

**Development, optimization and evaluation of a device for on-farm milk composition analysis  
with near-infrared spectroscopy**

**Entwicklung, Optimierung und Bewertung eines Gerätes zur on-farm Analyse von  
Milchinhaltstoffen auf Basis der Nah-Infrarot Spektroskopie**

**MSc Andreas Melfsen**

**1. Berichterstatter: Prof. Dr. E. Hartung**

Das Ziel dieser Studie war es, die Eignung und die Genauigkeit von selbstentwickelten, optimierten und evaluierten NIRS basierten Messsystemen zur Bestimmung verschiedener Bestandteile der Rohmilch in einem absätzigen (off-line) und in einem in die Melkleitung integrierten (in-line) Aufbau zu untersuchen. Zudem sollten Einflussfaktoren auf die Nah-Infrarot- (NIR-) Spektren identifiziert und korrigiert werden.

Zu diesem Zweck wurden ein off-line sowie ein in-line Messsystem entworfen und Spektren von Rohmilch aufgezeichnet. Zu den Spektren zugehörige Milchproben wurden für die Referenzanalyse im Labor genutzt. Die Aufzeichnung der NIR-Spektren und die Probenahme von Rohmilchproben wurden auf verschiedenen Betrieben mit unterschiedlichen Fütterungseinflüssen durchgeführt. Die Kalibration und die Validation der verschiedenen Milchinhaltstoffe wurden hierbei mit Hilfe von chemometrischen Methoden durchgeführt.

In den Kapiteln zwei und drei wurde das Potential des off-line Messsystems untersucht. Im Hinblick auf die Bestimmtheitsmaße  $R^2 = 0.998$ ,  $0.94$  bzw.  $0.73$  sowie auf die Standardfehler der Vorhersage  $SEP = 0.03$ ,  $0.07$  bzw.  $0.09$  konnten für die Schätzung der Milchinhaltstoffe Fett (%), Eiweiß (%) und Laktose (%) gute Ergebnisse erzielt werden. Im Bezug auf die Vorgaben für die Reproduzierbarkeit (R) von at-line Milchanalysegeräten konnte eine gute Genauigkeit für die oben genannten Milchinhaltstoffe erreicht werden (ICAR 2010). Die gute Genauigkeit bei der Vorhersage der Fettsäuregehalte in der Milch war deutlich von der Korrelation zwischen einigen Fettsäuren (FA) und dem Fettgehalt in der Milch beeinflusst. Bei den zusätzlichen Schätzungen der FA-Konzentrationen im Milchfett konnten akzeptable Genauigkeiten erreicht werden. Diese waren für eine Verdeutlichung des Verlaufs der langkettigen Fettsäuren über die Laktation ausreichend.

Deutlich bessere Genauigkeiten, verglichen mit den Ergebnissen des off-line Messsystems, konnten mit dem in-line Messsystem für die meisten Milchinhaltstoffe erreicht werden. Für die Milchinhaltstoffe Fett (%), Eiweiß (%) und Laktose (%) konnten im Hinblick auf  $R^2 = 0.998$ ,  $0.98$  bzw.  $0.92$  sowie  $SEP = 0.09$ ,  $0.05$  bzw.  $0.06$  exzellente Validationsergebnisse erreicht werden. Die Genauigkeiten der Schätzung der Harnstoffkonzentration ( $\text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$ ) in der Milch sowie der logarithmierten Werte der somatischen Zellzahl waren insgesamt mit  $R^2 = 0.82$  bzw.  $0.85$  sowie  $SEP = 19.3$  bzw.  $0.18$  zufriedenstellend. Die mit dem entwickelten in-line Messsystem erreichten Genauigkeiten erfüllen hierbei die Genauigkeitsvorgaben für at-line und in-line Geräte. Im Vergleich zu anderen wissenschaftlichen Studien zur Analyse von Rohmilch mit NIRS konnten in dieser Studie sehr hohe Vorhersagegenauigkeiten für die bedeutendsten Milchinhaltstoffe erreicht werden.

Weitere Untersuchungen wurden außerdem zum Einfluss tierindividueller Streulichteefekte auf die NIR-Spektren im off-line Messsystem durchgeführt (Kapitel vier). Eine tierindividuelle Korrektur von Streulichteefekten resultierte in einer deutlichen Verbesserung der Vorhersagegenauigkeit im Vergleich zu nicht korrigierten Spektren.

Die Robustheit der Kalibrationsmodelle für die Schätzung der Milchinhaltstoffe Fett, Eiweiß und Laktose wurde in Kapitel sechs behandelt. Bei der Validierung an zeitlich vom Kalibrationsset unabhängigen Proben im Vergleich zu randomisiert erstellten Sets, wurden für die Schätzung der Gehalte an Fett, Eiweiß und Laktose in der Milch deutlich schlechtere Ergebnisse für die Genauigkeit erreicht. Die Vorhersagegenauigkeit konnte jedoch erheblich verbessert werden, wenn die Kalibration auf einem externen Datenset aufgebaut wurde, welches aus Spektren von anderen Betrieben bestand, und wenn zum bestehenden Kalibrationsset Informationen in Form von Rohmilchspektren des Betriebes hinzugefügt wurden, auf dem die neuen Messungen gemacht wurden.

Die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit zeigen insgesamt, dass die entwickelten, optimierten und evaluierten NIRS basierten Messsysteme sowohl in der off-line, als auch in der in-line Anwendung die Milchinhaltstoffe der Rohmilch mit einer hohen zeitlichen Auflösung schätzen können.

---

Ort, Datum

---

Unterschrift (Prof. Dr. Eberhard Hartung)