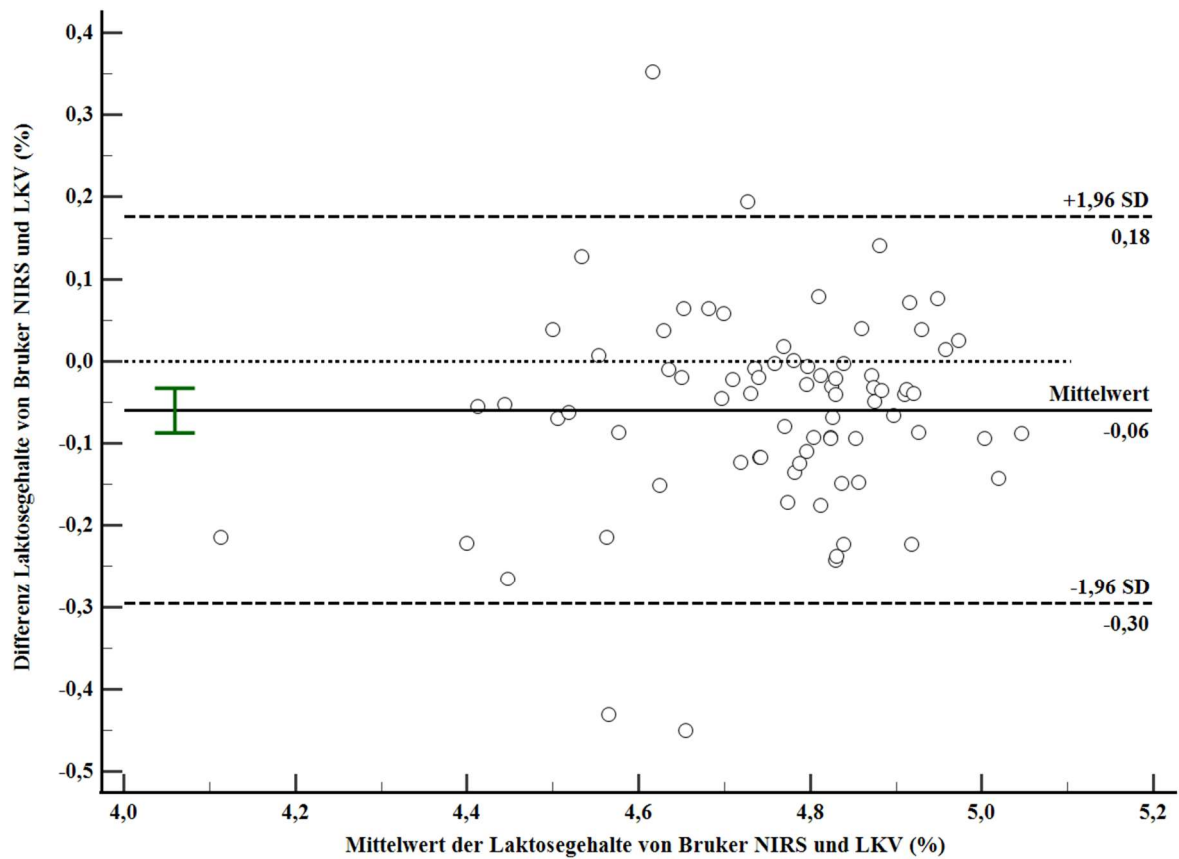


Abb. 7 Bland-Alt-Grafik der Messergebnisse der Laktosegehalte

Bei den Laktoseergebnissen beträgt der arithmetische Mittelwert -0,06 % und das 95 % Konfidenzintervall reicht von -0,30 bis 0,18. In der Grafik ist eine große Streuung der Differenzen sichtbar.

5. Diskussion

Wie im Ergebnisteil dargestellt, wurden für die jeweiligen Milchinhaltsstoffe unterschiedliche Messgenauigkeiten des MPA Bruker Gerätes in Bezug auf die LKV-Messungen ermittelt.

Bei den Messungen der Fettgehalte ist zu sagen, dass Fett die höchste Spannweite in den Milchproben aufweist (Tabelle 1). Die für die Fettgehalte ermittelte Korrelation beträgt 0,81, ist signifikant und als „gut“ zu bezeichnen. Die mit dem MPA-Gerät ermittelten Fettgehalte sind daher als zuverlässig zu bezeichnen. In der Bland-Altman Grafik ist sichtbar, dass die Differenz einiger Fettgehalte zwischen dem MPA-Gerät und LKV relativ groß ist. Das bestätigt auch das weite 95 %-Konfidenzintervall. Die untere Grenze liegt bei -0,95 % und die obere Grenze bei 0,86 %. Der arithmetische Mittelwert der einzelnen Differenzen beträgt -0,04 %. Im Mittel wird demnach der Fettgehalt durch das MPA-Gerät um 0,04 Prozentpunkte im Vergleich zur Referenzmethode des LKV unterschätzt.

Aus den Ergebnissen der Eiweißanalysen lässt sich ableiten, dass die Genauigkeit des MPA-Gerätes bei diesem Parameter am höchsten ist. Die „sehr gute“ Korrelation von 0,94 ist ebenfalls signifikant. Dies spiegelt sich auch in der Bland-Altman Grafik wider. Die untere Grenze bzw. obere Grenze des 95 % Konfidenzintervall liegen bei -0,19 % und 0,24 %.

Bezüglich der Analysen zu den Laktosegehalten lassen sich folgende Aussagen tätigen: Die Korrelation ist für diesen Parameter mit 0,71 als „mittelmäßig“ zu bezeichnen und ebenfalls signifikant. In der Bland-Altman Grafik ist das Streubild um den Mittelwert recht groß. Auch der arithmetische Mittelwert der einzelnen Differenzen ist mit -0,06 Prozentpunkten am größten. Das 95% Konfidenzintervall bewegt sich von 0,18 % bis -0,30 %.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass die Messgenauigkeit des NIRS-Gerätes der MPA sehr gut ist. Die Korrelationen, besonders für die Fett- und Eiweißgehalte, sind für praktische Fragestellungen ausreichend hoch und signifikant. Die Messergebnisse zwischen Bruker MPA und Referenzmethode unterscheiden sich nur gering. Das kann man aus den Bland-Altman Grafiken ablesen.

In einer vergleichbaren Studie (16) war die Korrelation zwischen NIRS- Gerät (MPA, Bruker Optik GmbH, Ettlingen, Deutschland) und MIR MilkoScan FT120, Foss, Foss A/S, Hillerød, Dänemark) für Fett-, Eiweiß- und Laktosegehalte (0,99; 0,96; 0,81) ähnlich bzw. leicht höher als in dieser Diplomarbeit. Die Probenanzahl war in der Studie größer als in dieser

Diplomarbeit. Dies ist ein möglicher Grund für die numerischen Unterschiede in den ermittelten Korrelationen.

Das Gerät bietet noch weitere, durchaus sehr interessante Anwendungsgebiete in der Landwirtschaft, wie z.B. die Analyse von Futtermittelinhaltsstoffen wie Rohfaser, Rohprotein, Rohasche, die in Kraftfutterkomponenten, aber auch Totalmischration (TMR) oder Silagen (Grass oder Mais) ermittelt werden können. So kann schnell und einfach die TMR überprüft werden, v.a. wenn neue Silagen verfüttert werden. Die anschließende Kontrolle der Ration über die Milchinhaltsstoffe wie Eiweiß und Fett kann ebenfalls mit dem gleichen Gerät erfolgen.

Die Messungen der Milchinhaltsstoffe im Rahmen des LKV Monatsberichtes werden nur einmal im Monat durchgeführt. Mit dem MPA-Gerät, welches von Futtermittelberater vor Ort oder als Kooperation aus mehreren Landwirten eingesetzt werden kann, ist der Landwirt/ die Landwirtin in der Lage, öfters die Milchinhaltsstoffe zu analysieren.

Die Bedienung des MPA-Gerätes ist einfach und erfordert keine besondere Probenvorbereitung sowie keine Chemikalien. Dies ist hinsichtlich einer nachhaltigen Nutzung als Vorteil zu bezeichnen.

Die im Rahmen der Diplomarbeit durchgeführte Studie ist zeitlich und finanziell begrenzt. Daher beschränkt sich die Probenanzahl auf 78 Milchproben, welche vom Lehr- und Forschungsgut Kremesberg Vetfarm der Veterinärmedizinischen Universität stammen. Eine größere Probenanzahl von mehreren verschiedenen Betrieben würde die Aussagekraft erhöhen. Die Messungen sowie die Auswertung dieser Studie wurden standardisiert und mit bestmöglichem Wissen durchgeführt, um eine möglichst hohe Aussagekraft zu erzielen.

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1 Spektralbereich von NIRS (10)	9
Abb. 2 Messmethoden von NIRS (10)	9
Abb. 3; Brucker MPA, www.dairyfoods.com/articles/89276-brukers-mpa-ft-nir-spectrometer ; Stand 07.01.2025	12
Abbildung 4; Befüllen der Küvette, mit einer Kolbenhubpipette wurde 1 ml Milch in die Küvette gefüllt	14
Abb. 5 Bland-Altman-Grafik der Messergebnisse der Fettgehalte	18
Abb. 6 Bland-Alt-Grafik der Messergebnisse der Eiweißgehalte	19
Abb. 7 Bland-Alt-Grafik der Messergebnisse der Laktosegehalte	20

Tabellenverzeichnis

Tab 1: Mittelwert, Standardabweichung, Minimal-, Maximalwert, Spannweite; sowie die Differenz beider Messsysteme.....	16
---	----

Literaturverzeichnis

1. Pasquini C. Near infrared spectroscopy: A mature analytical technique with new perspectives - A review. *Anal Chim Acta* 2018; 1026:8–36. doi: 10.1016/j.aca.2018.04.004.
2. García-Sánchez F, Galvez-Sola L, Martínez-Nicolás JJ, Muelas-Domingo R, Nieves M. Using near-infrared spectroscopy in agricultural systems. Kyprianidis KG, Skvaril J. *Developments in near-infrared spectroscopy*. London: IntechOpen 2017:97–127.
3. Kawasaki M, Kawamura S, Tsukahara M, Morita S, Komiya M, Natsuga M. Near-infrared spectroscopic sensing system for on-line milk quality assessment in a milking robot. *Computers and Electronics in Agriculture* 2008; 63(1):22–7. doi: 10.1016/j.compag.2008.01.006.
4. F Pierce. Aspects of Precision Agriculture. *Advances in Agronomy* 1999; 67(DOI: 10.1016/S0065-2113(08)60513-1). doi: 10.1016/S0065-2113(08)60513-1.
5. Iweka P, Kawamura S, Mitani T, Koseki S. Non- destructive determination of bovine milk progesteron concentration during milking using near infrared spectroscopy.
6. Coppa M, Martin B, Agabriel C, Chassaing C, Sibra C, Constant I et al. Authentication of cow feeding and geographic origin on milk using visible and near-infrared spectroscopy. *J Dairy Sci* 2012; 95(10):5544–51. doi: 10.3168/jds.2011-5272.
7. Pasquini C. Near Infrared Spectroscopy: fundamentals, practical aspects and analytical applications. *J. Braz. Chem. Soc.* 2003; 14(2):198–219. doi: 10.1590/s0103-50532003000200006.
8. Osborne BG. Near-Infrared Spectroscopy in Food Analysis. In: Meyers RA, Hrsg. *Encyclopedia of Analytical Chemistry*. Chichester, UK: John Wiley & Sons, Ltd; 2006.
9. Cattaneo TM, Cabassi G, Profaizer M, Giangiacomo R. Contribution of Light Scattering to near Infrared Absorption in Milk. *Journal of Near Infrared Spectroscopy* 2009; 17(6):337–43. doi: 10.1255/jnirs.867.
10. Storz EI. Untersuchung funktioneller Parameter pharmazeutischer Hilfsstoffe mittels Nahinfrarot-Spektroskopie (NIRS): Universitäts- und Landesbibliothek Bonn.

11. Evangelista C, Basiricò L, Bernabucci U. An Overview on the Use of Near Infrared Spectroscopy (NIRS) on Farms for the Management of Dairy Cows. *Agriculture* 2021; 11(4):296. doi: 10.3390/agriculture11040296.
12. Aernouts B, Polshin E, Lammertyn J, Saeys W. Visible and near-infrared spectroscopic analysis of raw milk for cow health monitoring: reflectance or transmittance? *J Dairy Sci* 2011; 94(11):5315–29. doi: 10.3168/jds.2011-4354.
13. Melfsen A, Hartung E, Haeussermann A. Robustness of near-infrared calibration models for the prediction of milk constituents during the milking process. *J Dairy Res* 2013; 80(1):103–12. doi: 10.1017/S0022029912000672.
14. Dairy_NIR_Brochure_DE.
15. Bland JM, Altman DG. Statistical methods for assessing agreement between two methods of clinical measurement. *Lancet* 1986; 1(8476):307–10.
16. Mohamed H, Nagy P, Agbaba J, Kamal-Eldin A. Use of near and mid infra-red spectroscopy for analysis of protein, fat, lactose and total solids in raw cow and camel milk. *Food Chemistry* 2021; 334:127436. Verfügbar unter: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S030881462031298X>.