

**Nahinfrarotspektroskopische Erfassung und Charakterisierung  
der nutritiven und fermentativen Qualität von Grassilage im  
ungetrockneten Zustand**

Dissertation  
zur Erlangung des Doktorgrades  
der Fakultät für Agrarwissenschaften  
der Georg-August-Universität Göttingen

vorgelegt von  
Hélène Gibaud  
geboren in Saumur (Frankreich)

Göttingen, im Dezember 2007

**D7**

1. Referent: Prof. Dr. Jörg Michael Greef
2. Korreferent: Prof. Dr. Johannes Isselstein

Tag der mündlichen Prüfung: 25.01.2008

# INHALTSVERZEICHNIS

<b>1</b>	<b>EINLEITUNG .....</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>MATERIAL UND METHODEN .....</b>	<b>5</b>
2.1	Verwendete Grassilageproben .....	6
2.2	Nasschemische Analysemethoden zur Referenzdatenerfassung.....	7
2.3	<b>Nah-Infrarot-Spektroskopie .....</b>	<b>13</b>
2.3.1	Verwendetes NIR-Spektrometer .....	13
2.3.2	Durchführung der Messungen.....	15
2.3.3	Optimierung der Messungen .....	17
2.4	<b>Kalibrationsentwicklung .....</b>	<b>20</b>
2.4.1	Regressionsmethoden .....	22
2.4.2	Spektralentransformation.....	23
2.4.3	Statistische Auswertung der Probensätze.....	25
2.4.4	Statistische Bewertung der Kalibration.....	26
2.5	<b>Kalibrations- und Validationsätze .....</b>	<b>29</b>
<b>3</b>	<b>ERGEBNISSE.....</b>	<b>31</b>
3.1	<b>Charakterisierung von Praxissilagen .....</b>	<b>32</b>
3.1.1	Qualitätsmerkmale der Grassilage .....	32
3.1.2	Beziehungen zwischen den Qualitätsparametern.....	33
3.1.3	Spektrale Charakteristika der Grassilagen im Nahen Infrarotbereich .....	35
3.2	<b>Modellierung .....</b>	<b>40</b>
3.2.1	Verteilung der Kalibrations- und Validationsprobensätze .....	40
3.2.2	Einfluss der Regressionsmethode auf den Schätzfehler.....	44
3.2.3	Schätzung der nutritiven und fermentativen Qualitätsparameter .....	51
<b>4</b>	<b>DISKUSSION.....</b>	<b>60</b>
4.1	<b>Repräsentativität der Grassilageproben .....</b>	<b>61</b>
4.2	<b>Silageuntersuchung mittels Nahinfrarot-Spektroskopie .....</b>	<b>66</b>
4.2.1	Vergleich der Kalibrationsmodelle mit der Literatur .....	66
4.2.2	Anwendung von Spektralentransformationen zur Verbesserung der Kalibrationsmodelle .....	76
4.3	<b>Äußere Einflüsse auf die NIRS-Messung.....</b>	<b>78</b>
<b>5</b>	<b>AUSBLICK.....</b>	<b>83</b>
<b>6</b>	<b>ZUSAMMENFASSUNG .....</b>	<b>86</b>
<b>7</b>	<b>SUMMARY.....</b>	<b>91</b>

<b>8</b>	<b>LITERATUR</b> .....	<b>95</b>
<b>9</b>	<b>ANHANG</b> .....	<b>103</b>
<b>A.1</b>	<b>Kalibrations- und Kreuzvalidationsergebnisse</b> .....	<b>107</b>
<b>A.2</b>	<b>Validationsergebnisse</b> .....	<b>140</b>

## ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

<b>ADF</b>	<b>Saure Detergenz Faser in der TM [%] nach van Soest</b>
<b>AGFUKO</b>	<b>Arbeitsgemeinschaft Futterbau und Futterkonservierung im Bereich der Landwirtschaftskammer Niedersachsen</b>
<b>Bias</b>	<b>Systematischer Fehler</b>
<b>BLT</b>	<b>Bayerische Landesanstalt für Tierzucht</b>
<b>BS</b>	<b>Buttersäure in der Trockenmasse [%]</b>
<b>DLG</b>	<b>Deutsche Landwirtschaftsgesellschaft in Frankfurt/Main</b>
<b>DOM</b>	<b>Verdaulichkeit der organischen Masse (engl.: digestibility of organic matter)</b>
<b>DT</b>	<b>Datentransformation: (Erläuterungen siehe Mainka 1990) z.B. 1,4,4 1.Ableitung, Gap = 4, Segment = 4</b>
<b>ELOS</b>	<b>Quotient aus enzymlösbarer organischer Masse und der organischen Masse</b>
<b>ES</b>	<b>Essigsäure in der Trockenmasse [%]</b>
<b>Eth</b>	<b>Ethanol in der Trockenmasse [%]</b>
<b>FAL</b>	<b>Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft in Braunschweig-Völkenrode</b>
<b>Gap</b>	<b>Anzahl übersprungener Datenpunkte bei der Datentransformation</b>
<b>H</b>	<b>Mahalanobis-Distanz</b>
<b>HPLC</b>	<b><i>high performance liquid chromatography</i>, Hochdruckflüssigkeitschromatographie</b>
<b>ISI</b>	<b>Infrasoft International (Hersteller von NIRS-Gerätetreibersoftware)</b>
<b>IVDOM</b>	<b>In-vitro-Verdaulichkeit der organischen Masse [%] nach Tilley &amp; Terry</b>
<b>Log 1/R</b>	<b>Logarithmus des Kehrwertes der Reflexionsmessung</b>
<b>LUFA</b>	<b>Landwirtschaftliche Untersuchungs- und Forschungsanstalten</b>
<b>ME</b>	<b>Metabolisierbare Energie</b>
<b>MJ</b>	<b>Megajoule</b>
<b>MPLS</b>	<b>Methode der kleinsten Quadrate, modifiziert (engl. Modified partial least squares regression, nach Shenk und Westerhaus 1991b)</b>
<b>MS</b>	<b>Milchsäuregehalt in der Trockenmasse [%]</b>
<b>NDF</b>	<b>Neutrale Detergenz Faser in der TM [%] nach van Soest</b>
<b>NEL</b>	<b>Nettoenergie Laktation [MJ/kg TM] nach Weißbach et al (1994)</b>
<b>NIRS</b>	<b>Nah-Infrarot Reflexionsspektroskopie</b>
<b>NIT</b>	<b><i>near infrared transmittance</i>, Nahinfrarottransmissionsspektroskopie</b>
<b>OM</b>	<b>Organische Masse</b>
<b>p</b>	<b>Irrtumswahrscheinlichkeit</b>
<b>PCR</b>	<b>Hauptkomponentenregression</b>
<b>PLS</b>	<b>Methode der kleinsten Quadrate (engl. <i>Partial least squares</i>)</b>
<b>r</b>	<b>Pearson'scher Korrelationskoeffizient</b>
<b>R<sup>2</sup></b>	<b>Bestimmtheitsmaß in der Regressionsstatistik</b>
<b>RA</b>	<b>Rohaschegehalt in der Trockenmasse [%]</b>
<b>RF</b>	<b>Rohfasergehalt in der Trockenmasse [%]</b>
<b>RMS</b>	<b>Standardfehler der Differenz zweier Spektren (engl. Root mean square)</b>
<b>RP</b>	<b>Rohproteingehalt in der Trockenmasse [%]</b>

<b>SEC</b>	<b>Standardfehler der Kalibration (engl. Standarderror of calibration)</b> <b>[Einheit des Merkmals]</b>
<b>Segment</b>	<b>Anzahl gemittelter Datenpunkte bei der Datentransformation</b>
<b>SEP</b>	<b>Standardfehler der Validation (engl. Standarderror of validation)</b> <b>[Einheit des Merkmals]</b>
<b>SEP(c)</b>	<b>SEP nach Korrektur des systematischen Fehlers (Bias)</b>
<b>Slope</b>	<b>Steigungsmaß (b)</b>
<b>SD</b>	<b>Standard deviation (Standardabweichung)</b>
<b>SNV</b>	<b>Transformation nach Standard Normalverteilung (engl. standard normal variate transformation, nach Barnes et al. 1989)</b>
<b>SNVD</b>	<b>SNV-Transformation (siehe dort) und Trendbereinigung (engl. detrend, nach Barnes et al. 1989)</b>
<b>RA</b>	<b>Rohaschegehalt in der Trockenmasse [%]</b>
<b>TM</b>	<b>Trockenmasse</b>
<b>TN</b>	<b>Gesamtstickstoff (engl. Total Nitrogen)</b>
<b>VAL</b>	<b>Validation</b>
<b>VDLUFA</b>	<b>Verband Deutscher Landwirtschaftlichen Untersuchungs- und Forschungsanstalten e.V.</b>
<b>WSC</b>	<b>Gehalt an wasserlöslichen Kohlenhydrate</b>

## ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 1	Probenaufbereitung (rechteckig), der NIRS-Messungen (sechseckig), der Inhaltstoffe (runde Ecken) und der dazugehörigen Analysenorte (p): Labor der Fa. Pioneer Hi-Bred GmbH, (f): Labor des Instituts für Pflanzenbau und Grünlandwirtschaft der FAL.....	7
Abbildung 2	Messkopf mit konzentrisch angeordneten Lichtleitern.....	14
Abbildung 3	Manuelle Aufnahme der Weiß und Schwarzreferenzierung .....	14
Abbildung 4	Aufgetaute Proben .....	15
Abbildung 5	Ringe zum Befüllen, Stempel und Petrischalen .....	15
Abbildung 6	Befüllung .....	16
Abbildung 7	Temperaturmessung.....	16
Abbildung 8	NIRS-Messung .....	16
Abbildung 9	Weißreferenzierung .....	16
Abbildung 10	Umdrehen der Probe.....	16
Abbildung 11	Silageprobe in der Petrischale .....	16
Abbildung 12	Temperaturverläufe der Auftauphase für drei Grassilageproben unter Angabe der Raumtemperatur .....	18
Abbildung 13	Einfluss der Messdauer und der Messart (unten/oben) auf dem mittleren RMSE (% i. d. FM).....	19
Abbildung 14	Spektren ungetrockneter Grassilageproben (durchgezogene Linie: Mittelwert, punktierte Linie: Probe 1, gestrichelte Linie: Probe 63).....	36
Abbildung 15	Spektren getrockneter Grassilageproben (durchgezogene Linie: Mittelwert, punktierte Linie: Probe 1, gestrichelte Linie: Probe 63).....	37
Abbildung 16	Spektren ungetrockneter Grassilageproben (durchgezogene Linie: Mittelwert, punktierte Linie: Probe 1, gestrichelte Linie: Probe 63).....	38
Abbildung 17	Spektren getrockneter Grassilageproben (durchgezogene Linie: Mittelwert, punktierte Linie: Probe 1, gestrichelte Linie: Probe 63).....	39
Abbildung 18	Box-Whisker-Diagramme der Probensätze zur Kalibration CAL <sub>TM-UG</sub> und zur Validation VAL <sub>TM</sub> vom Trockenmassegehalt .....	40
Abbildung 19	Box-Whisker-Diagramme der jeweiligen Kalibrations- und Validationsprobensätze zur Schätzung der nutritiven Qualitätsparameter a) Rohprotein, b) WSC, c) Rohfaser, d) ADF, e) NDF, f) ELOS, g) Asche, h) NEL .....	42
Abbildung 20	Box-Whisker-Diagramme der jeweiligen Kalibrations- und Validationsprobensätze zur Schätzung der fermentativen Qualitätsparameter a) pH,	

b) NH <sub>3</sub> -N, c) Milchsäure, d) Buttersäure, e) Essigsäure, f) Propionsäure, g) Ethanol, h) DLG-Punkte .....	43
Abbildung 21 Spannweite und Mittelwerte der Standardfehler von PCR-, PLS- und MPLS-Regression für die Schätzung des Trockenmassegehaltes in % i.d. FM von ungetrockneten Grassilageproben: SEC (links), SECV (Mitte) und SEP(C) (rechts)	44
Abbildung 22 Spannweite und Mittelwerte der Standardfehler von PCR-, PLS- und MPLS-Regression für die Rohprotein-, WSC-, Rohfaser- und Asche-Schätzung in % i.d. TM von ungetrockneten (UG) und getrockneten (GG) Grassilageproben: SEC (links), SECV (Mitte) und SEP(C) (rechts).....	45
Abbildung 23 Spannweite und Mittelwerte der Standardfehler von PCR-, PLS- und MPLS-Regression für die ADF-, NDF-, ELOS- und NEL-Schätzung in % i.d. TM von ungetrockneten (UG) und getrockneten (GG) Grassilageproben: SEC (links), SECV (Mitte) und SEP(C) (rechts) .....	47
Abbildung 24 Spannweite und Mittelwerte der Standardfehler von PCR-, PLS- und MPLS-Regression für die pH-, NH <sub>3</sub> -N-, MS- und BS-Schätzung in % i.d. TM von ungetrockneten (UG) und getrockneten (GG) Grassilageproben: SEC (links), SECV (Mitte) und SEP(C) (rechts) .....	48
Abbildung 25 Spannweite und Mittelwerte der Standardfehler von PCR-, PLS- und MPLS-Regression für die ES-, Eth-, PS- und DLG-Pkte-Schätzung in % i.d. TM von ungetrockneten (UG) und getrockneten (GG) Grassilageproben: SEC (links), SECV (Mitte) und SEP(C) (rechts) .....	50



## TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 1	Charakteristika der Basisprobensätze .....	6
Tabelle 2	Relevante Parameter für die Berechnung der DLG-Punkte.....	12
Tabelle 3	NIRS-Kalibration für Grassilagespektren von ungetrockneten Proben zur Schätzung der Trockenmasse ( % FM).....	19
Tabelle 4	Einstellungen an der Software ISIV3.0 für die Regressionsberechnungen mit Grassilagespektren von ungetrockneten und getrockneten Proben mit dem Corona 45 NIR 1.7 HR .....	21
Tabelle 5	Zusammensetzung der Kalibrationsprobensätze für ungetrocknete (UG) sowie getrocknete (GG) Grassilage (in %TM, wenn nicht anders vermerkt) .....	30
Tabelle 6	Zusammensetzung der Validationsprobensätze für ungetrocknete (UG) sowie getrocknete (GG) Grassilage (in %TM, wenn nicht anders vermerkt) .....	30
Tabelle 7	Beschreibende Statistik Grassilageproben aus ganz Deutschland in % i. d. TM (n=266).....	32
Tabelle 8	Beziehungen zwischen den Nährwertparametern in der Grassilage anhand der Korrelationen nach Pearson .....	33
Tabelle 9	Beziehungen zwischen den Gärparametern in der Grassilage anhand der Korrelationen nach Pearson .....	34
Tabelle 10	Beziehungen zwischen den Nährwertparametern und den Gärparametern in der Grassilage anhand der Korrelationen nach Pearson .....	34
Tabelle 11	Wiederholbarkeit ( <i>root mean square</i> , RMS) der Spektren für Wiederholmessungen an ungetrockneten (UG) und getrockneten (GG) Grassilageproben .....	39
Tabelle 12	Kalibrations- und Validationsergebnisse für die Schätzung der nutritiven Parameter der ungetrockneten (UG) und getrockneten (GG) Grassilageproben....	53
Tabelle 13	Kalibrations- und Validationsergebnisse für die Schätzung der fermentativen Parameter der ungetrockneten (UG) und der getrockneten (GG) Grassilage.....	57
Tabelle 14	Schätzgüte für Trockenmassegehalt (TM) bei NIRS-Messungen an ungetrockneten (UG) Grassilagen nach diversen Autoren .....	67
Tabelle 15	Schätzgüte für Rohproteingehalt (RP) bei NIRS-Messungen an ungetrockneten (UG) und getrockneten (GG) Grassilagen nach diversen Autoren	68
Tabelle 16	Schätzgüte für ADF-Gehalt bei NIRS-Messungen an ungetrockneten (UG) Grassilagen nach diversen Autoren.....	69
Tabelle 17	Schätzgüte für NDF-Gehalt bei NIRS-Mesungen an ungetrockneten (UG) und getrockneten (GG) Grassilage nach diversen Autoren .....	70

Tabelle 18	Schätzgüte für Verdaulichkeitsparameter (IVVOM, CDOM, ELOS, EULOS) bei NIRS-Messungen an ungetrockneten (UG) und getrockneten (GG) Grassilagen nach diversen Autoren .....	71
Tabelle 19	Schätzgüte für Aschegehalt bei NIRS-Messungen an ungetrockneten (UG) und getrockneten (GG) Grassilagen nach diversen Autoren.....	71
Tabelle 20	Schätzgüte für pH-Wert bei NIRS-Messungen an ungetrockneten (UG) und getrockneten (GG) Grassilagen nach diversen Autoren .....	72
Tabelle 21	Schätzgüte für Gärparameter bei NIRS-Messungen an ungetrockneten (UG) und getrockneten (GG) Grassilagen nach diversen Autoren.....	74

---

# **1 Einleitung**

---

Grünland- und Futterbaubetriebe stehen vor der Herausforderung, kostengünstig betriebseigenes Wirtschaftsfutter für die Wiederkäuerfütterung zu erzeugen. Der traditionelle Wechsel zwischen Weidegang und Stallfütterung weicht zunehmend der Ganzjahresstallfütterung, für die naturgemäß im gesamten Jahresablauf konserviertes Futter vorzuhalten ist. Die Konservierung des auf Grünland und im Ackerbau erzeugten Futters kann prinzipiell über Trocknung zu Heu oder über Silierung, d.h. durch Milchsäuregärung in feuchtem Milieu zu Silage erfolgen. Nach Zimmer *et al.* (1988) unterscheiden sich diese beiden Konservierungsverfahren grundsätzlich im Wetterrisiko, in den Werbungs- und Konservierungsverlusten und in den Futterwert- und Verdaulichkeitsänderungen.

Die wirtschaftliche Bedeutung des Grundfutters in Form von Silage spiegelt sich in den Produktionszahlen in Deutschland wider. Im Jahr 2000 wurde nach Wilkinson und Toivonen (2003) Grassilage in Höhe von 6,5 Millionen t Trockenmasse in Deutschland erzeugt. Allein in Niedersachsen wurden nach Sommer (2004) im Jahr 2003 mehr als 2 Millionen Tonnen Silage produziert.

Nach Walter *et al.* (2005) stellt die Qualitätsteigerung des Grundfutters, speziell die Steigerung der Energiekonzentration, die eigentliche Triebkraft für die Leistungssteigerung in der Milchproduktion neben der genetischen Verbesserungsarbeit dar. Nach seinen Beobachtungen anhand von Zeitreihenanalysen wurde der steigende Milchertrag nicht durch einen vermehrten Kraftfuttereinsatz erkauft. Darüber hinaus ist mit Grassilage als Hauptbestandteil des Rauhfutters eine deutlich größere Unabhängigkeit von proteinreichen Zusatzfuttermitteln gegenüber Fütterungssystemen mit hohem Maissilageeinsatz zu erzielen (Paccard *et al.*, 2003; Lherm und Benoit, 2003). Die Qualität der Grassilage hängt von Herstellungsfaktoren wie dem Schnitzeitpunkt ab, denn das Reifestadium der Gräser bestimmt durch die mit fortschreitendem Entwicklungsstadium steigenden Lignineinlagerungen die Verfügbarkeit u.a. der Proteine und der Kohlenhydrate für die Wiederkäuer, weil ihre Verwertung im Pansen dadurch stark gehemmt wird (Jarrige *et al.*, 1995). Außerdem kann eine Steigerung der Milchleistung maßgeblich durch das Anwelken der Grassilage gefördert werden, weil Grassilage mit höheren Trockenmassegehalten zu einer höheren Futteraufnahme führen und eine positive Wirkung auf die Fett- und Eiweißgehalte der Milch zeigen (Stoll und Jans, 2000).

Die Dringlichkeit der Erfassung der verschiedenen Einflüsse anhand der Qualitätsparameter der Grassilage zeigt sich an der stetig wachsenden Anzahl der in Auftrag gegebenen kombinierten Nährstoff- / Gärqualitätsanalysen (Wiedner, 2002). Diese Untersuchungen bilden den Grundstock für die Futterbau- und Fütterungsberatung. Die Methoden zur Ermittlung der für die Rationsgestaltung benötigten Größen unterscheiden sich in erster Linie nach ihrem Aufwand. Die verbreitete Schnellmethode zur sensorischen Bewertung von Silagen direkt bei der Entnahme aus dem Silo richtet sich nach dem DLG-Bewertungsschlüssel. Die Sinnenprüfung gemäß dem DLG-Schlüssel dient der organoleptischen Klassifizierung des Konservierungserfolges anhand des Geruches, der Farbe und des Gefüges der Silage (Anonymous, 2004). Diese sensorische Methode zur Ermittlung der Gärqualität erfordert als subjektive Methode viel Übung und erfahrenes Personal. Fehlt dies, so kommt es in der Regel zu einer Fehlbewertung der Grassilage (Dietrich, 2002).

Um eine objektivere Einordnung der Gärqualität zu erreichen, wurden bisher Grassilagen chemisch untersucht. Anschliessend wurden die DLG-Punkte nach dem Schlüssel von Weißbach und Honig (1997) berechnet. Eine weitere Methode stellt die Untersuchung der ungetrockneten und zerkleinerten Proben mittels Nahinfrarot-Transmissionsmessung dar (Paul *et al.*, 1999). Diese wird bei der AgFuKo (Arbeitsgemeinschaft für Futterkonservierung der Landwirtschaftskammer Niedersachsen) verwendet. Außerdem entwickelte Dietrich *et al.* (2002) eine Methode zur Klassifizierung von Grassilagen zur Ermittlung der Gärqualität mit einem objektivem „Analysator“ - der sogenannten „elektronischen Nase“. Bei diesen Methoden stellen die Probenaufbereitung und, da nicht alle qualitätsrelevanten Parameter in einem Messvorgang ermittelt werden können, die Messung einen hohen Aufwand dar. In dieser Arbeit sollen an ungetrockneten und unzerkleinerten Grassilageproben mit einem Messvorgang sowohl die nutritiven als auch die fermentativen Qualitätsparameter mittels Nahinfrarot-Reflexionsspektroskopie (NIRS) erfasst werden. Außerdem bietet nach Sinnaeve *et al.* (1994b) die Nahinfrarot-Reflexionsspektroskopie eine gute Möglichkeit der Analyse von flüchtigen Gärprodukten am frischen Material ohne Verluste von flüchtigen Inhaltsstoffen.

Nahinfrarotreflexionsspektren (NIR-Spektren) von biologischen Materialien korrelieren mit den Probeneigenschaften. Bei Futterpflanzen und ihren Verarbeitungsprodukten kann es sich dabei um Parameter wie Feuchte-, Stickstoff-, Fasergehalt oder auch ihre

Verdaulichkeit u.a. handeln. Jedoch ist es nur selten möglich, ihre Eigenschaften oder die chemische Zusammensetzung direkt aus den NIR-Spektren einer Probe zu ermitteln. Dies kann nur auf indirektem Weg im Rahmen eines mathematisch-statistischen Modellierungsprozesses geschehen. Dazu muss eine hinreichend große Probenanzahl von Vergleichsmustern mittels NIRS vermessen und im Labor chemisch untersucht werden. In dieser Arbeit soll ermittelt werden, welche Komplexität und Vielfalt die Proben für die Modellierung aufweisen sollten. Mit Hilfe geeigneter Verfahren der Regressionsanalyse werden dann mathematische Modelle erstellt, die den Zusammenhang zwischen NIR-Spektren und Labordaten abbilden. Diese Verfahren werden Kalibrierungen genannt (Murray, 1993).

Ziel dieser Arbeit ist es durch den Einsatz der Nahinfrarotspektroskopie (NIRS) eine Senkung des Zeit- und Kostenaufwandes zu erreichen. Dies soll durch die simultane Erfassung der nutritiven (Trockenmasse-, Rohprotein-, Restzucker-, Rohfaser-, ADF-, NDF-, Rohasche-, Energiegehalt sowie die Verdaulichkeit) und fermentativen (pH-Wert,  $\text{NH}_3\text{-N}$ , Milch-, Butter-, Essig- und Propionsäuregehalt sowie Ethanolgehalt und DLG-Punkte) Qualitätsparameter der Grassilage erfolgen. Desweiteren soll ermittelt werden, ob diese Parameter durch NIRS-Messungen bestimmbar sind und mit welcher Genauigkeit eine zerstörungsfreie Analyse ungetrockneter Grassilageproben im Vergleich zu den herkömmlicherweise verwendeten getrockneten Proben durchgeführt werden kann. Durch die Heterogenität der unbehandelten Grassilageproben werden besondere Anforderungen an das Spektrometer gestellt. Um die Messfläche zu vergrößern, wurde das Spektrometer um einen Drehteller „Turnstep“ (siehe Kapitel 2.3.1) ergänzt. Dies führt zu der Frage, ob dieses Spektrometersystem für die Messung unbehandelter Grassilageproben eingesetzt werden kann. In diesem Zusammenhang wird auf mögliche die Messung beeinflussende Störgrößen eingegangen.

Die Entwicklung des in dieser Untersuchung verwendeten Messverfahrens wurde im Rahmen einer Kooperation zwischen der AgFuKo der Landwirtschaftskammer Niedersachsen, der Firma Pioneer Hi-bred GmbH in Buxtehude und dem Institut für Pflanzenbau und Grünlandwirtschaft der Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft in Braunschweig durchgeführt. Im Kapitel 2.1.1 wird die Aufgabenteilung zwischen den Partnern erläutert.

---

## **2 Material und Methoden**

---

Eine erfolgreiche Nutzung von NIRS-Verfahren ist abhängig von der präzisen Erfassung der Probencharakteristika - sowohl bei der Erfassung der NIR-Spektren als auch bei der chemischen Analyse - um ein Korrelationsmodell zwischen der spektroskopischen Messung und dem chemischen Analysenverfahren aufbauen zu können (Murray, 1993). Im Folgenden wird das verwendete Probenmaterial vorgestellt und die chemischen und spektroskopischen Messungen erläutert.

---

## 2.1 Verwendete Grassilageproben

Bei dem Probenmaterial handelt es sich um Grassilageproben, die ausschließlich in Deutschland erzeugt wurden und somit aus landesüblichen weidelgrasbetonten Mischungen (*Lolium*) mit geringem Anteil an Leguminosen wie Weißklee (*Trifolium repens*) oder vereinzelt Luzerne (*Medicago sativa*) und Rispen- sowie Schwingelarten (*Poa* bzw. *Festuca*) bestehen. Ein Teil der Proben konnte von der Arbeitsgemeinschaft Futterbau und Futterkonservierung (AgFuKo) an der Landwirtschaftskammer Niedersachsen bereitgestellt werden. Der Großteil des Materials wurde jedoch von der Firma Pioneer Hi-bred GmbH in Buxtehude zur Verfügung gestellt.

Die verwendeten Proben stammen aus den Jahren 2000 bis 2004, aus verschiedenen Schnittzeitpunkten und Ernteperiode. In Tabelle 1 befinden sich detaillierte Angaben über die Proben. Da die Proben komplett aus Praxisbetrieben stammten, war nicht immer aus den Begleitscheinen ersichtlich, welche Grasmischung und ob Silierhilfsmittel verwendet worden waren. Um die Grassilage vor den NIRS-Messungen und chemischen Untersuchungen nicht nachteilig zu behandeln, wurde auf eine systematische Ermittlung der Anteile verschiedener botanischer Arten verzichtet.

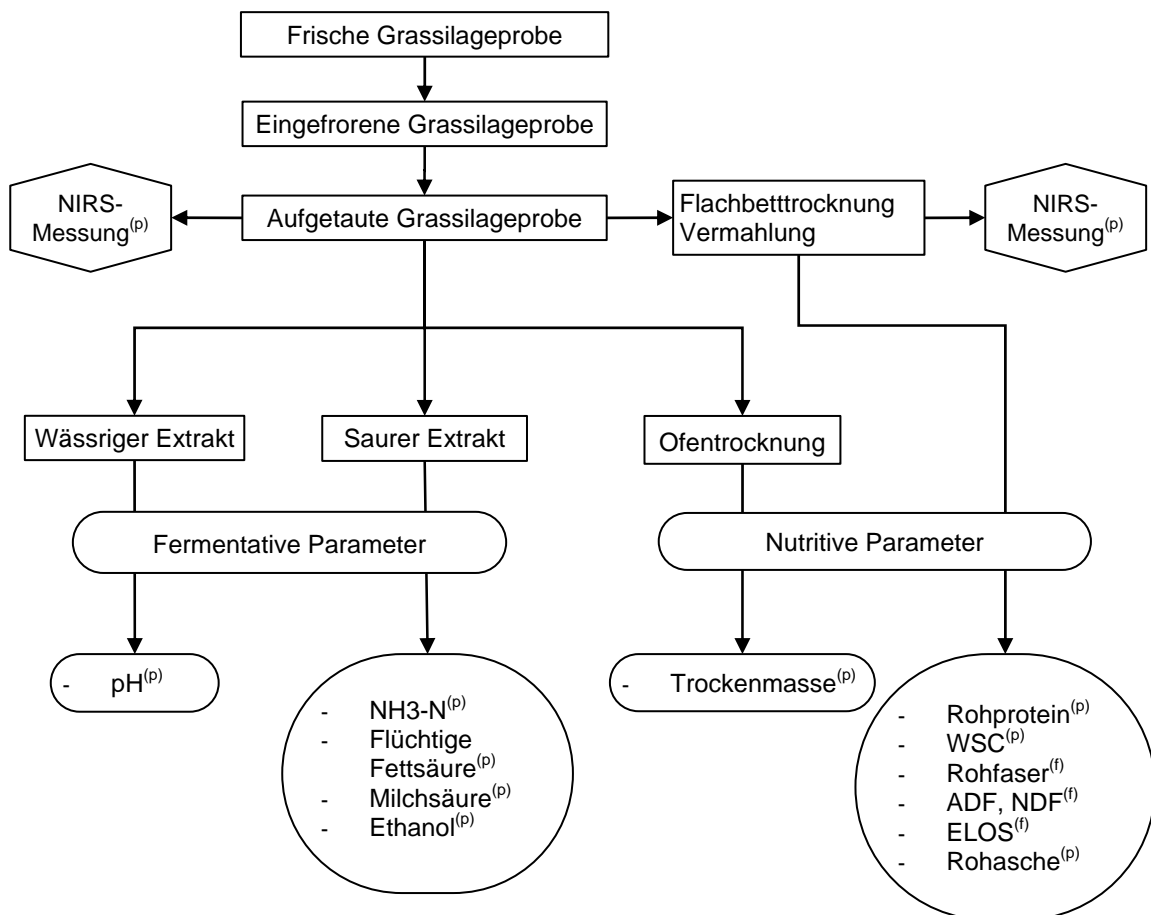
**Tabelle 1 Charakteristika der Basisprobensätze**

Probensatz	n	Jahr	Aufwuchs
CAL	149	2000–2003	1.- 4. Schnitt
CAL+	57	2003	1.- 4. Schnitt
VAL	60	2004	1.Schnitt



## 2.2 Nasschemische Analysemethoden zur Referenzdatenerfassung

Die Entwicklung eines NIRS-basierten Messverfahrens zur Ermittlung der Grassilagequalität nach minimaler Probenaufbereitung fand am Institut für Pflanzenbau und Grünlandwirtschaft der Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft in Braunschweig in Zusammenarbeit mit der Firma Pioneer Hi-Bred GmbH in Buxtehude statt. Die Proben wurden gleich nach der spektroskopischen Messung (siehe Kap. 2.3) ins nasschemische Labor gegeben, um die Trockenmassebestimmung sowie die saure Extraktion vorzunehmen. Der Abbildung 1 ist der Ablauf der Probenaufbereitung und die Verteilung der durchgeführten Analysen auf die beiden beteiligten Laboratorien zu entnehmen



**Abbildung 1** Probenaufbereitung (rechteckig), der NIRS-Messungen (sechseckig), der Inhaltsstoffe (runde Ecken) und der dazugehörigen Analysenorte (p): Labor der Fa. Pioneer Hi-Bred GmbH, (f): Labor des Instituts für Pflanzenbau und Grünlandwirtschaft der FAL

- *Bestimmung des Trockenmassegehaltes*

Drei vergleichbare Teilproben jedes Untersuchungsmusters wurden in Aluminiumschalen eingewogen. Bei Proben mit einer Trockensubstanz bis zu ca. 40% wurden 100 g je Wiederholung eingewogen, während die Frischmasse-Einwaage bei Grassilagen mit einer höheren Trockensubstanz nur ca. 60-80 g je Wiederholung betrug. Da nach der Trocknung chemische Analysen erfolgen sollten, wurde die Silage schonend bei 60°C ( $\pm 10^\circ\text{C}$ ) 48 h lang auf einer Flachbett-trocknungsanlage getrocknet.

*Korrektur des Trockenmassegehaltes*

Bei der Trocknung von Silagen können durch flüchtige Substanzen Verluste entstehen, die bei der Berechnung der Absoluttrockenmasse zu berücksichtigen waren. Die Korrektur wurde gemäß dem Vorschlag von Weißbach und Kuhla (1995) nach folgenden Formeln vorgenommen:

$$\text{korrigierter TM - Gehalt(\%)} = 2,08 + 0,975 * \text{unkorr. TM - Gehalt}$$

Unkorr. TM-Gehalt: unkorrigierter Trockenmassegehalt

- *Bestimmung des Rohproteingehaltes*

Die Ermittlung des Rohproteingehaltes nach der Kjeldahlmethode wurde in Anlehnung an die Verbandsmethode des VDLUFA durchgeführt (siehe VDLUFA-Methodenbuch III, Kap. 4.1.1). Das Probenmaterial wird dabei mit Schwefelsäure in Anwesenheit eines Katalysators bei 410°C während 1,5 h aufgeschlossen. Danach erfolgt eine Destillation unter Zugabe von destilliertem Wasser und Natronlauge in einer Borsäurevorlage. Nach der zwei-stufigen Titration (pH=4 und Äquivalenzpunkt) wird der Stickstoffgehalt mit dem Faktor 6,25 multipliziert, um den Rohproteingehalt zu erhalten.

- *Bestimmung der wasserlöslichen Kohlenhydrate (WSC)*

Unter dem Begriff wasserlösliche Kohlenhydrate (WSC) werden Mono-, Di- und Oligosaccharide, Fruktosane und Dextrosen zusammengefasst. Sie wurden kolorimetrisch mithilfe der Anthronmethode nach Laws und Oldenburg (1993) ermittelt. Ihr liegt die Modifikation der Anthron/Schwefelsäuremethode nach Deriaz (1961) zugrunde.

- *Bestimmung des Rohfasergehaltes*

Die hier verwendete Methode nach dem Prinzip des Weender Verfahrens wurde aus Vorschriften (VDLUFA-Methodenbuch III, Kapitel 6.1.1) von Malkomesius und Nehring (1951) und von Nehring (1960) sowie aus dem Manual Fibertec System M der Firma Tecator abgewandelt und modifiziert. Dabei wurde die Rohfaser als organischer, fettfreier Rückstand nach Behandlung der Probe mit 1,25 %iger Schwefelsäure und 1,25 %iger Kalilauge erfasst.

- *Bestimmung der ADF- und NDF-Gehalte*

Die Bestimmung des Gehaltes an pflanzlicher Zellwand erfolgte mittels einer neutralen Detergentienlösung (NDF) bzw. zur Bestimmung des Gehaltes an Lignocellulose mittels saurer Detergentienlösung (ADF). Die Methoden werden in Anlehnung an van Soest (1966) angewandt und sind im Methodenbuch III Kap. 6.5.1 (VDLUFA, 1988) und Kap. 6.5.2 (VDLUFA, 1993) beschrieben.

- *Bestimmung der enzymlöslichen organischen Substanz (ELOS)*

Die Untersuchung der Enzymlöslichkeit der organischen Masse von Futtermitteln nach der VDLUFA Verbandsmethode (VDLUFA, 1997) ist ein Verfahren zur Schätzung der in vivo-Verdaulichkeit. Sie dient zur Bestimmung der in Pepsin-Salzsäure und Cellulase löslichen organischen Substanz in Futtermitteln (Methodenbuch III Kapitel 6.6.1, VDLUFA, 1997).

- *Bestimmung der Rohasche*

Die Bestimmung der Rohasche erfolgte durch Verbrennung im Muffelofen über 3 Stunden bei 550°C und gravimetrische Ermittlung des Verbrennungsrückstandes (Methodenbuch III Kapitel 8.1, VDLUFA, 1983/88/93/97).

- *Berechnung des Energiegehaltes*

Um den Netto-Energiegehalt berechnen zu können, muss der Gehalt an umsetzbarer Energie (ME – metabolizable energy) nach folgender Formel von Weißbach *et al.* (1996a) errechnet werden.

$$ME = 13,98 - 0,0147 * RA - 0,0102 * EULOS - 0,00000254 * EULOS^2 + 0,00234 * RP$$

Der Fehler dieser Gleichung beträgt für Gras und Graskonservate 3,5 %. Zur Berechnung des Energiegehaltes (NEL) wurde die folgende vereinfachte Formel nach Weißbach *et al.* (1996b) angewandt.

$$NEL = ME (0,46 + 12,38 * ME / (1000 - RA))$$

ME = Umsetzbare Energie (MJ/kg TM)  
 NEL = Nettoenergie - Laktation (MJ/kg TM)  
 RA = Rohasche (g/kg TM)

EULOS = Enzymunlösliche organische Substanz (g/kg TM)  
 RP = Rohprotein (g/kg TM)

Die enzymunlösliche organische Substanz wird aus der zuvor beschriebenen enzymlöslichen organischen Substanz (ELOS) wie folgt abgeleitet:

$$EULOS \text{ (g/kg TM)} = 100 - ELOS - RA$$

ELOS (g/kg TM), RA (g/kg TM)

- *pH-Bestimmung*

Zur Ermittlung des Säuerungsgrades der Grassilage wurde der pH-Wert bestimmt. Die aufgetaute Silageprobe wurde in einer Kunststoffschüssel gut durchmischt. Zur Verstärkung wurden zwei Stomacherbeutel ineinander gesteckt, die anschliessend mit 25 g frischem Material und 250 ml deionisiertem H<sub>2</sub>O (Verdünnung 1:10) gefüllt wurden. Dann wurde die so aufbereitete Grassilage mit dem Stomacher zwei Minuten lang geknetet. Danach wurde der pH-Wert mit einer Einstabmesskette bestimmt. Zur Korrektur der Temperatur (20°C) wurde ein Fühler in die Probe gehalten, über den der gemessenen pH-Wert auf 20°C umgerechnet wurde (VDLUFA-Methode 18.1, VDLUFA, 1983/88/93/97).

- *Herstellen des sauren Extraktes*

Die saure Extraktion dient zur Vorbereitung der Bestimmung des Gehaltes an Gärssäuren und Alkohol, D- und L- Milchsäure, Ammoniakstickstoff und löslichem Stickstoff. Die Silage wird in einen Stomacherbeutel eingewogen und mit 0,1 n H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>-Lösung vier Minuten lang im Stomacher homogenisiert. Anschließend erfolgt das Filtrieren in ein

Plastikfläschchen. Durch den tiefen pH-Wert der Säure liegt das Ammoniak als Ammonium vor und kann somit nicht entweichen. Erfolgt die weiteren genannten Analysen nicht im Anschluss an die Herstellung, wurden die sauren Extrakte eingefroren und die Analyse zu einem späteren Zeitpunkt fortgesetzt. Bei Durchführung der anschließenden Analysen an den darauf folgenden zwei Tagen wurden die Proben lediglich im Kühlschrank aufbewahrt.

Zur Bestimmung der Gärssäuren ist die weitere Aufbereitung des Extraktes notwendig: Ca. 1 ml des sauren Extraktes wird in Eppendorf-Reaktionsgefäße während 10 min. bei 5.500 U / min zentrifugiert. Der Überstand wird in ein zweites Reaktionsgefäß gegossen und erneut zentrifugiert. Mit einer Pasteurpipette werden 2/3 des Überstandes in HPLC-Fläschchen gefüllt und bis zur Analyse im Kühlschrank aufbewahrt.

- *Bestimmung des Gehaltes an Gärssäuren und Ethanol*

Zur Beurteilung der Qualität von Silagen dient u. a. die Bestimmung der bei der Silierung entstandenen Säuren, wie Milchsäure, Essigsäure, Buttersäure, Ameisensäure, Propionsäure, 2,3-Butandiol, Propandiol, Propanol, sowie Ethanol. Alle genannten Substanzen wurden mittels Hochleistungsflüssigkeits-Chromatographie (HPLC) quantifiziert. Diese wurden als Gehalt in % FM erfasst und bezogen auf die Trockenmasse umgerechnet. Die verwendete Methode wurde nach Siegfried *et al.* (1984) und Canale *et al.* (1984) modifiziert.

Chromatografische Messbedingungen:

Vacuum Degasser (TSP)	Trennsäule: (BIORAD Artikel-Nr. 125 0115 150mmx7.8mm)
Pumpe P1000 (TSP)	Vorsäule: CS 558 401 Sphere Image 50 DS 1
Controller SN 4000 (TSP)	Laufmittel 0.02 n H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>
Autosampler (Marathon TSP)	Laufzeit: 30 min / Probe
Säulenofen (40°C)	
RI-Detektor 150 (TSP)	

TSP: Thermo Separation Products

- *Bestimmung des Gehaltes an Ammoniak*

Das Prinzip der Methode zur Bestimmung des Ammoniakgehaltes beruht auf einer Wasserdampf-Destillation nach Zugabe von Natronlauge mit anschließender Titration des Destillates gegen Schwefelsäure. Die Angabe des Ammoniak-Gehaltes erfolgt durch Bezugnahme auf den Gesamt-N-Gehalt:

$$\text{NH}_3 - \text{N \%TN} = \text{NH}_3 - \text{N \% TM} * 100 / \text{TN \% TM}$$

- *DLG-Bewertungsschlüssel*

Der DLG-Bewertungsschlüssel zur Beurteilung der Gärqualität von Grünfuttersilagen liefert auf Basis verschiedener Gärprodukte einen Indexwert, der zur Kontrolle und Bewertung des Siliererfolges dienen soll. Seine Ermittlung erfolgte in der vorliegenden Untersuchung entsprechend der Methodenvorschrift nach Weißbach und Honig (1997) anhand einer repräsentativ gezogenen Probe aus dem Silo aufgrund der chemischen Analyse der in Tabelle 2 angegebenen Parameter. Die DLG-Punkte können Werte zwischen 0 für sehr schlechte und 100 für sehr gute Silagen annehmen.

**Tabelle 2 Relevante Parameter für die Berechnung der DLG-Punkte**

Kriterium	Grenzbereich
Buttersäuregehalt	<0,3 % i.d. TM
Essigsäure- und Propionsäurege-	2,0 – 3,5 % i.d. TM
Ammoniakgehalt in % am Ge-	<10 % i.d. TM
samtstickstoff	
pH-Wert	Abhängig vom Trockenmas-
	segehalt

---

## 2.3 Nah-Infrarot-Spektroskopie

---

### 2.3.1 Verwendetes NIR-Spektrometer

Das Nah-Infrarot-Spektrometer CORONA 45 NIR 1.7 HR der Firma Carl Zeiss Jena GmbH wurde für die Messung der ungetrockneten und der getrockneten Grassilageproben verwendet. Dabei handelt es sich um ein Diodenzeilenspektrometer, das durch den Einsatz eines fest installierten holographischen Gitters eine sehr robuste Bauart aufweist. Da der Spektrometerkörper fest mit einem aberrationskorrigierten Konkavgitter, einem Lichtfaserquerschnittswandler als optischen Eingang zur Teilung der Wellenlängen und zwei Diodenzeilen (2 x 128=256 Dioden) verklebt ist, besitzt er eine dauerhafte Justierung. Die Elektronik mit integriertem Mikroprozessor weist eine Auflösung von 16 Bit und eine Messfrequenz von 200 KHz auf. Das Spektrometer erlaubt innerhalb von ca. 60 ms die Erfassung eines Spektrums im Wellenlängenbereich von etwa 960 nm bis 1690 nm. Diese Zeit entspricht der Integrationszeit, während der die Dioden belichtet werden.

Den optischen Teil des CORONA 45 NIR 1.7 HR bildet der Messkopf (Abbildung 2).<sup>1</sup> Dieser enthält als Lichtquelle eine Halogenlampe (10 V/20 W) mit der Farbtemperatur von 2900 K und einem Linsensystem, das eine runde Messfläche von 15 mm Durchmesser azentrisch ausleuchtet (Parallelstrahler, 0°). Im Messkopf sind peripher um die Austrittslinse Lichtleiter (Öffnungswinkel 45°) konzentrisch angeordnet. Sie nehmen das diffus reflektierte Licht auf. Der günstigste Abstand der Probe zum Messkopf liegt laut Hersteller bei 13 mm.

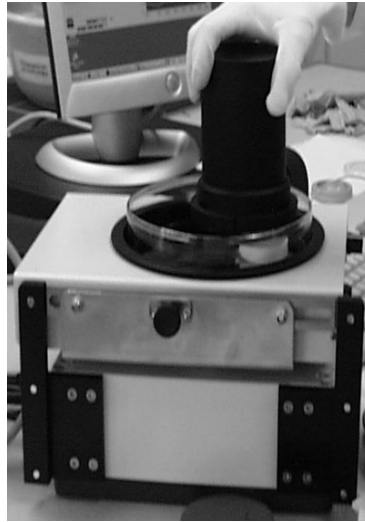
Die Intensitätskalibrierung des Spektrometers (siehe Abbildung 3) wurde mit Hilfe eines Weißstandards in Form einer weißen Keramikscheibe vorgenommen. Die Dunkelstromdrift wurde durch das Messen der Schwarzkammer ausgeglichen.

---

<sup>1</sup> An dieser Stelle sollte daraufhingewiesen werden, dass alle Fotos vom Autor genommen worden sind.



**Abbildung 2** Messkopf mit konzentrisch angeordneten Lichtleitern



**Abbildung 3** Manuelle Aufnahme der Weiß und Schwarzreferenzierung

Die Probenpräsentation besteht aus einem Drehteller „TURNSTEP“, auf dem die Probe in einer Petrischale (Steriplan® von Schott) gestellt wird. Die Absorption des Glases der Petrischale ist laut Hersteller im Messbereich des Spektrometers von 960 bis 1690 nm weitgehend wellenlängenunabhängig konstant. Der Einfluss des Glases wurde zudem bei der Gerätereferenzierung mit korrigiert.

Der Drehteller wurde von der Software CORA (Carl Zeiss Digital Data) gesteuert. Als Geschwindigkeits- und Umdrehungseinstellung für alle Messungen wurde „Turnstep 2 speed 2“ gewählt. Diese Einstellung gibt ein Spektrum aus 42 Messungen vor, die insgesamt 6 Umdrehungen lang (11 s) andauern. Das Gerät misst durch den extra-planen Glasboden der Petrischale ( $h = 50\text{mm}$ ,  $\varnothing = 200\text{ mm}$ ) die Reflexion des Probenmaterials mit einer Auflösung von 3 nm, die Pixel werden auf 2 nm interpoliert. Die gewonnenen Spektren wurden dann mit dem Programm Zeiss4C in .nir-Dateien konvertiert, um die Kalibrationsentwicklung in WinISI 1.50 vornehmen zu können.

Die fotovoltaische Detektion im CORONA 45 NIR 1.7 HR funktioniert mit Dioden des Indium-Gallium-Arsenid-Halbleiters (InGaAs). Diese Dioden sind bezüglich der Wellenlängen sehr stabil und obendrein sehr robust (Bertrand, 2000). Die Reaktionszeit beträgt nur 1 bis 10  $\mu\text{s}$ . Im Gegensatz zu thermischen Quellen können sie schnell und



oft ein- und ausgeschaltet werden, was den Einbau in Multiplex-Systeme ermöglicht. Die Dioden werden während der Messung zeitgleich aktiviert (Smith, 1979).

Die instrumentelle Response ändert sich von Gerät zu Gerät bzw. nach einem Wechsel von Lampe oder Detektor. Da während der gesamten Messzeit im Falle der nachfolgend beschriebenen Messungen weder Reparaturen noch ein Gerätetausch notwendig wurde, durfte eine Kontinuität seitens des Gerätes angenommen werden.

---

### 2.3.2 Durchführung der Messungen

In der hier vorgelegten Untersuchung wurde frische Grassilage mit einem von der AgFuKo bereitgestellten Corona 45 NIR 1.7 HR Nahinfrarotspektrometer gemessen. Im Folgenden wird der Ablauf der Messungen anhand von mehreren Bildern erläutert. Um das Spektrometer auf die notwendige Betriebstemperatur zu bringen, wurde dies mindestens eine Stunde vor der ersten Messung angeschaltet.



**Abbildung 4 Aufgetaute Proben    Abbildung 5 Ringe zum Befüllen, Stempel und Petrischalen**

Die in Plastiktüten eingefrorenen Grassilagen (Abbildung 4) wurden einen Tag zuvor zum Auftauen in Rollregale umgelagert. Nachdem die Grassilageproben die Raumtemperatur (je nach TM-Gehalt siehe Abbildung 12 in Kap. 2.3.3) erreicht hatten, wurde Probe für Probe in eine große Wanne überführt und manuell durchmischt.

Danach wurden die verzinkten Ringe als Befüllungshilfen in die Petrischalen (Abbildung 5) gesteckt. Aus einer durchmischten Grassilageprobe wurden zwei Unterproben genommen. Sie wurden in jeweils eine Petrischale gefüllt (Abbildung 6).



Abbildung 6 Befüllung



Abbildung 7 Temperaturmessung

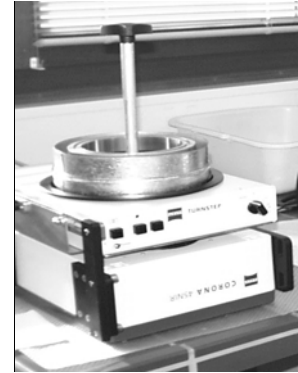


Abbildung 8 NIRS-Messung

Die Probertemperatur wurde mit Hilfe eines Infrarotthermometers (Abbildung 7) des Typs Raynger MX4 (Raytek, Santa Cruz, USA) gemessen. Da sich die Proben insbesondere an der Luft in ihrer chemischen Zusammensetzung verändern, wurden diese dementsprechend in den Petrischalen leicht angepresst und der dafür verwendete Stempel während der Messung auf der Probe liegen gelassen. Zudem wurde zur Vermeidung einer aeroben Verschlechterung der Silage, die meistens an der Oberfläche stattfindet (Lindgren *et al.*, 1985), ein Gewicht von ca. 2 kg auf den Stempel gelegt (Abbildung 8). Dies bewirkte eine bessere Verdichtung der Silage während der Messung, verhinderte zudem jegliche Luftzufuhr und gewährleistete optisch, dass die gemessene Fläche möglichst keine größeren Löcher aufwies.

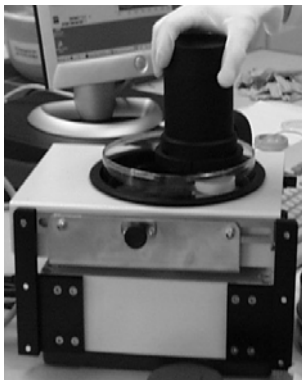


Abbildung 9 Weißreferenzierung



Abbildung 10 Umdrehen der Probe



Abbildung 11 Silageprobe in der Petrischale

Die Intensitätskalibrierung wurde während einer Messreihe jede Stunde wiederholt, um Änderungen des Strahlungsflusses auf Seiten der Lichtquelle auszugleichen (Abbildung 9). Dafür wurde die weiße Keramikscheibe (Weißstandard) auf die Petrischale genau über den Messkopf gelegt. Um störenden Lichteinfall zu vermeiden, wurde der zur Schwarzreferenzierung benötigte mattierte Zylinder über den Weißstandard gestellt. Es

wurde darauf geachtet, dass nicht immer dieselbe Petrischale zur Referenzierung verwendet wurde.

Die Messzeit (11s in 6 Umdrehungen) wurde kurz genug gehalten, um zu verhindern, dass sich Kondenswasser an den Unterproben bildet. Wie bereits erwähnt erfolgt die Drehung der Petrischale im Turnstep azentrisch. Die vermessene Fläche einer Unterprobe betrug somit 282,6 cm<sup>2</sup> und war dementsprechend 40-mal größer als eine Punktmessung. Hatte man die beiden Unterproben von der Unterseite gemessen, wurden sie umgedreht (Abbildung 10) und von der Oberseite gemessen. Dann wurde die bereits als Messzelle benutzte Petrischale (Abbildung 11) entfernt. Für jede Probe wurden somit vier Messungen durchgeführt. Die Festlegung dieser Anzahl wird in Kapitel 2.3.3 näher erläutert. Die Petrischalen wurden oft mit warmem Wasser und Spülmittel gereinigt, so dass immer mindestens 8 trockene und saubere Messgefäße einsatzbereit lagen.

Nach der Messung wurden die zur Messung verwendeten Unterproben mit dem verbliebenen Rest in der Plastikwanne erneut vermischt und homogenisiert, um anschließend im Labor die TM- bzw. pH-Bestimmung sowie die saure Extraktion für die Bestimmung der weiteren Gärparameter durchzuführen (wie in Abbildung 1 beschrieben).

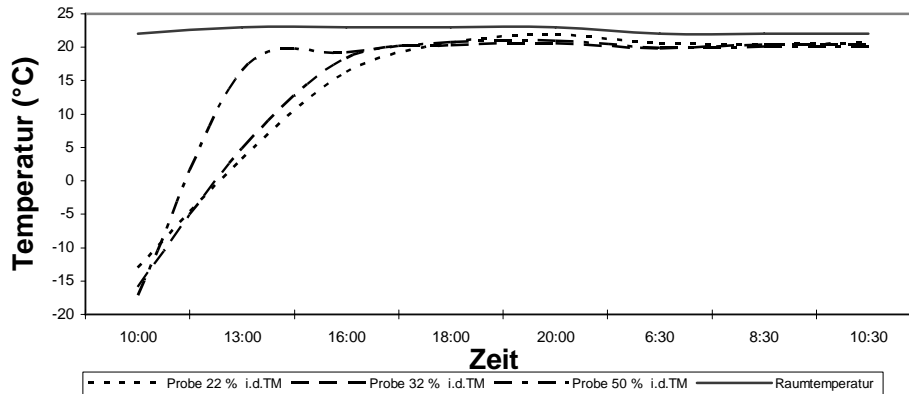
Für die Vergleichsmessungen am getrockneten Material mit dem Corona 45 NIR 1.7 HR wurden kleinere Steriplan-Petrischalen von Schott™ (60 x 15 mm) verwendet und eine Doppelmessung (zwei Unterproben) auf dem Turnstep mit denselben Dreheinstellungen wie im Fall der Messung der ungetrockneten Proben durchgeführt. Die Petrischalen wurden nicht umgedreht.

---

### 2.3.3 Optimierung der Messungen

Bei der NIRS-Messung sollten die Bedingungen, die die Spektrengewinnung beeinträchtigen können, möglichst vermieden werden. Eine dieser Bedingungen stellen sowohl die Raum- als auch die Proben temperatur dar. Eine Temperaturmessreihe wurde mit drei verschiedenen Grassilageproben durchgeführt, um je nach Trockenmassegehalt (siehe Abbildung 12) die notwendige Auftaudauer zu ermitteln. Jede der drei Grassilageproben aus der Kühlzelle wurde in zwei Unterproben aufgeteilt. Die erste Temperaturmessung mit einem digitalen Stabthermometer erfolgte um 10:00 Uhr. Die

Proben wurden um 13:00 Uhr gelockert und erneut gemessen. Bei den Folgemessungen wurde die Silage nicht mehr gelockert.



**Abbildung 12 Temperaturverläufe der Auftauphase für drei Grassilageproben unter Angabe der Raumtemperatur**

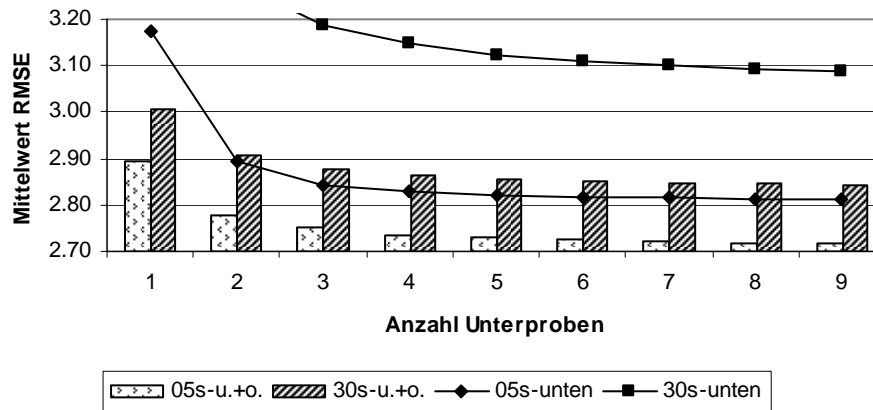
Die Temperatur der trockeneren Probe (50 % i.d. TM) erreichte nach 10 Stunden die Raumtemperatur, während die verbleibenden beiden Proben 21 Stunden für die Angleichung an die Raumtemperatur benötigten. Um in der Untersuchung zur Erstellung von Kalibrationsmodellen für ungetrocknete Grassilageproben zu gewährleisten, dass alle Proben die Raumtemperatur erreicht haben, wurden sie erst nach mindestens 24h Auftaudauer mit dem NIR-Spektrometer gemessen.

Die Anzahl der Unterproben bzw. Messwiederholungen sowie die Art und die Dauer der Messung stellen ebenfalls verfahrensbedingte Einflüsse dar. Um diese verschiedenen Einflussgrößen zu untersuchen, wurde ein Versuch mit 5 ungetrockneten Grassilageproben aus der Praxis durchgeführt. Aus jeder Probe wurden 10 Unterproben gezogen, die in 10 verschiedenen Petrischalen gefüllt wurden. Die Proben wurde daher insgesamt 20-mal gemessen. Davon erfolgten zehn Messungen von unten (u.). Anschließend wurden die Petrischalen wie im Kapitel 2.3.2 beschrieben umgedreht. Danach folgten zehn weitere Messungen, die als Messung von oben (o.) benannt wurden. Um den Einfluss der Messdauer auf die Güte der Schätzung zu untersuchen, wurden die obengenannten Messungen mit jeweils einer Dauer von 5s und von 30s durchgeführt. Anschließend wurde der Trockenmassegehalt der Unterproben (u.) durch die in Tabelle 3 dargestellte Kalibration geschätzt.

**Tabelle 3 NIRS-Kalibration für Grassilagespektren von ungetrockneten Proben zur Schätzung der Trockenmasse (% FM)**

Parameter	n	$\bar{x}$	SD	SEC	$R^2_{cal}$	SECV	1-VR
Trockenmasse	158	36,51	8,58	0,89	0,99	1,05	0,99

Außerdem wurden die Spektren der Unterproben (o.) und (u.) gemittelt, um mit diesen neuen Spektren (u.+o.) eine weitere Schätzung des Trockenmassegehaltes zu berechnen. Anschliessend wurde eine Varianzanalyse (SAS®, Version 9.12, Prozedur GLM) durchgeführt, um den Einfluss der Faktoren Messdauer (5s, 30s), Messart (u., u.+o.) und Wiederholungsanzahl (1-9) auf die Güte der gewonnenen Spektren zu bestimmen. Hierfür wurden die geschätzten Trockenmassegehalte verwendet. Ihre Varianz wurde anhand des Mittelwertes des Vergleichsmaßes *root mean square error* (RMSE) in Abbildung 13 dargestellt.



**Abbildung 13 Einfluss der Messdauer und der Messart (unten/oben) auf dem mittleren RMSE (% i. d. FM)**

Es fällt auf, dass unabhängig von der Art der Messung (u., u.+o.) der mittlere RMSE-Wert bei einer Messdauer von 30s höher als bei einer Messdauer von 5s ist. Ab der Messung von 3 Unterproben (u. oder u.+o.) für eine Dauer von 5 Sekunden nimmt der RMSE-Wert nicht mehr so stark ab. Um die Varianz der Schätzwerte gering zu halten, wurde somit die Anzahl der Messwiederholungen in den weiteren Untersuchungen auf vier festgelegt.

## 2.4 Kalibrationsentwicklung

In dieser Arbeit wurden gemäß dem im Folgenden beschriebenen Ablauf Schätzgleichungen zur Ermittlung der Grassilagequalität anhand eines Diodenzeilenspektrometers entwickelt. Der gesamte Prozess einer quantitativen Analyse gliedert sich in drei Schritte (Workman, 1992):

Die Kalibrationsstufe führt im ersten Schritt zu einer Kalibrationsgleichung. Damit ist das mathematische Modell gemeint, das die Absorption an den verschiedenen Wellenlängen mit den gesuchten Konzentrationen der Zielgröße verbindet. Im zweiten Schritt prüft die Validationsstufe, ob das entwickelte Modell gute Ergebnisse mit einem anderen Probensatz als demjenigen, der für die Erstellung der Kalibrationsgleichung verwendet wurde, liefert. Zum Schluss kommt im dritten Schritt die Schätzung („prediction“). Hierbei wird das entwickelte und bestätigte Modell auf Basis der spektroskopischen Technik zur Schätzung der Zielgröße genutzt, ohne dass die chemische Referenzanalyse noch benötigt wird.

Zur Findung des am besten geeigneten Modells zur Schätzung der Grassilagequalität wurden verschiedene Kombinationen der chemometrischen Methoden berechnet. Die Zahl dieser Kombinationen kann durch die möglichen Spektrentransformationen ins Unendliche steigen, darum wurden die Tests auf die Kriterien Regressionsmethode sowie Streuungskorrektur und Ableitung<sup>1</sup> (siehe Tabelle 4) beschränkt.

Die Kombination der verschiedenen Methoden und Spektrentransformationen ergab jeweils für die ungetrockneten (UG) und getrockneten (GG) Proben 36 Schätzgleichungen je geschätzten Parameter. Für die gelisteten 17 (UG) und 16 (GG) Parameter wurden somit durch die Nutzung von 4 verschiedenen Ableitungen, 3 unterschiedlichen Streulichtkorrekturen sowie 3 Regressionsmethoden insgesamt 1188 verschiedene Kalibrationsmodelle erstellt.

---

<sup>1</sup> Zur Erläuterung der einzelnen Kriterien siehe Unterkapitel 2.4.1 und 2.4.2

**Tabelle 4** Einstellungen an der Software ISIV3.0 für die Regressionsberechnungen mit Grassilagespektren von ungetrockneten und getrockneten Proben mit dem Corona 45 NIR 1.7 HR

Einstellungen	Varianten
Streuungskorrektur:	Keine, SNV-Detrend, MSC
Mathematische Behandlung:	0.0.1, 1.6.6, 2.12.12, 2.24.24
Werte der fehlenden Daten:	0
Variable:	1
Maximale Anzahl der Faktoren:	15
Wellenlängen Anzahl:	366, 355, 331, 295
Regressionsmethode:	PCR, PLS, MPLS
Minimaler F-Wert:	7,00
Kreuzvalidationsgruppen:	5
Gewichtete Ausreißer:	Nein
Kritischer Wert der T-Ausreißer:	2,50
Kritischer Wert der H-Ausreißer:	4,00
Kritischer Wert der X-Ausreißer:	6,00
Anzahl der Ausreißereliminierungen:	2
Zum Löschen ausgewählte Proben:	0

Alle entwickelten Schätzgleichungen wurden mit Hilfe des einzigen Validationssets VAL überprüft. Besonderes Augenmerk wurde auf die chemometrische Methode, die den kleinsten Standardschätzfehler ergibt, gerichtet. Die detaillierten Einstellungen der Regressionsberechnungen in der Software ISIV3.0 (Infrasoft International LLC.) für die beiden verschiedenen Probenaufbereitungen (UG und GG) sind in Tabelle 4 zusammengefasst.

Wie in Tabelle 4 ersichtlich wird, wurden zwei Durchgänge der Ausreißereliminierung zugelassen. Dabei wurden spektrale Ausreißer sowie diejenigen, die aufgrund ihrer Gehaltsabweichungen auffielen, für die Regressionsberechnung nicht berücksichtigt. Die in dieser Untersuchung im Rahmen der Kalibrationsentwicklung mit Hilfe der Software ISIV3.0 detektierten Ausreißer-Typen sind nachstehend in Anlehnung an Tillmann (1996) kurz erläutert.

Der T-Wert kennzeichnet die Übereinstimmung zwischen NIRS- und Laborwerten. Proben werden als T-Ausreißer bezeichnet, wenn die Differenz zwischen NIRS- und Laborwert größer als das Zweifache des SEC oder SEP war. Der T-Wert errechnet sich aus der Quotientenbildung der Vorhersagedifferenz einer Probe und dem Standardfehler der Kalibration. Übersteigt der T-Wert die hier festgelegte kritische Grenze von 2,50, so wurde die zugehörige Probe als T-Ausreißer bezeichnet.

Der H-Wert bzw. die Mahalanobis-Distanz stellt ein mehrdimensionales Maß für die Entfernung eines Spektrums von der spektralen Populationsmitte dar. Wenn in dieser Studie der H-Wert einer Probe die Grenze von 4,00 überstieg, galt dieses Spektrum als H-Ausreißer. Darüber hinaus gehören sie mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit von  $\alpha=1\%$  nicht zur normalverteilten Grundgesamtheit.

Für die Ermittlung von X-Ausreißern wird aus den Faktorwerten (*scores*) sowie Faktorladungen (*loadings*) ein rekonstruiertes Spektrum errechnet und mit dem Originalspektrum verglichen, wobei die Differenzen über alle Wellenlängen addiert und mit einer kritischen Grenze verglichen werden. Die kritische Grenze für die X-Ausreißer wurde in dieser Arbeit auf 6,00 festgelegt.

---

### 2.4.1 Regressionsmethoden

Die Regressionsverfahren dienen dazu, den Zusammenhang zwischen NIR-Spektren und den nass-chemisch ermittelten Werten mathematisch zu beschreiben. Gleichzeitig ist die Anzahl der Variablen im Modell zu reduzieren. Zum Beispiel werden die Wellenlängen, die einen Einfluss auf die Varianz bzw. die Kovarianz zeigen, in dem Modell integriert und benachbarte Wellenlängen wegen hoher Kollinearität nicht mehr berücksichtigt. In dieser Studie wurden drei multilineare Regressionsmethoden im Faktorraum angewendet.

- PCR (Hauptkomponentenregression)

Der Rechengang dieser Methode läuft in zwei Schritten ab. Zuerst werden die spektralen Daten über die Hauptkomponentenanalyse (PCA) ausgewertet. Dann werden die Ergebnisse der PCA mittels multipler linearer Regression verrechnet, die faktoriellen Daten fungieren dabei als Schätzer. Die Berechnungen beziehen sich auf den Faktorraum der Hauptkomponenten und die Koordinaten richten sich nach der maximalen Varianz in den Spektren (X).

- PLS (partielle Kleinste-Quadrate-Regression)

Die Berechnungen finden im Faktorraum der PLS-Komponenten statt. Die Auswahl der neuen Achsen richtet sich nicht mehr nach der maximalen Varianz wie in der PCR, son-



dern nach den besten Richtungen hinsichtlich der Schätzung der Konzentrationen. Diese Regressionsmethode berücksichtigt die maximale Kovarianz zwischen den Spektren (X) und den Konzentrationen (Y).

- MPLS (modifizierte partielle Kleinste-Quadrate-Regression)

Die Berechnungsmethode ist aus der PLS-Regression abgeleitet und unterscheidet sich von ihr dadurch, dass die spektralen Residuen und Konzentrationsresiduen bei jeder Iteration der PLS normalisiert, d.h. zentriert und reduziert werden (Shenk und Westerhaus, 1991).

---

### 2.4.2 Spektrentransformation

Die Transformationen dienen zur Datenvorbehandlung der X-Werte in den Regressionsmodellen. Der Auswertung von NIR-Spektren stehen zwei Probleme entgegen: die Überlagerung von Absorptionsbanden und eine große Basislinienvariation. Es gibt verschiedene Wege, die Auswertbarkeit von NIR-Spektren durch Transformation der Spektren zu verbessern.

- Mathematische Ableitungen

Nach Hruschka (1987) besteht in der Bildung von Ableitungen eine Möglichkeit, die o.g. Probleme zu lösen. Dadurch wird der Informationsgehalt der Spektraldaten gesteigert und die Basislinienverschiebungen reduziert. Darüber hinaus werden die Absorptionsbanden besser getrennt. In dieser Arbeit wurde das Verfahren der sog. „Gap“-Ableitung gewählt. Die Differenz der Spektren wird nicht auf aufeinander folgenden Punkten vollzogen, sondern auf Punkten, die um den „gap“-Wert voneinander entfernt sind. Bei diesem Verfahren wird die Differenz zweier fließender Mittelwerte (dy) auf die Differenz der Datenpunkte (dx) bezogen (dy/dx).

- Glättung

Die Rohdaten enthalten ein Rauschen, d.h. einen nicht-systematischen Fehler. Dieser Fehler kann durch eine Glättung, die durch die Methode des gleitenden Mittelwertes

berechnet wird, verringert werden. In dieser Studie wurde die Glättung auf bereits abgeleitete Spektren angewendet.

Die Details der Ableitung und der Glättung werden in Form von drei Kennziffern (X,Y,Z) wiedergegeben. Die erste Kennziffer X gibt die Stufe der Ableitung wieder, die zweite Kennziffer Y das Intervall, über welches die Ableitung berechnet worden ist und Z entspricht der Anzahl der Datenpunkte, die mittels des gleitenden Mittelwertes geglättet wurden (Norris und Williams, 1984).

- SNV und Detrend Streuungskorrekturen

Die SNV-Methode nach Barnes *et al.* (1989) ist eine Normalisierungstransformation, die die Standardabweichung der Spektraldaten heranzieht (Sinnaeve *et al.*, 1994a). Der Vorteil dieser Technik besteht in der Nutzung jedes einzelnen Spektrums, ohne dass auf die Gesamtheit der Population Bezug genommen werden muss. Dadurch schrumpfen die Signalvariationen, die auf physikalische Phänomene zurückzuführen sind, während die chemischen Informationen deutlicher zum Vorschein kommen.

Bei höheren Wellenlängen neigen die Absorptionswerte dazu wegen der Streuungseffekte anzusteigen. Wenn die Messzellen mit unterschiedlich verdichtetem Probenmaterial befüllt werden, beschreibt dieser Trend einen nicht-linearen Verlauf. Die Methode „Detrend“ entfernt die Biegung des zweiten Grades der Basislinie (Barnes *et al.*, 1989). Ein Polynom zweiten Grades wird an das Spektrum angepasst. Die berechnete Kurve wird dann von dem Spektrum subtrahiert, um ein korrigiertes Spektrum zu erhalten.

- Streuungskorrektur Standard MSC

Die Streuungskorrektur MSC (Multiple Scatter Correction) verbessert die Linearität der Beziehung zwischen der Absorption und der Konzentration (Geladi *et al.*, 1985). Diese Methode ist nützlich, wenn lineare Regressionsmodelle angewendet werden. Für diese Streuungskorrektur wird ein Referenzspektrum benötigt. Als Grundeinstellung wird hierzu das gemittelte Spektrum des Probensatzes benutzt (Naes *et al.*, 1990). Diese Streuungskorrektur erfolgt durch Normierung jedes einzelnen Probenspektrums auf das gemittelte Spektrum des jeweiligen Probensatzes. Dadurch wird die spektrale Variation, die auf Partikelgrößen- und Vermahlungseffekten beruht, unterdrückt.

### 2.4.3 Statistische Auswertung der Probensätze

Im Folgenden werden die in dieser Untersuchung benutzten Box-Whiskers-Diagramme und die Berechnung der Pearson Korrelation erläutert. Die Box-Whiskers-Diagramme wurden von Tukey (1977) zur schematischen Beschreibung der Populationsverteilung entwickelt. Das in dieser Untersuchung verwendete Box-Whisker-Diagramm zeigt folgende Größen an:

- Der Medianwert, dargestellt mit einer schwarzen Linie, gibt durch seine Lage einen Eindruck von der Schiefe der den Daten zugrunde liegenden Verteilung,
- Der Mittelwert, dargestellt anhand einer halbgestrichelten Linie
- Der erste und der dritte Quartil, dargestellt durch ein weißes Rechteck, welches sich vom 25 %-Quantil bis zum 75 %-Quantil erstreckt,
- Der erste und der neunte Quantil, durch schwarze Striche am Ende einer vertikalen Linie gekennzeichnet, welche sich vom 5 %-Quantil bis zum 95 %-Quantil erstrecken,
- Das Minimum und das Maximum des Kalibrationsssatzes, dargestellt durch freistehende horizontale Striche.

Um eventuelle Einflüsse größerer Variationen einzelner Qualitätsparameter auf die Vorhersageleistung der Kalibrationen besser erklären zu können, wurden mit dem Statistik-Programm SAS® (Statistical Analysis System), Version 9.12 und die Prozedur "CORR" die einfachen Korrelationskoeffizienten ( $r$ ) nach Pearson zwischen den Laborwerten berechnet. Die Beziehungen wurden innerhalb des Gesamtdatensatzes (die Summe aus CAL, CAL+ und VAL) ermittelt. Die Angabe des Signifikanzniveaus erfolgte mit einem Stern (\*) ( $\alpha=0,05$ ).

$$r = \frac{n(\sum xy) - (\sum x)(\sum y)}{\sqrt{[n\sum x^2 - (\sum x)^2][n\sum y^2 - (\sum y)^2]}}$$

Dabei sind  $x$  und  $y$  die Stichprobenmittelwerte.

### 2.4.4 Statistische Bewertung der Kalibration

Es stehen mehrere statistische Größen zur Verfügung, um die bei der Kalibration und Validation erreichte Schätzgenauigkeit zu evaluieren. Vorerst geben zwei Größen Rückschlüsse auf die Güte der Kalibration — der Standardfehler der Kalibration (SEC – „*Standard Error of Calibration*“) und das Bestimmtheitsmaß  $R^2$ , das dem Quadrat des Korrelationskoeffizienten entspricht. Der SEC misst die Abweichungen zwischen den durch die NIRS-Analyse geschätzten Größen und den Referenzwerten. Der  $R^2$ -Koeffizient bemisst die durch die Regression erklärte Varianz im Verhältnis zur Gesamtvarianz.

- Bestimmtheitsmaß,  $R^2$

Das Bestimmtheitsmaß ist der Anteil der Varianz der Laborwerte, der von der NIRS-Analyse erklärt wird.

$$R^2 = \frac{\sum_i \left( NIRS - \text{Analysenwert}_i - \frac{1}{n} \sum_i \text{Referenzwert}_i \right)^2}{\sum_i \left( \text{Referenzwert}_i - \frac{1}{n} \sum_i \text{Referenzwert}_i \right)^2}$$

mit  $i = 1 \dots n$  Proben

- Standardfehler der Kalibrierung, SEC

Standardabweichung aller NIRS-Analysenwerte von den Laborwerten für die Kalibrierproben

$$SEC = \sqrt{\frac{\sum_i (NIRS - \text{Analysenwert}_i - \text{Referenzwert}_i)^2}{n - p - 1}}$$

mit  $i = 1 \dots n$  Proben und  $p =$  Anzahl der in der Kalibrierung berücksichtigten Wellenlängen bzw. Faktoren

- Standardfehler der Kreuzvalidierung, SECV

Standardabweichung aller NIRS-Analysenwerte von den Laborwerten für die Kalibrierproben in der Kreuzvalidierung

$$SECV = \sqrt{\frac{\sum_i (NIRS - Analysenwert_i - Referenzwert_i)^2}{n-1}}$$

mit  $i = 1 \dots n$  Kreuzvalidierproben

- Standardfehler der Vorhersage, SEP

Die Standardabweichung der NIRS-Analysenwerte von den Laborwerten für die Validierproben ist ein wichtiges Maß für die Güte der NIRS-Analyse. Der SEP umfasst den systematischen und den zufälligen Fehler. Falls kein systematischer Fehler vorliegt, gibt der SEP den Fehler der NIRS-Analyse an.

$$SEP = \sqrt{\frac{\sum_i (NIRS - Analysenwert_i - Referenzwert_i)^2}{n-1}}$$

mit  $i = 1 \dots n$  Validierproben

- *bias*

Der *bias* bzw. systematische Fehler ist der Betrag, um den alle Proben im Validierprobensatz im Durchschnitt über- bzw. unterschätzt werden. Er entspricht der Differenz zwischen dem durchschnittlichen Referenzwert eines Probensatzes und dem durchschnittlichen NIRS-Analysenwert.

$$bias = \frac{\sum_i NIRS - Analysenwert_i}{n} - \frac{\sum_i Referenzwert_i}{n}$$

mit  $i = 1 \dots n$  Proben

- *bias*-korrigierter Standardfehler der Vorhersage, SEP(C)

Der SEP(C) ist die Standardabweichung aller NIRS-Analysenwerte von den Laborwerten für die Validierproben, nachdem die NIRS-Analysenwerte um den systematischen Fehler korrigiert wurden. Der SEP(C) gibt den zufälligen Fehler an.

$$SEP(C) = \sqrt{\frac{\sum_i (NIRS - Analysenwert_i - Referenzwert_i - bias)^2}{n-1}}$$

mit  $i=1 \dots n$  Validierproben

- Steigung der Regressionsgeraden, *slope*

Die Steigung der Regressionsgeraden von NIR-Analysiswerten und Referenzwerten sollte nahe 1,0 liegen. Bei größeren Abweichungen des Steigungsmaßes von 1,0 werden Proben mit hohen und/oder niedrigen Werten falsch geschätzt.

- Relation der Standardabweichung (SD<sub>v</sub>) zum Standardfehler der Vorhersage (SEP), RPD

Der RPD beschreibt die Leistungsfähigkeit unterschiedlicher Kalibrationsmodelle unabhängig von den zu Grunde liegenden Messgrößen (Williams und Sobering, 1996).

$$RPD = \frac{SD_{val}}{SEP}$$

Je größer der RPD, desto geeigneter ist eine Kalibration für die Vorhersage der entsprechenden Proben. Dabei gehen Williams (1991) von folgenden Bewertungsstufen aus:

0 – 2	nicht ausreichend	3 – 5	zufriedenstellend
2 – 3	für eine Orientierung ( <i>Screening</i> ) geeignet	5 – 10	gut bis sehr gut
		> 10	exzellent

- Spektrenvergleich mittels RMS-Wert (*root mean square error*)

Weiterhin ist der Vergleich von Nahinfrarotspektren das Kriterium zur Entscheidungshilfe bei der Methodenoptimierung. Ein geeignetes Vergleichsmaß für NIR-Spektren sollte die Besonderheiten von NIR-Spektren berücksichtigen. In der analytischen Praxis wird der RMS-Wert als Vergleichsmaß für NIR-Spektren eingesetzt.

$$rms = 1 \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (E_{x,i} - E_{y,i})^2}$$

$n$  Anzahl der Spektrenpunkte

$E_{x,i}, E_{y,i}$  Absorbanzwerte der zu vergleichenden Spektren x bzw. y

## 2.5 Kalibrations- und Validationssätze

Ein wichtiges Ziel für die Entwicklung der Kalibration bestand darin, dass die verwendeten Proben den zukünftig zu untersuchenden Grassilageproben entsprechen. Das heißt, dass in diesem Fall eine große Vielfalt hinsichtlich Schnitzeitpunkt, Siliererfolg und Erntejahr dargestellt wird. Eine Methode besteht in dem Streben nach einer selten wirklich erreichbaren Gleichverteilung der Proben, in allen Merkmalen und Konzentrationsbereichen. Fearn (1992) zeigte, dass solch eine Verteilung die Schätzung nicht verbessert, weil die Repräsentativität der Population durch das Entfernen mancher Proben durchaus sinken kann. Diese fehlenden Proben bringen womöglich eine zusätzliche Variabilität mit sich. Daher wurden in dieser Untersuchung die Proben entsprechend der Empfehlung von Isaksson und Naes (1990) wie im Folgenden erläutert aufgrund spektraler Unterschiede ausgewählt und fallweise spezifisch für jeden Inhaltsstoff ergänzt.

Nicht repräsentierte Spektren im Probensatz CAL wurden nach der Berechnung einer Hauptkomponentenanalyse zunächst mit dem Programm „EXPAND“ aus der WINISI-Software durch Proben aus CAL+ ergänzt. Dabei erfolgte die Auswahl der nicht repräsentierten Spektren im Probensatz CAL anhand der spektralen Entfernung zu ihrem nächsten Nachbarn (sog. Nachbarschafts-H-Wert). Das Ergebnis aus dieser Erweiterung des Probensatzes CAL wurde CALExpand genannt. CALExpand umfasst 159 Proben und stellt für die zu schätzenden Parameter die gemeinsame Basis der Kalibrierungsproben dar. Somit wurden für die Bildung von CALExpand nur 20 Proben von insgesamt 57 (siehe Tabelle 1) aus dem Probensatz CAL+ verwendet.

Im abschließenden Erweiterungsschritt wurde CALExpand aus dem Restbestand von CAL+ mit Proben erweitert, die durch extreme Gehalte im besonderen Maße zur inhaltsstoffspezifischen Kalibrierung geeignet erschienen. Die daraus entstandenen Kalibrationsprobensätze sind in Tabelle 5 als  $CAL_{\text{Inhaltsstoff-UG}}$  oder  $CAL_{\text{Inhaltsstoff-GG}}$  gekennzeichnet. Dabei bezieht sich das erste Suffix auf den jeweiligen Inhaltsstoff und das zweite auf den jeweiligen Probenzustand. Es handelt sich um ungetrocknete (UG) und getrocknete (GG) Grassilage. Außerdem werden in der Tabelle 5 entsprechend der Anzahl der zu kalibrierenden Parameter 17 Probensätze für den Probenzustand UG und 16 für den Probenzustand GG dargestellt.

Zur Validation der zu entwickelnden Schätzmodelle für ungetrocknete und getrocknete Grassilageproben wurde der Probensatz VAL (vgl. Tabelle 1) herangezogen. Der Probensatz VAL wird in Tabelle 6 anhand der Lageparameter beschrieben.

**Tabelle 5** Zusammensetzung der Kalibrationsprobensätze für ungetrocknete (UG) sowie getrocknete (GG) Grassilage (in %TM, wenn nicht anders vermerkt)

Probensatz	min – max	n	$\bar{x} \pm sd$	Probensatz	min – max	n	$\bar{x} \pm sd$
CAL <sub>TM-UG</sub> <sup>1</sup>	18,50 - 77,63	179	37,76 ± 9,87	CAL <sub>pH-UG</sub> <sup>3</sup>	3,62 - 6,43	179	4,49 ± 0,50
				CAL <sub>pH-GG</sub> <sup>3</sup>		179	4,48 ± 0,49
CAL <sub>RP-UG</sub>	6,79 - 23,37	179	16,82 ± 3,04	CAL <sub>NH3-N-UG</sub> <sup>4</sup>	3,48 - 65,85	179	12,03 ± 8,06
CAL <sub>RP-GG</sub>		179	16,84 ± 3,04	CAL <sub>NH3-N-GG</sub> <sup>4</sup>		179	12,16 ± 8,05
CAL <sub>WSC-UG</sub>	0,00 - 13,21	174	3,74 ± 3,37	CAL <sub>MS-UG</sub>	0,00 - 10,38	179	2,79 ± 1,99
CAL <sub>WSC-GG</sub>		179	3,44 ± 3,39	CAL <sub>MS-GG</sub>		179	2,83 ± 2,02
CAL <sub>RF-UG</sub>	18,42 - 37,12	179	27,05 ± 3,35	CAL <sub>ES-UG</sub>	0,11 - 6,58	174	0,90 ± 0,94
CAL <sub>RF-GG</sub>		179	27,05 ± 3,35	CAL <sub>ES-GG</sub>		174	0,92 ± 0,94
CAL <sub>ADF-UG</sub>	26,32 - 52,58	179	32,39 ± 4,32	CAL <sub>BS-UG</sub>	0,00 - 3,80	174	0,38 ± 0,80
CAL <sub>ADF-GG</sub>		179	32,41 ± 4,32	CAL <sub>BS-GG</sub>		179	0,37 ± 0,78
CAL <sub>NDF-UG</sub>	39,28 - 77,09	199	51,82 ± 6,17	CAL <sub>PS-UG</sub>	0,00 - 0,95	174	0,07 ± 0,18
CAL <sub>NDF-GG</sub>		179	51,87 ± 6,32	CAL <sub>PS-GG</sub>		172	0,07 ± 0,18
CAL <sub>ELOS-UG</sub>	34,99 - 77,39	179	65,21 ± 6,77	CAL <sub>Eth-UG</sub>	0,00 - 2,54	174	0,34 ± 0,39
CAL <sub>ELOS-GG</sub>		179	65,19 ± 6,79	CAL <sub>Eth-GG</sub>		179	0,32 ± 0,37
CAL <sub>Asche-UG</sub>	6,03 - 20,49	179	10,93 ± 3,04	CAL <sub>DLG-UG</sub> <sup>5</sup>	0 - 100	179	73 ± 24
CAL <sub>Asche-GG</sub>		179	10,99 ± 3,02	CAL <sub>DLG-GG</sub> <sup>5</sup>		174	73 ± 22
CAL <sub>NEL-UG</sub> <sup>2</sup>	3,39 - 7,26	179	6,13 ± 0,61				
CAL <sub>NEL-GG</sub> <sup>2</sup>		179	6,13 ± 0,61				

<sup>1</sup> [%FM], <sup>2</sup> [MJ/kg TM], <sup>3</sup> [-], <sup>4</sup> [%TN], <sup>5</sup> [Pkte]

**Tabelle 6** Zusammensetzung der Validationsprobensätze für ungetrocknete (UG) sowie getrocknete (GG) Grassilage (in %TM, wenn nicht anders vermerkt)

Probensatz	min – max	n	$\bar{x} \pm sd$	Probensatz	min – max	n	$\bar{x} \pm sd$
VAL <sub>TM</sub> <sup>1</sup>	17,10–61,80	60	29,37 ± 8,98	VAL <sub>pH</sub> <sup>3</sup>	3,87–6,20	60	4,85 ± 0,57
VAL <sub>RP</sub>	11,10–24,90	60	18,66 ± 2,38	VAL <sub>NH3-N</sub> <sup>4</sup>	4,35–47,81	60	16,50 ± 8,42
VAL <sub>WSC</sub>	0,03–7,07	60	1,80 ± 1,80	VAL <sub>MS</sub>	0,06–14,33	60	5,72 ± 3,77
VAL <sub>RF</sub>	21,81–33,00	60	27,61 ± 2,20	VAL <sub>ES</sub>	0,35–4,95	60	1,62 ± 1,02
VAL <sub>ADF</sub>	27,12–37,25	60	31,45 ± 2,67	VAL <sub>BS</sub>	0,00–4,41	60	1,29 ± 1,44
VAL <sub>NDF</sub>	44,52–61,58	60	52,28 ± 3,48	VAL <sub>PS</sub>	0,00–3,08	60	0,59 ± 0,74
VAL <sub>ELOS</sub>	58,59–75,93	60	68,37 ± 4,02	VAL <sub>Eth</sub>	0,10–3,02	60	1,29 ± 0,67
VAL <sub>Asche</sub>	6,83–23,99	60	9,81 ± 2,53	VAL <sub>DLG</sub> <sup>5</sup>	0,00–96,00	60	48,75 ± 31,53
VAL <sub>NEL</sub> <sup>2</sup>	5,56–7,12	60	6,44 ± 0,38				

<sup>1</sup> [%FM], <sup>2</sup> [MJ/kg TM], <sup>3</sup> [-], <sup>4</sup> [%TN], <sup>5</sup> [Pkte]



---

## **3 Ergebnisse**

---

### 3.1 Charakterisierung von Praxissilagen

#### 3.1.1 Qualitätsmerkmale der Grassilage

Die in dieser Untersuchung aus ganz Deutschland herangezogenen Praxissilagen wurden wie im Kapitel 2.2 beschrieben, referenzanalytisch mittels nasschemischer Analyse auf ihre Gehalte an nutritiven und fermentativen Qualitätsparametern untersucht. Zur Beschreibung dieser Silagen sind hierfür in der folgenden Tabelle 7 die Verteilungen der wertbestimmenden Inhaltsstoffe anhand des jeweiligen Wertebereichs, Mittelwerts sowie der zugehörigen Standardabweichung charakterisiert.

**Tabelle 7 Beschreibende Statistik Grassilageproben aus ganz Deutschland in % i. d. TM (n=266)**

Nutritive Qualitätsparameter			Fermentative Qualitätsparameter		
Variable	Min-Max	$\bar{x} \pm sd$	Variable	Min-Max	$\bar{x} \pm sd$
Trockenmasse	17,11 – 77,63	35,74 ± 9,86	pH	3,62 – 6,43	4,58 ± 0,51
Rohprotein	6,79 – 24,90	17,15 ± 2,89	NH <sub>3</sub> -N %TN	3,48 – 65,85	13,05 ± 7,97
WSC	0,00 – 13,21	3,08 ± 3,03	Milchsäure	0,00 – 14,33	3,64 ± 2,74
Rohfaser	18,42 – 37,12	27,22 ± 2,97	Essigsäure	0,09 – 6,58	1,07 ± 0,96
ADF	26,32 – 52,58	32,15 ± 3,83	Buttersäure	0,00 – 4,41	0,59 ± 1,02
NDF	39,28 – 77,09	52,06 ± 5,48	Propionsäure	0,00 – 3,08	0,18 ± 0,44
ELOS	34,99 – 77,39	65,87 ± 6,08	Ethanol	0,00 – 3,02	0,58 ± 0,60
Asche	6,03 – 23,99	10,62 ± 2,83	DLG-Punkte	0 – 100	66 ± 27
NEL [MJ/kgTM]	3,39 – 7,26	6,19 ± 0,55			

Bei Betrachtung der Mittelwerte ( $\bar{x}$ ) und der dazugehörigen Standardabweichungen (sd) fällt auf, dass die Grassilageproben mit dem jeweils maximalen Gehalt (Max) an Trockenmasse, ADF, NDF, Asche, pH und Ethanol stark von den mittleren Gehalten der Gesamtprobenpopulation abwich. Eine noch größere Abweichung lässt sich insbesondere bei WSC, NH<sub>3</sub>-N, Milchsäure, Essigsäure, Buttersäure und Propionsäure beobachten. Bei gleicher Betrachtung für die Parameter Rohprotein, ELOS, NEL und DLG-Punkte ließ sich dahingegen feststellen, dass hier der minimale Gehalt (Min) der Grassilagepopulation unter Berücksichtigung der Standardabweichung (sd) stark vom mittleren Gehalt ( $\bar{x}$ ) der Gesamtpopulation abweicht. Lediglich bei Rohfaser sind die Proben mit extremen Rohfaser-Gehalten (Min, Max) annähernd gleich vom Mittelwert der Gesamtpopulation entfernt. Anzumerken ist, dass die tatsächlich ermittelten DLG-Punkte den größtmöglichen Wertebereich (0-100) aufweisen (siehe Kapitel 2.2).

### 3.1.2 Beziehungen zwischen den Qualitätsparametern

Um mögliche Zusammenhänge zwischen nutritiven und fermentativen Qualitätsparametern aufzudecken, wurden Korrelationsanalysen (siehe Kapitel 2.2) zunächst innerhalb der Gruppe der verschiedenen nutritiven Parameter (Tabelle 8), dann innerhalb der Gruppe der verschiedenen fermentativen Parameter (Tabelle 9) und schließlich zwischen nutritiven und fermentativen Qualitätsparametern (Tabelle 10) berechnet.

**Tabelle 8** Beziehungen zwischen den Nährwertparametern in der Grassilage anhand der Korrelationen nach Pearson

Merkmal	TM	RP	WSC	RF	ADF	NDF	ELOS	Asche	NEL
Trockenmasse									
Rohprotein	-0,24*								
WSC	0,70*	-0,27*							
Rohfaser	-0,14*	-0,49*	-0,20*						
ADF	-0,15*	-0,59*	-0,31*	0,72*					
NDF	0,01	-0,56*	-0,16*	0,83*	0,86*				
ELOS	-0,08	0,58*	0,20*	-0,56*	-0,82*	-0,77*			
Rohasche	-0,25*	-0,14*	-0,36*	-0,19*	0,41*	0,04	-0,36*		
NEL	-0,09	0,64*	0,17*	-0,55*	-0,83*	-0,76*	1,00*	-0,39*	

\* signifikante Unterscheidung von Null ( $\alpha \leq 0,05$ )

Bedingt durch ihre Berechnungsgrundlage (siehe Kapitel 2.2) ist die Energiekonzentration in dem engstmöglichen Ausmaß stark positiv mit der Verdaulichkeit korreliert, auch wenn hier eine durchaus enge Beziehung aus physiologischen Gründen zu erwarten ist. Aus diesen Gründen weisen die zellwandstrukturelevanten Größen Rohfaser, ADF und NDF ebenfalls eine enge Beziehung untereinander und zu NEL und ELOS auf. Eine vergleichbar hohe Korrelation weisen der Trockenmassegehalt und der Gehalt an Gesamtzucker im positiven Bereich auf, während die mathematische Beziehung zwischen dem Trockenmassegehalt und dem Rohproteingehalt geringer ist und negativ ausfällt. Wobei eine hohe positive Beziehung zwischen Rohprotein und NEL vorliegt und die Korrelationskoeffizienten der Beziehungen zwischen dem Rohproteingehalt, den Strukturparametern (Rohfaser, ADF, NDF) und der Verdaulichkeit im mittleren Bereich liegen. Der Aschegehalt steht in einer geringen negativen Beziehung zu Trockenmasse-, WSC-Gehalt und zu ELOS und geringfügig höher jedoch positiv zum ADF-Gehalt. Dahingegen steht der Aschegehalt in keinem Zusammenhang zum Rohprotein- und Rohfaser-, und NDF-Gehalt.

**Tabelle 9 Beziehungen zwischen den Gärparametern in der Grassilage anhand der Korrelationen nach Pearson**

Merkmal	pH	NH <sub>3</sub> -N	MS	ES	BS	PS	Eth	DLG
pH								
NH <sub>3</sub> _N (%TN)	0,13*							
Milchsäure	-0,45*	0,06						
Essigsäure	0,04	0,30*	0,41*					
Buttersäure	0,46*	0,47*	-0,02	0,35*				
Propionsäure	0,42*	0,51*	0,01	0,30*	0,81*			
Ethanol	0,28*	0,38*	0,39*	0,42*	0,70*	0,68*		
DLG_Pkte	-0,76*	-0,44*	0,26*	-0,20*	-0,78*	-0,63*	-0,53*	

\* signifikante Unterscheidung von Null ( $\alpha \leq 0,05$ )

Innerhalb der Gruppe der verschiedenen fermentativen Parameter fällt eine starke Korrelation zwischen dem Buttersäure- und Propionsäuregehalt in den untersuchten Grassilagen auf (Tabelle 9). In einem vergleichbar hohen Bereich korrelieren aufgrund der rechnerischen Ableitung der einen aus der anderen Größe die Buttersäure- bzw. Propionsäuregehalte und der pH-Wert stark mit der Höhe der DLG-Punkte, während die Beziehung zum NH<sub>3</sub>-N-Gehalt sich im mittleren Bereich befindet. In diesem Zusammenhang fällt die im mittleren Bereich befindliche Korrelation der DLG-Punkte zum Ethanolgehalt auf, wobei der Ethanolgehalt gleichermaßen stark mit den leichtflüchtigen Fettsäuren (Buttersäure und Propionsäure) korreliert ist. Da Fehlgärungen tendenziell sowohl den Buttersäure- bzw. Propionsäuregehalt als auch den NH<sub>3</sub>-N-Gehalt erhöhen, besteht eine mittlere Beziehung zwischen diesen beiden Fermentationsprodukten. Im mittleren Bereich befinden sich ebenfalls die Korrelationskoeffizienten der Beziehungen zwischen dem pH-Wert und den kurzkettigen Fettsäuren (Milchsäure, Buttersäure, Propionsäure).

**Tabelle 10 Beziehungen zwischen den Nährwertparametern und den Gärparametern in der Grassilage anhand der Korrelationen nach Pearson**

Merkmal	pH	NH <sub>3</sub> -N	MS	ES	BS	PS	Eth	DLG
Trockenmasse	0,24*	-0,37*	-0,37*	-0,49*	-0,37*	-0,39*	-0,48*	0,22*
Rohprotein	-0,07	-0,10	0,16*	0,07	-0,03	0,06	0,16*	0,11
WSC	0,12*	-0,29*	-0,21*	-0,42*	-0,26*	-0,27*	-0,25*	0,12
Rohfaser	0,38*	0,30*	-0,26*	0,16*	0,30*	0,27*	0,12	-0,51*
ADF	0,26*	0,31*	-0,22*	0,21*	0,23*	0,17*	-0,02	-0,37*
NDF	0,40*	0,26*	-0,28*	0,11	0,26*	0,19*	0,06	-0,48*
ELOS	-0,24*	-0,16*	0,24*	-0,10	-0,09	0,02	0,16*	0,27*
Rohasche	-0,12*	0,15*	0,08	0,22*	0,09	0,04	-0,06	0,03
NEL	-0,23*	-0,17*	0,24*	-0,10	-0,09	0,03	0,17*	0,26*

\* signifikante Unterscheidung von Null ( $\alpha \leq 0,05$ )

Aus der Tabelle 10 sind die Korrelationen zwischen den Nährwert- und Gärparametern ersichtlich. Unter den nutritiven Qualitätsparametern wirkte sich der Trockenmassegehalt am stärksten auf den Essigsäure- und Ethanolgehalt aus, die Korrelationskoeffizienten lagen jedoch im mittleren Bereich. Die negativen Korrelationen zwischen dem Trockenmassegehalt und den restlichen kurzkettigen Fettsäuren (Milchsäure, Buttersäure, Propionsäure) sowie dem Ammoniakgehalt ( $\text{NH}_3\text{-N}$ ) waren gleich gerichtet aber etwas weniger stark ausgeprägt. Zwischen dem Rohproteingehalt und den Gärqualitätsparametern besteht kein nennenswerter Zusammenhang. Der Essigsäuregehalt war negativ mit dem WSC-Gehalt korreliert. Die Korrelationen des pH-Wertes zu den Rohfaser- und NDF-Gehalten wiesen eine positive und nahezu mittlere Korrelation zueinander auf, während die DLG-Punkte negativ mit den zellwandstrukturrelevanten Parametern (Rohfaser, ADF, NDF) korreliert waren. Insgesamt wiesen diese Parameter analoge Korrelationen zu den fermentativen Qualitätsparametern auf. In dieser Untersuchung standen ELOS, Rohaschegehalt und NEL in keinem mathematischen Zusammenhang zu den Gärqualitätsparametern.

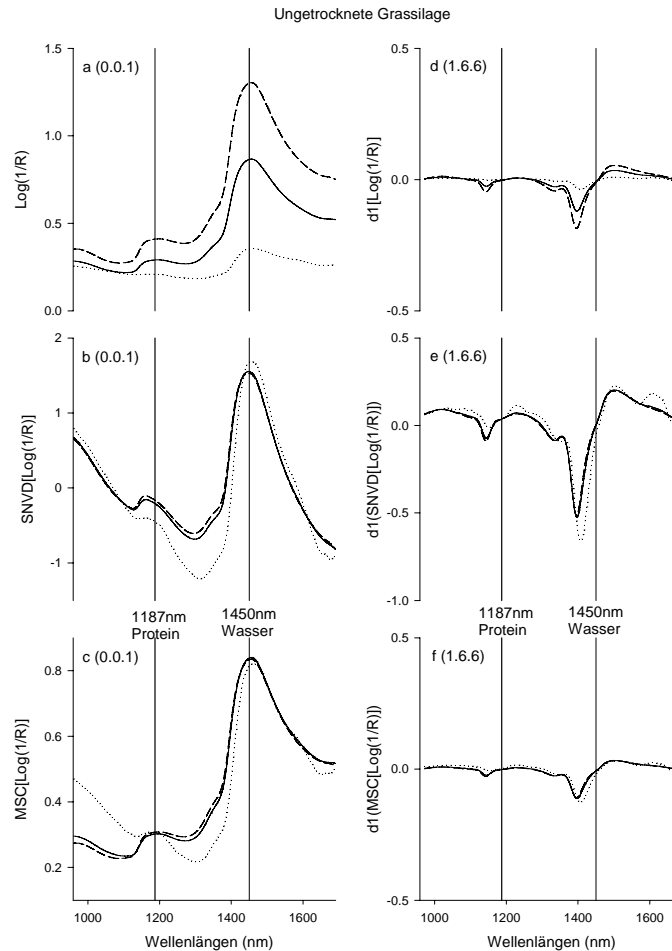
---

### 3.1.3 Spektrale Charakteristika der Grassilagen im Nahen Infrarotbereich

Außer den nass-chemischen Untersuchungen wurden nahinfrarotspektroskopische Messungen an ungetrockneten und getrockneten Grassilageproben wie im Kapitel 2.3.2 beschrieben durchgeführt. Anschließend wurden die somit gewonnenen Rohspektren durch geeignete Spektrentransformationen wie Ableitungen und Streuungskorrekturen (SK) modifiziert, die im Kapitel 2.4 im Rahmen der Kalibrationsentwicklung beschrieben wurden.

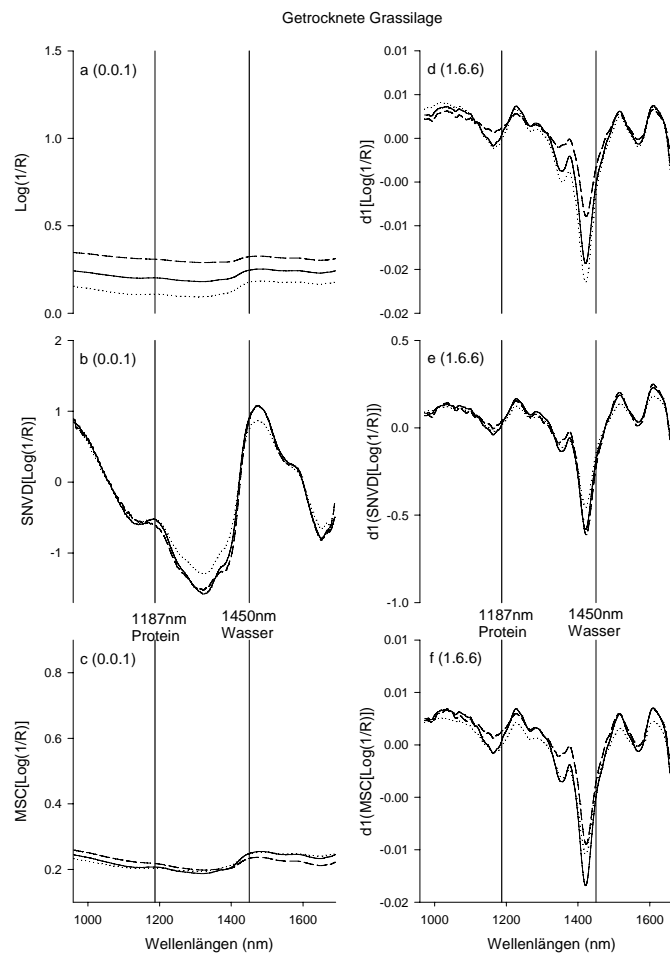
Im Folgenden wird der Einfluss der in dieser Untersuchung verwendeten Ableitungen und Streuungskorrekturen auf den Verlauf von drei ausgewählten Spektren ungetrockneter und getrockneter Proben aus dem Probensatz CAL (Tabelle 1) dargestellt. Die Auswahl erfolgte aus den Rohspektren (Abbildung 14a und 15a) und beinhaltet das Mittelwertspektrum sowie die Maxima- und Minima-Spektren, um die spektrale Variabilität zu verdeutlichen. Anhand dieser beiden Grafiken ist der große Unterschied im markierten Bereich der Wasserbande (1450nm) zwischen den Spektren von ungetrock-

neten und getrockneten Grassilageproben auffällig. Dort übersteigt die Absorptionshöhe der Maxima- und Mittelwertspektren ungetrockneter Proben deutlich diejenige für getrocknete Proben. Ein annähernder Gleichstand in der Absorptionshöhe liegt lediglich für das Minimum-Spektrum für beide Probenzustände (UG, GG) vor.



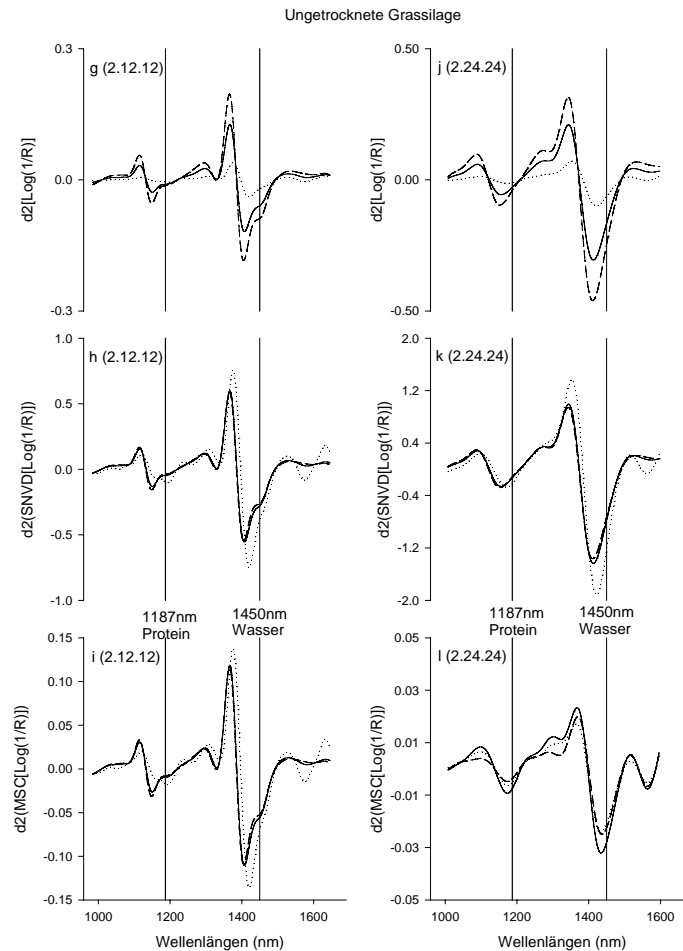
**Abbildung 14** Spektren ungetrockneter Grassilageproben (durchgezogene Linie: Mittelwert, punktierte Linie: Probe 1, gestrichelte Linie: Probe 63)

Am Beispiel der Wellenlängen 1187 nm und 1450 nm ist die Wirkung der Streulichtkorrekturen (SNVD und MSC) auf die Spektren ungetrockneter Proben (Abbildung 14b und 14c) besonders deutlich hinsichtlich der Verschiebung der Basislinie und der Abnahme der Streuung der Amplituden zu erkennen. Im Vergleich zu ungetrockneten Proben in Abbildung 14b ist bei getrockneten Proben (Abbildung 15b) eine größere Variation im transformierten Spektrumverlauf (SNVD) sichtbar.



**Abbildung 15** Spektren getrockneter Grassilageproben (durchgezogene Linie: Mittelwert, punktierte Linie: Probe 1, gestrichelte Linie: Probe 63)

Die Ableitung der Rohspektren und der mit Streuungskorrektur transformierten Spektren (Abbildung 14a bis 14c) werden entsprechend in Abbildung 14d bis 14f gegenübergestellt. Bei Betrachtung der durch eine Ableitung des ersten Grades modifizierten Spektren (Abbildungen 14d bis 14f) wird die Verschiebung der Absorptionsbanden sowie die Erhöhung der Variabilität im Spektrumverlauf deutlich. Die Ableitung der Spektren führte zu einer Optimierung der Erfassung der Variabilität, welches insbesondere an den Spektren der getrockneten Proben (Abbildung 15d bis 15f) auffällt. Die Abbildungen 16g bis 16l zeigen Spektren, die mit Ableitungen zweiten Grades und zwei verschiedenen Glättungsstufen modifiziert wurden. Hierbei wird ersichtlich, dass im Vergleich zur Ableitung ersten Grades diese Spektren viel mehr Variationen aufweisen. Die Abbildungen 16j bis 16l zeigen Spektren (2.24.24) mit einer größeren Amplitude des Absorptionsniveaus als die in den Abbildungen 16g bis 16i dargestellten weniger geglätteten Spektren (2.12.12).

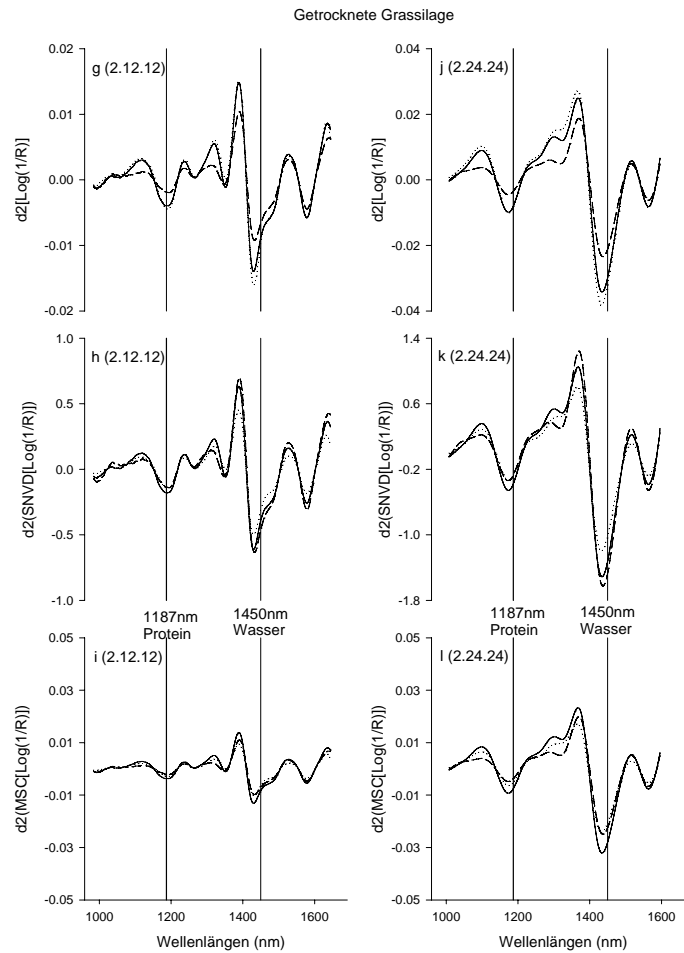


**Abbildung 16** Spektren ungetrockneter Grassilageproben (durchgezogene Linie: Mittelwert, punktierte Linie: Probe 1, gestrichelte Linie: Probe 63)

Die Auswirkung der in den Abbildungen 14 bis 17 aufgezeigten Spektrentransformationen auf die Wiederholbarkeit der NIRS-Messungen an ungetrockneten (UG) und getrockneten (GG) Grassilagen (vgl. Kapitel 2.3.2) wird in folgender Tabelle 11 anhand der RMS-Werte für den Probenatz CAL verdeutlicht.

Unabhängig von der Streuungskorrektur sinkt der in Tabelle 11 dargestellten RMS-Wert am meisten bei Verwendung der Ableitungsarten 1.6.6 und 2.12.12 im Vergleich zu nicht abgeleiteten Spektren (0.0.1) für ungetrocknete (UG) und getrocknete Proben (GG). Bei getrockneten Proben (GG) wirken sich Ableitungen noch deutlicher auf die Abnahme des RMS-Wertes aus. Eine Ausnahme stellt die Verwendung der Streuungskorrektur SNVD dar. Bei ungetrockneten Proben fällt die Ableitung 2.24.24 auf. Denn der RMS-Wert bleibt mehr als doppelt so hoch wie bei den anderen Ableitungsstufen. Diese Beobachtung gilt auch für die Messungen getrockneter Proben.





**Abbildung 17** Spektren getrockneter Grassilageproben (durchgezogene Linie: Mittelwert, punktierte Linie: Probe 1, gestrichelte Linie: Probe 63)

**Tabelle 11** Wiederholbarkeit (*root mean square, RMS*) der Spektren für Wiederholmessungen an ungetrockneten (UG) und getrockneten (GG) Grassilageproben

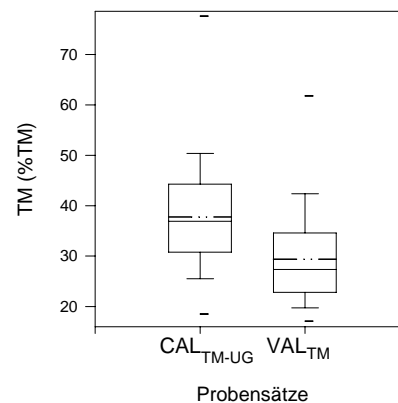
Streuungskorrektur	Ableitung	RMS			
		UG		GG	
		Mittelwert	SD	Mittelwert	SD
keine	0.0.1	8466	50156	1925	1063
keine	1.6.6	599	555	39	66
keine	2.12.12	809	747	37	51
keine	2.24.24	2245	2815	88	119
SNVD	0.0.1	5370	17609	5972	22818
SNVD	1.6.6	1436	1295	1516	885
SNVD	2.12.12	2315	2738	2163	1967
SNVD	2.24.24	5817	15419	4971	13812
MSC	0.0.1	1386	1437	323	358
MSC	1.6.6	313	317	43	60
MSC	2.12.12	488	469	54	74
MSC	2.24.24	1224	1061	129	169

## 3.2 Modellierung

### 3.2.1 Verteilung der Kalibrations- und Validationsprobensätze

Wie im Kapitel 2.4 beschrieben werden im letzten Schritt der Erstellung eines Schätzmodelles die Kalibrierungsmodelle mithilfe von unabhängigen Proben aus dem Validierungsprobensatz VAL (Tabelle 6) überprüft. Eine abweichende Verteilung der Inhaltsstoffe im Validierungsprobensatz im Vergleich zu den Kalibrationsprobensätzen (Tabelle 5) kann die Güte der Schätzung beeinflussen. Die folgenden Box-Whisker-Diagramme ermöglichen die Darstellung der Verteilung der Proben innerhalb der Kalibrations- und Validationsprobensätze zur Schätzung der ungetrockneten (UG) und getrockneten (GG) Grassilageproben.

In der Abbildung 18 wird ersichtlich, dass die Proben aus dem Probensatz VAL<sub>TM</sub> im Mittel (halbgestrichelte Linie) erheblich niedriger im TM-Gehalt waren als die für die Kalibrationsentwicklung verwendeten Grassilageproben (CAL<sub>TM-UG</sub>). 90 % der Validationsproben wiesen TM-Gehalte zwischen 20 % und 42 % TM auf (zur Definition des Box-Whisker-Diagrammes Vgl. Kapitel 2.1), während der Wertebereich unter 25 % TM i.d. FM vom Probensatz CAL<sub>TM-UG</sub> bis auf Ausreißer nicht abgedeckt wird.

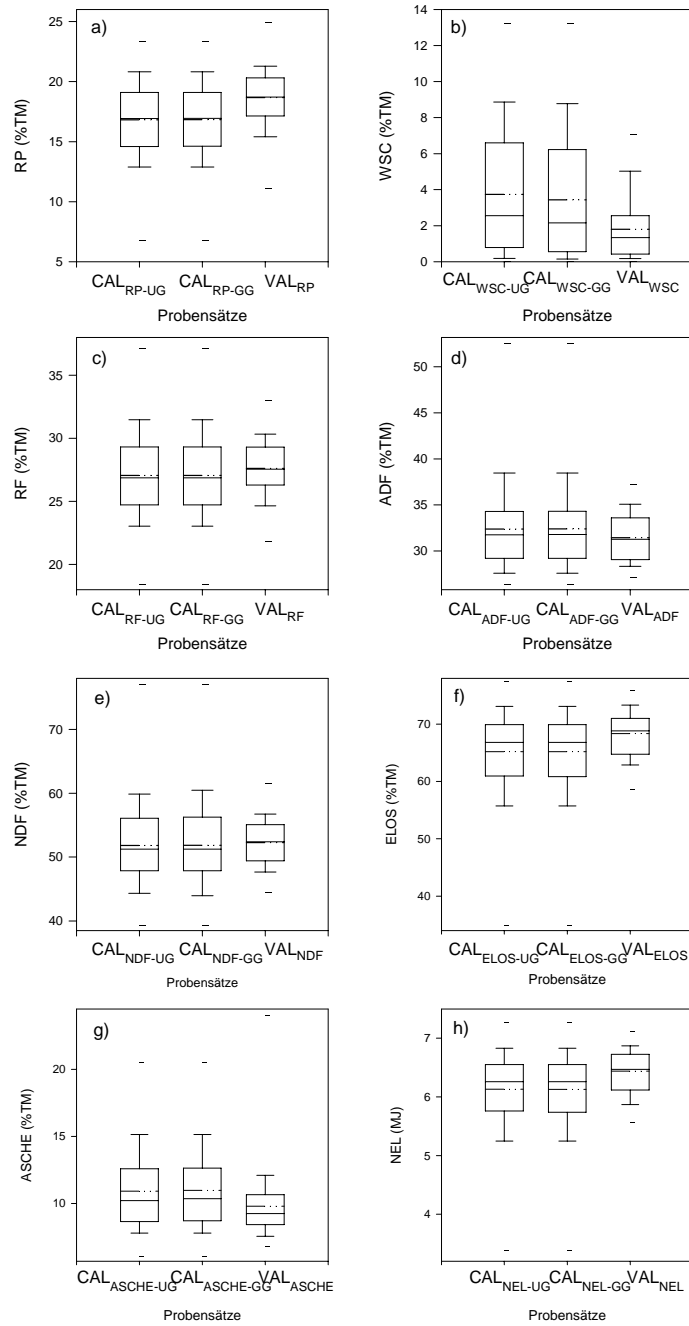


**Abbildung 18** Box-Whisker-Diagramme der Probensätze zur Kalibration CAL<sub>TM-UG</sub> und zur Validation VAL<sub>TM</sub> vom Trockenmassegehalt

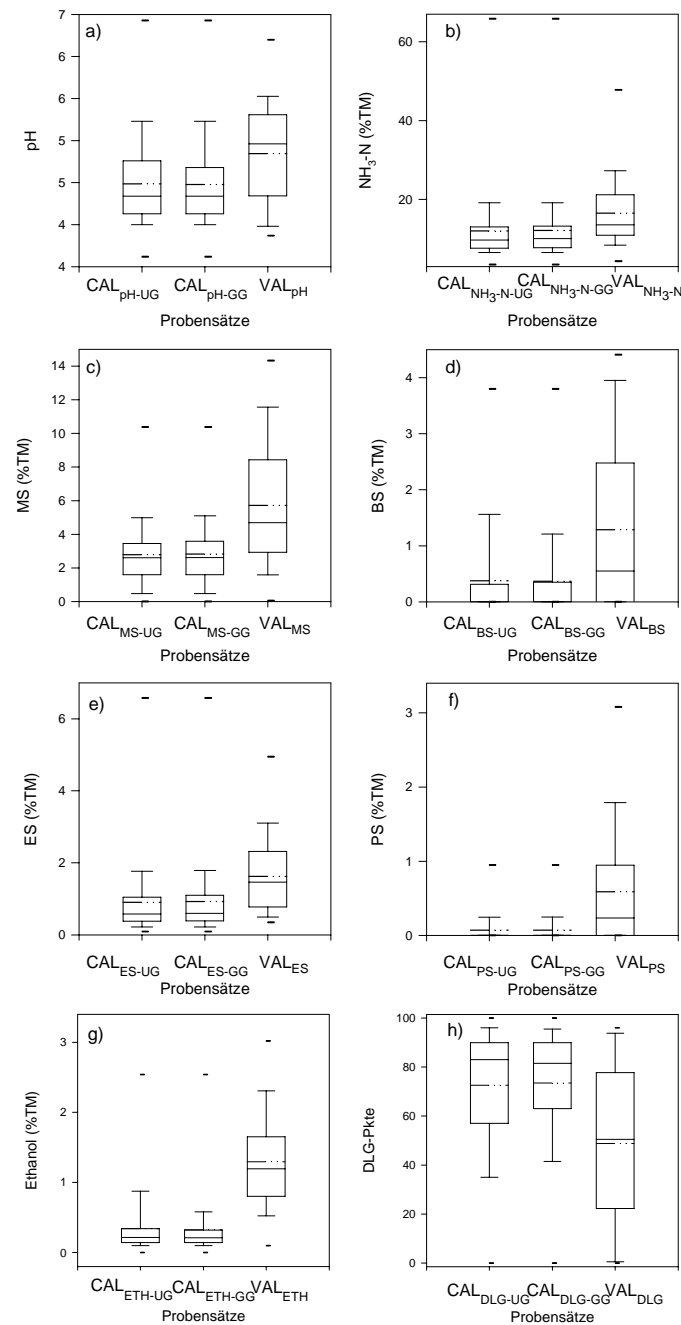
Für die in Abbildung 19 wiedergegebenen nutritiven Parameter für ungetrocknete und getrocknete Proben sind die Kalibrationsprobensätze zur Erstellung der NIRS-Schätzmodelle zusammen mit dem pro Parameter verwendeten Validierungsprobensatz dargestellt. Dabei unterscheiden sich die Box-Whisker-Diagramme der Kalibrationspro-

bensätze für ungetrocknete Proben kaum von denjenigen der getrockneten Proben. Lediglich bei WSC (Abbildung 19b) weist die Verteilung von  $CAL_{WSC-GG}$  eine größere Linksschiefe als diejenige von  $CAL_{WSC-UG}$  auf, weil der Medianwert (horizontale durchgezogene Linie im Rechteck) ein wenig tiefer als im Rechteck für  $CAL_{WSC-UG}$  liegt. Bei Rohprotein, Rohfaser und NDF gleichen sich Median- und Mittelwert innerhalb jedes Box-Whisker-Diagrammes beinahe, so dass die CAL- und VAL-Probensätze annähernd normalverteilt sind. Für Rohfaser, ADF, NDF, ELOS und NEL (Abbildungen 19c, d, e, f, h) decken die Proben vom Probensatz CAL den Wertebereich von VAL ab. Diese Beobachtung gilt ebenfalls bei Asche (Abbildungen 19g) bis auf den Maximum-Ausreißer in  $VAL_{ASCHE}$ , der ebenfalls bei Rohprotein (Abbildungen 19a) nicht durch die CAL-Probensätze repräsentiert wird. Jedoch bei Rohprotein, ELOS und NEL (Abbildungen 19a, f, h) befinden sich 90 % der Proben vom jeweiligen Probensatz VAL im oberen Wertebereich der Kalibrationsprobensätze.

In Abbildung 20 fällt insbesondere auf, dass der Validationsprobensatz bei allen fermentativen Parametern eine größere Variation als die Kalibrationsdatensätze für ungetrocknete und getrocknete Grassilageproben aufweist. Hierbei ist der Bereich, der 50 % der Proben enthält, bei VAL nämlich für alle Parameter größer als bei den CAL-Probensätzen. In diesem Zusammenhang fallen die extremen Unterschiede bei Butter-säure, Propionsäure und Ethanol (Abbildung 20d, f, g) auf. 50 % dieser Kalibrationsprobensätze enthalten Proben nahe 0 % i. d. TM und bei Propionsäure erreichen sogar 90 % der Proben in den CAL-Probensätzen das Niveau des Median-Wertes vom VAL-Probensatz. Somit reicht der Wertebereich des  $VAL_{PS}$ -Probensatzes für Propionsäure deutlich über denjenigen der beiden Kalibrationsprobensätze hinaus.



**Abbildung 19** Box-Whisker-Diagramme der jeweiligen Kalibrations- und Validationsprobensätze zur Schätzung der nutritiven Qualitätsparameter a) Rohprotein, b) WSC, c) Rohfaser, d) ADF, e) NDF, f) ELOS, g) Asche, h) NEL

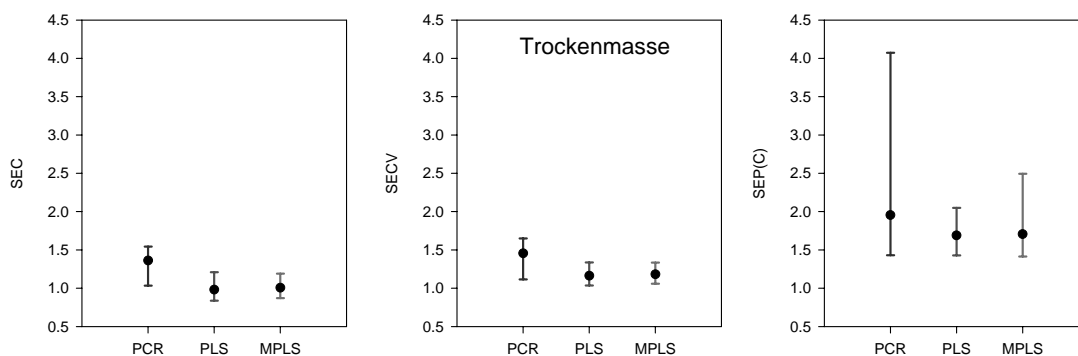


**Abbildung 20** Box-Whisker-Diagramme der jeweiligen Kalibrations- und Validationsprobensätze zur Schätzung der fermentativen Qualitätsparameter a) pH, b)  $\text{NH}_3\text{-N}$ , c) Milchsäure, d) Buttersäure, e) Essigsäure, f) Propionsäure, g) Ethanol, h) DLG-Punkte

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass bei den nutritiven Parametern die Wertebereiche der Validationsproben überwiegend mit denen der Kalibrationsprobensätze übereinstimmen. Im Gegensatz dazu werden bei den fermentativen Parametern die Wertebereiche der Validationsprobensätze in den jeweiligen Kalibrationsprobensätzen nicht oder kaum repräsentiert.

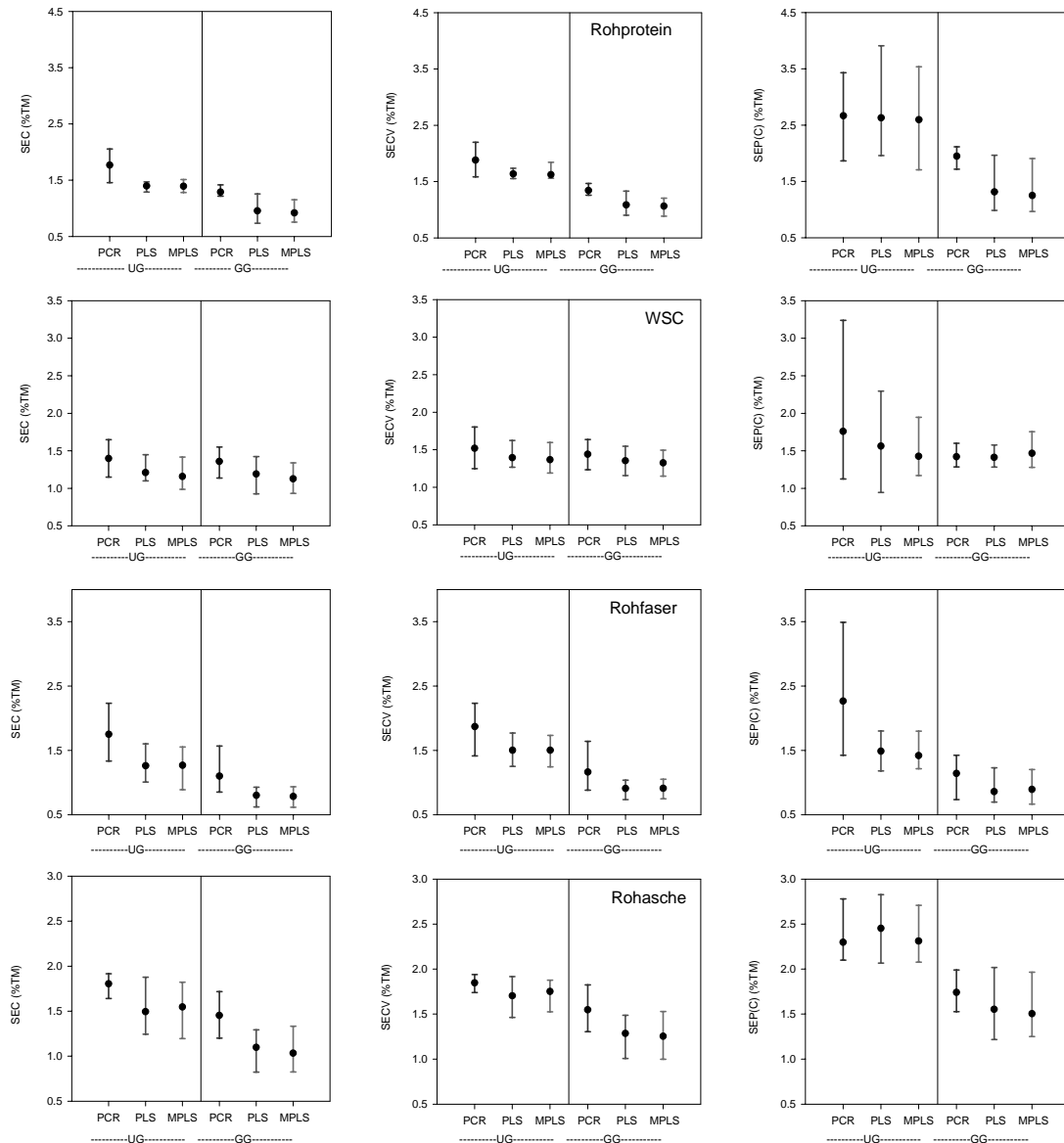
### 3.2.2 Einfluss der Regressionsmethode auf den Schätzfehler

In dieser Untersuchung wurden drei verschiedene Regressionsmethoden (PCR, PLS, MPLS) genutzt, um Beziehungen zwischen den nach verschiedenen Spektrentransformationen und Streuungskorrekturen modifizierten Daten und den zugehörigen Referenzdaten zu berechnen. Dadurch standen pro kalibrierten Parameter für jede Regressionsmethode je 12 Fehler der Kalibration (SEC), der Kreuzvalidation (SECV) und der externen Validation nach Bias-Korrektur (SEP(C)) zur Verfügung. Die folgenden Abbildungen 21 bis 23 zeigen die Spannweite und den Mittelwert der SEC-, SECV- und SEP(C)-Werte der Modelle zur Schätzung der nutritiven Parameter. Die für die Erstellung der Grafiken erforderlichen Werte befinden sich im Anhang A1 und A2 in den Tabellen 22 bis 71.



**Abbildung 21** Spannweite und Mittelwerte der Standardfehler von PCR-, PLS- und MPLS-Regression für die Schätzung des Trockenmassegehaltes in % i.d. FM von ungetrockneten Grassilageproben: SEC (links), SECV (Mitte) und SEP(C) (rechts)

Innerhalb der Diagramme für die Fehler der Kalibration (SEC), der Kreuzvalidation (SECV) und der Validation (SEP(C)) der mit alternativen Regressionsmethoden erstellten Modelle zur Schätzung des Trockenmassegehaltes (TM) in Abbildung 21 unterscheiden sich die mittleren Fehler je nach Art der Regressionsmethode insofern, als bei Heranziehung des PCR-Verfahrens der jeweiligen Fehler tendenziell höher ist als bei den Verfahren der PLS- und MPLS-Regression. In der Validation fällt insbesondere die hohe Spannweite beim Fehler der Vorhersage (SEP(C)) in der PCR-Regression auf.



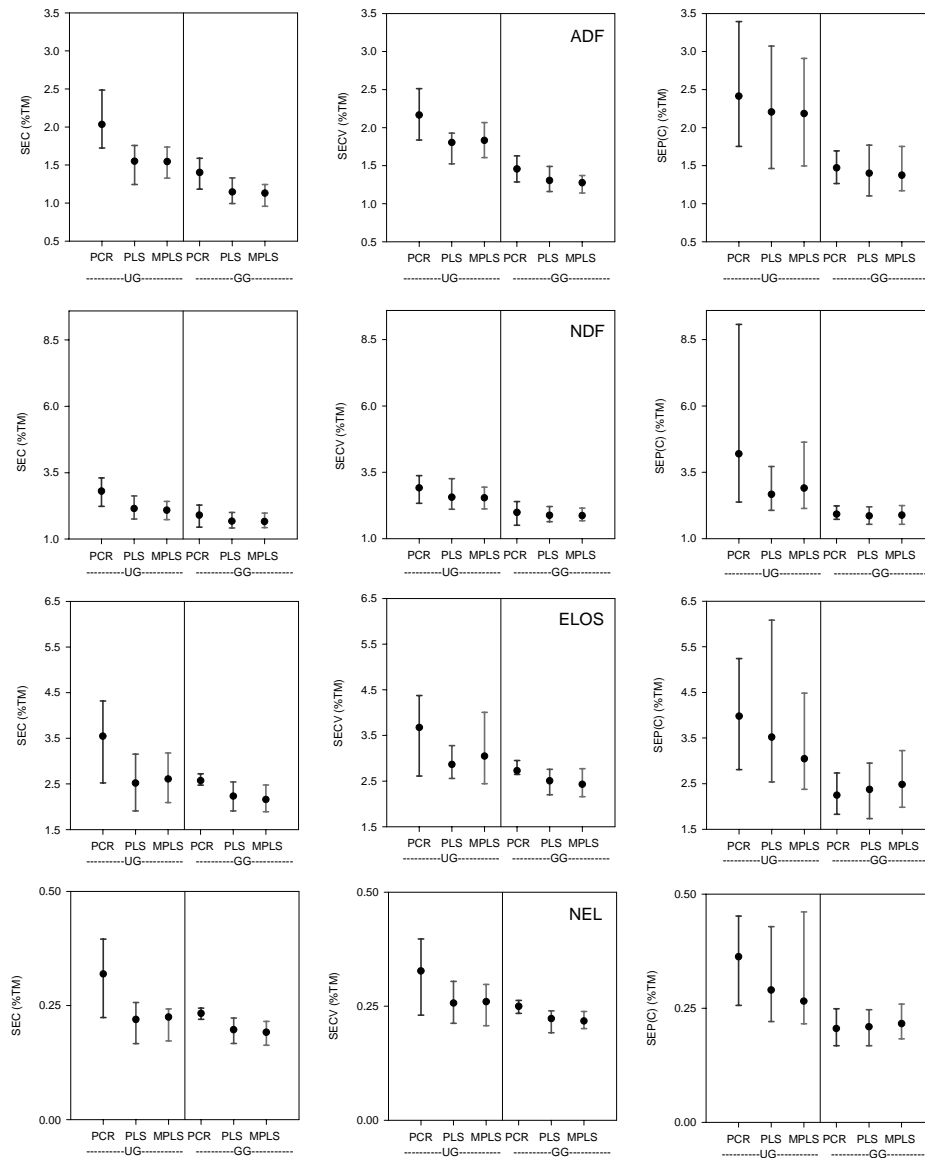
**Abbildung 22** Spannwerte und Mittelwerte der Standardfehler von PCR-, PLS- und MPLS-Regression für die Rohprotein-, WSC-, Rohfaser- und Asche-Schätzung in % i.d. TM von ungetrockneten (UG) und getrockneten (GG) Grassilageproben: SEC (links), SECV (Mitte) und SEP(C) (rechts)

In Abbildung 22 sind die SEC-, SECV- und SEP(C)-Werte für die nutritiven Parameter (Rohprotein, WSC, Rohfaser und Asche) zusammengestellt. Bei den Schätzmodellen für ungetrocknete Grassilageproben (UG) fällt besonders auf, dass die PCR-Methode im Vergleich zu den PLS- und MPLS-Methoden höhere mittlere Fehler bei der Kalibration (SEC) und Kreuzvalidierung (SECV) zur Folge hat. Dieser Unterschied ist, bei Betrachtung der relativ geringen Differenzen bei WSC und Asche für SECV, bei Rohprotein und Rohfaser besonders groß. Im Gegensatz zu WSC und Rohfaser ist bei Rohprotein und Asche das Niveau des Fehlers der externen Validation (SEP(C)) im Vergleich zu

SEC und SECV unabhängig von der Regressionsmethode bei ungetrockneten Proben stark gestiegen. Dagegen lässt sich für getrocknete Proben ein Anstieg des Fehlers der Vorhersage (SEP(C)) nicht beobachten. Bei der Rohprotein-Schätzung ungetrockneter Proben ist zudem bemerkenswert, dass sich die SEP(C)-Mittelwerte für alle dargestellten Regressionsmethoden annähernd gleichen.

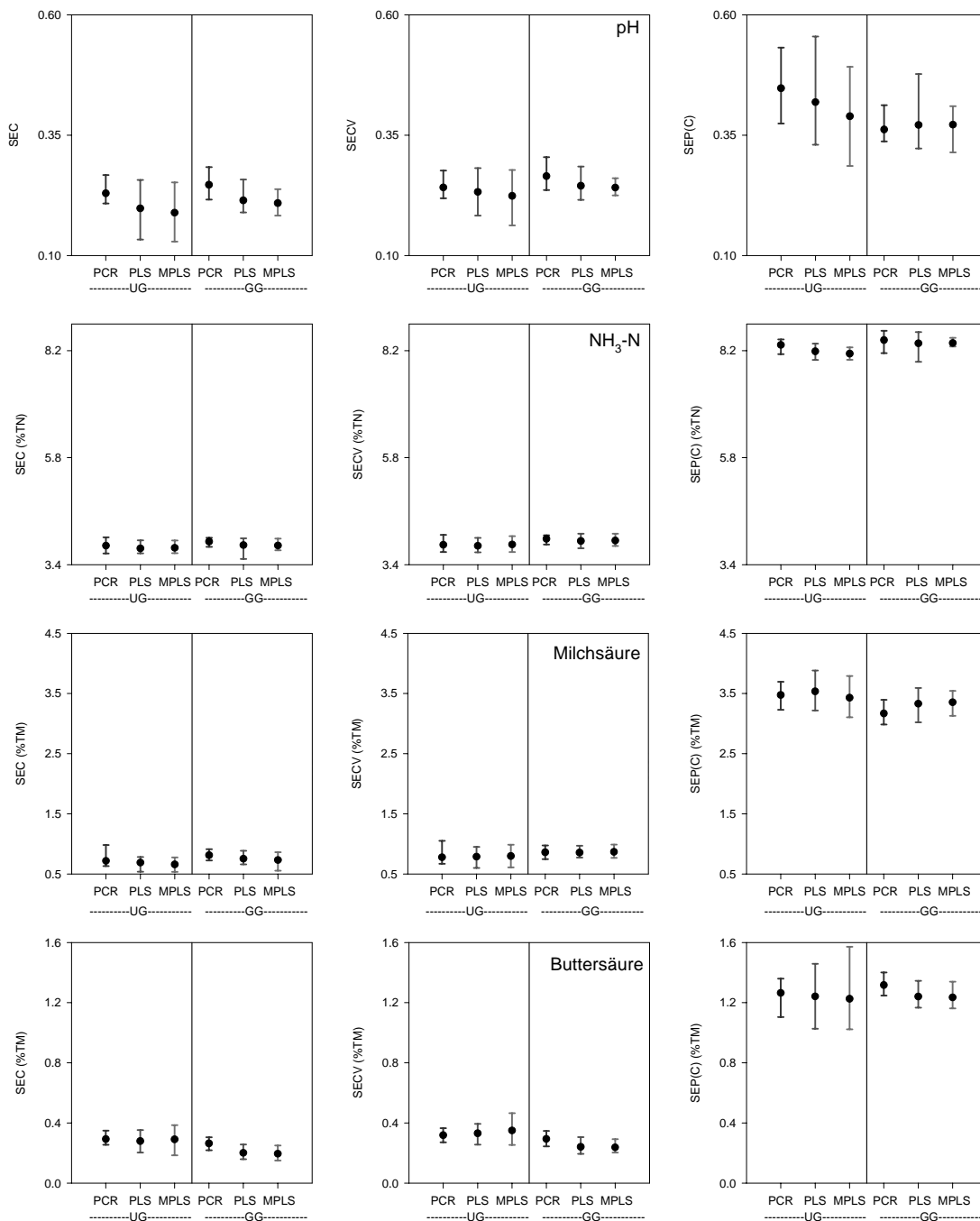
In der Abbildung 23 werden für die Parameter (ADF, NDF, ELOS und NEL) die Spannweiten der Fehler der Regressionsmodelle in der Kalibration (SEC), Kreuzvalidation (SECV) und in der Vorhersage (SEP(C)) aufgeteilt nach Regressionsmethoden (PCR, PLS und MPLS) dargestellt. Betrachtet man jedes Fehler-Diagramm einzeln, lassen sich für ungetrocknete Grassilageproben höhere Mittelwerte der Fehler der Regressionsmodelle bei Anwendung der PCR-Methode als bei PLS und MPLS feststellen, die ihrerseits überwiegend das gleiche Fehlerniveau sowohl bei ungetrockneten als auch bei getrockneten Grassilageproben erreichen. Darüber hinaus ist der Unterschied bei den PLS- und MPLS-Schätzmodellen für getrocknete Proben zu den Modellen, die mit der PCR-Methode berechnet wurden, meist gering. Betrachtet man bei NEL in den drei Diagrammen (SEC, SECV, SEP(C)) die Regressionsart PCR für ungetrocknete und getrocknete Proben, so bleibt der Mittelwert der Fehler nahezu konstant, was ebenfalls für PLS und MPLS zutrifft. Im Gegensatz zu den ungetrockneten Proben werden bei den Schätzmodellen für getrocknete Proben insbesondere in der externen Validierung (SEP(C)) bei den Parametern ADF, NDF, ELOS und NEL geringere mittlere Fehler erzielt.





**Abbildung 23** Spannweite und Mittelwerte der Standardfehler von PCR-, PLS- und MPLS-Regression für die ADF-, NDF-, ELOS- und NEL-Schätzung in % i.d. TM von ungetrockneten (UG) und getrockneten (GG) Grassilageproben: SEC (links), SECV (Mitte) und SEP(C) (rechts)

In Abbildung 24 fällt die Höhe der erreichten SEP(C)-Werte für ungetrocknete und getrocknete Proben bei den dargestellten fermentativen Parametern auf. Bei pH und  $\text{NH}_3\text{-N}$  verdoppelte sich der Fehler der Vorhersage betrachtet für alle drei Regressionsarten im Vergleich zu den SEC- und SECV-Werten. Bei Milchsäure und Buttersäure liegt sogar eine Verdreifachung des Fehlers vor. Des Weiteren wirkt sich die Wahl der Regression nur bedingt auf die Mittelwerte und die Spannweiten der Fehler bei ungetrockneten Proben aus. Allerdings wird mit der PCR-Methode bei pH eine kleine Spannweite des SEC-Wertes und bei Milchsäure eine große Spannweite im Vergleich zu den Spannweiten mit PLS und MPLS erreicht.

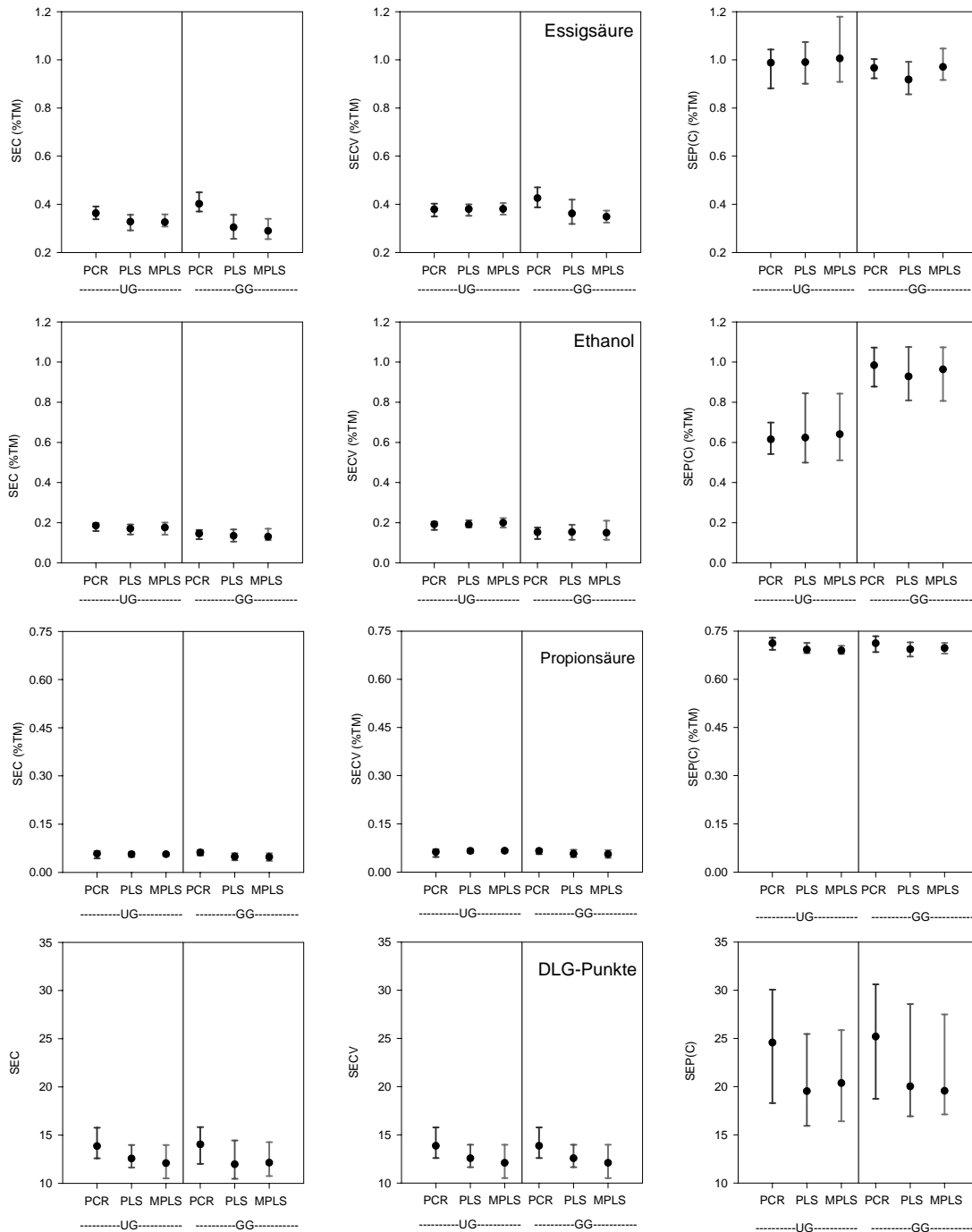


**Abbildung 24** Spannweite und Mittelwerte der Standardfehler von PCR-, PLS- und MPLS-Regression für die pH-,  $\text{NH}_3\text{-N}$ -, MS- und BS-Schätzung in % i.d. TM von ungetrockneten (UG) und getrockneten (GG) Grassilageproben: SEC (links), SECV (Mitte) und SEP(C) (rechts)

Bei Buttersäure ist die konstant über alle drei Fehlerarten erzielte größere Spannweite mit der MPLS-Methode bemerkenswert. Außer bei Buttersäure und bei  $\text{NH}_3\text{-N}$  (mit PLS) liegen ansonsten die Minima der Fehler der Kalibration und der Kreuzvalidation für die Modelle zur Schätzung der ungetrockneten Proben tiefer (pH,  $\text{NH}_3\text{-N}$ , Milchsäu-

re) als die Fehler für die Kalibrierung der getrockneten Proben. Besonders auffällig ist bei  $\text{NH}_3\text{-N}$ , Milchsäure und Buttersäure das gleiche Niveau der jeweiligen Fehler sowohl für Modelle der ungetrockneten als auch der getrockneten Proben. Bis auf Ethanol gilt dasselbe auch für die in Abbildung 25 dargestellten Parameter Essigsäure, Propionsäure und DLG-Punkte.

In Abbildung 25 fällt unabhängig von der Regressionsart und des Probenzustandes (UG oder GG) bei Propionsäure die geringe Größe der in der Validation erzielten Spannweiten des Fehlers (SEP(C)) im Vergleich zu der Streuung der SEP(C)-Werte für die Modelle zur Schätzung des pH-Wertes, des Ethanolgehaltes und der DLG-Punkte auf. Der bereits in Abbildung 24 beschriebene Anstieg des Schätzungsfehlers der dort dargestellten fermentativen Parameter lässt sich auch für die fermentativen Parameter (Essigsäure, Ethanol, Propionsäure, DLG-Punkte) in Abbildung 25 beobachten. Bei Essigsäure und DLG-Punkte erhöhte sich im Vergleich zu den SEC- und SECV-Werten das Niveau der Spannweite der erreichten SEP(C)-Werte für alle drei Regressionsarten um das Doppelte. Weiterhin stieg bei Ethanol das Niveau der Fehler für ungetrocknete Proben um das Dreifache, wobei die Modelle der getrockneten Proben sogar dieses Niveau überstiegen. In diesem Zusammenhang nimmt die Schätzung der Propionsäure eine besondere Stellung ein, denn der Fehler der Vorhersage stieg in dem Fall um mehr als das Zehnfache im Vergleich zu dem in der Kalibration und Kreuzvalidation erreichten Niveau an. Weiterhin ist anzumerken, dass für alle hier dargestellten fermentativen Parameter die Spannweiten der Fehler der Kalibration und der Kreuzvalidation für die Modelle der ungetrockneten Proben meistens kleiner als für diejenige der getrockneten Proben sind.



**Abbildung 25** Spannweite und Mittelwerte der Standardfehler von PCR-, PLS- und MPLS-Regression für die ES-, Eth-, PS- und DLG-Pkte-Schätzung in % i.d. TM von ungetrockneten (UG) und getrockneten (GG) Grassilageproben: SEC (links), SECY (Mitte) und SEP(C) (rechts)

---

### 3.2.3 Schätzung der nutritiven und fermentativen Qualitätsparameter

Für die in Tabelle 7 aufgeführten 17 Parameter wurden durch die Nutzung von vier verschiedenen Ableitungsstufen, drei unterschiedlichen Streulichtkorrekturen und drei Regressionsmethoden 36 Schätzmodelle je Parameter errechnet. Diese Schätzmodelle wurden mit Hilfe des Validationsprobensatzes VAL überprüft. Durch die hierbei erzielten Ergebnisse wird das Potenzial der NIR-Spektroskopie zur Schätzung der nutritiven und fermentativen Qualitätsparameter an ungetrockneten Grassilageproben (UG) aufgezeigt. Die Ergebnisse aus der Kalibration, der internen Validation (Kreuzvalidation mit Proben aus dem zur Kalibration gebildeten Probensatz) und der externen Validation (mit kalibrationsfremden Grassilageproben) wurden mit denjenigen der getrockneten Proben (GG) verglichen und sind vollständig im Anhang in den Tabellen 22 bis 71 aufgelistet. Aus diesen Tabellen wurden die Schätzmodelle mit den höchsten RPD-Werten ( $SD_{\text{val}}/\text{SEP}$ ) je Probenzustand und Parameter ausgewählt. Sie sind für die nutritiven Parameter in der folgenden Tabelle 12 und für die fermentativen Parameter in Tabelle 13 dargestellt.

Besonders fällt die Schätzung des Trockenmassegehaltes an ungetrockneten Proben im Vergleich zu den Schätzmodellen der anderen Parameter durch die höchste Güte der Anpassung in der Kalibration (ermittelt mit  $R^2_{\text{cal}}$ ), der Kreuzvalidation ( $1-\text{VR}$ ) und in der Validation ( $R^2_{\text{val}}$ ) auf. Der RPD-Wert des TM-Schätzmodelles ist um das sechsfache höher als der RPD-Wert des Asche-Schätzmodelles. Wie in der Tabelle 12 ersichtlich ist, fällt der RPD-Wert des Asche-Schätzmodelles am geringsten aus. Der nach dem im Kapitel 2.5 beschriebenen Verfahren hergestellte Kalibrationsdatensatz zur Schätzung des Trockenmassegehaltes enthält 179 Proben. Dieses Schätzmodell wurde durch Eliminierung von 21 Ausreißerproben optimiert.

Die Modelle für Messungen an ungetrockneten Proben erreichen überwiegend nicht die gleiche Güte der Anpassung wie diejenigen für Messungen an getrockneten Proben (ermittelt aufgrund  $R^2_{\text{cal}}$ ). Besonders markant ist dieser Unterschied für Asche und vergleichsweise weniger auffällig ist dieser Unterschied bei Rohprotein, Rohfaser. Gleichstand wird erreicht bei WSC, ADF, NDF, ELOS und NEL. Betrachtet man die

Fehler der Kalibration (SEC), so ist der SEC von den Modellen für ungetrocknete Proben bei Rohprotein und Rohfaser deutlich höher als der erreichte SEC für diese Inhaltsstoffe in getrockneten Proben. In geringerem Umfang unterscheiden sich die Fehler der Kalibration (SEC) für ungetrocknete und getrocknete Grassilageproben bei NDF, auch wenn hier Gleichstand der Güte der Anpassung der Kalibration ( $R^2_{cal}$ ) vorliegt. In der Kreuzvalidierung unterscheiden sich die Bestimmtheitsmaße (1-VR) der Schätzmodelle für beide Zustandsformen der Proben (UG, GG) in einem ähnlichen Maße, wie bereits anhand der Güte der Anpassung der Kalibration ( $R^2_{cal}$ ) festgestellt wurde.

Lediglich bei ELOS und NEL war das Bestimmtheitsmaß der Kreuzvalidierung (1-VR) für die Modelle der ungetrockneten Proben verglichen mit demjenigen der getrockneten Proben geringer. Hierbei war der Unterschied bei ELOS erheblich größer als bei NEL, während sich die Bestimmtheitsmaße ( $R^2_{cal}$ ) der Schätzmodelle dieser Parameter gleichen. Die gleiche Beobachtung trifft bei Heranziehung der Fehler der Kreuzvalidierung (SECV) zu, wobei der bei RP für ungetrocknetes Probenmaterial erreichte SECV dem für getrocknetes Material auch deutlich unterlegen ist.

Besonders hoch war die bei der WSC-Kalibrierung an ungetrockneten Proben beobachtete Quote von 27 Ausreißern in 179 Proben, die dafür sorgte, dass der entsprechende Probensatz über 11% weniger Proben umfasste als der zur WSC-Kalibrierung an getrockneten Proben. Daraufhin ist anzumerken, dass in der Tabelle 12 die Probensätze der getrockneten Proben für die WSC- und Asche-Schätzmodelle häufig größere Standardabweichungen als diejenigen der Probensätze für die UG-Schätzmodelle aufwiesen. Im Gegensatz dazu lässt sich bei ELOS eine höhere Standardabweichung des Modells für ungetrocknete Proben beobachten.

Unter den geprüften alternativen Regressionsmethoden wurde die MPLS-Regressionmethode gefolgt von der PLS-Regressionmethode am häufigsten als optimal ausgewählt. Die PCR-Regression wurde nur ausnahmsweise, d.h. in zwei Fällen – zur Schätzung des ADF- und des Asche-Gehaltes in ungetrockneten Grassilageproben – aufgrund des RPD-Wertes als optimal befunden.

**Tabelle 12 Kalibrations- und Validationsergebnisse für die Schätzung der nutritiven Parameter der ungetrockneten (UG) und getrockneten (GG) Grassilageproben**

Parameter	Zu.	Regression	Ableitung	Streuungskorrektur	F	n	$\bar{x} \pm sd$	SEC	$R^2_{cal}$	SECV	1-VR	SEP	<i>bias</i>	SEP(C)	<i>slope</i>	$R^2_{val}$	RPD
TM [%FM]	UG	PLS	0.0.1	MSC	13	158	36,51 ± 8,58	0,89	0,99	1,05	0,99	1,49	-0,45	1,43	0,96	0,98	6,05
RP	UG	MPLS	2.12.12	SNV-Detrend	6	159	16,82 ± 2,87	1,41	0,76	1,59	0,69	2,12	1,27	1,71	1,00	0,49	1,12
[%TM]	GG	MPLS	2.12.12	keine	12	175	16,86 ± 2,92	0,92	0,90	1,11	0,86	1,18	0,42	1,11	0,91	0,79	2,02
WSC	UG	PLS	2.12.12	SNV-Detrend	10	154	3,32 ± 3,03	1,11	0,87	1,33	0,81	1,00	-0,34	0,94	0,76	0,81	1,81
[%TM]	GG	MPLS	0.0.1	keine	13	173	3,32 ± 3,30	1,03	0,90	1,25	0,86	1,60	-0,83	1,39	0,58	0,84	1,12
RF	UG	MPLS	2.24.24	keine	12	169	27,10 ± 3,24	1,31	0,84	1,46	0,80	1,23	-0,10	1,24	0,86	0,70	1,78
[%TM]	GG	PLS	2.12.12	SNV-Detrend	15	169	26,84 ± 3,17	0,62	0,96	0,73	0,95	0,78	-0,29	0,73	1,04	0,89	2,82
ADF	UG	PLS	1.6.6	keine	15	169	32,09 ± 3,87	1,24	0,90	1,52	0,85	1,83	-1,12	1,46	0,89	0,71	1,46
[%TM]	GG	PCR	2.24.24	SNV-Detrend	15	169	32,20 ± 3,90	1,34	0,88	1,46	0,86	1,30	-0,36	1,26	0,94	0,78	2,05
NDF	UG	PLS	0.0.1	keine	14	165	51,76 ± 5,84	1,86	0,90	2,18	0,86	2,35	1,15	2,07	0,82	0,68	1,48
[%TM]	GG	PLS	0.0.1	MSC	13	173	51,70 ± 5,88	1,79	0,91	2,10	0,87	1,56	0,28	1,54	0,82	0,84	2,24
ELOS	UG	MPLS	2.12.12	keine	6	161	65,36 ± 6,69	2,73	0,83	4,00	0,64	2,53	0,57	2,49	0,81	0,65	1,59
[%TM]	GG	PLS	2.24.24	SNV-Detrend	12	168	65,75 ± 6,07	2,29	0,86	2,44	0,84	1,95	0,92	1,73	1,01	0,81	2,06
Asche	UG	PCR	1.6.6	MSC	6	157	10,60 ± 2,54	1,85	0,47	1,84	0,47	2,54	-1,16	2,28	0,82	0,20	1,00
[%TM]	GG	MPLS	1.6.6	SNV-Detrend	14	170	10,83 ± 2,87	0,97	0,89	1,20	0,83	1,33	-0,40	1,28	0,99	0,74	1,90
NEL	UG	MPLS	2.12.12	keine	6	161	6,14 ± 0,60	0,24	0,84	0,30	0,76	0,25	0,11	0,23	0,84	0,66	1,54
[MJ/kg TM]	GG	PLS	2.24.24	SNV-Detrend	11	170	6,18 ± 0,55	0,21	0,86	0,23	0,82	0,18	0,07	0,17	0,95	0,80	2,12

Zu.: Probenzustand; F: Regressionsfaktoren

Die zwecks Optimierung der Spektrentransformation bzw. Streuungskorrektur vorgenommenen Regressionsrechnungen deuten daraufhin, dass Spektren ungetrockneter Proben tendenziell einer mathematischen Ableitung bedürfen, aber im Vergleich zu den Spektren getrockneter Proben keine Streuungskorrektur erfordern. Für Spektren ungetrockneter Grassilageproben wurde zur Schätzung des Rohprotein-, WSC- und Aschegehaltes eine Streuungskorrektur notwendig. Für Spektren ungetrockneter Proben sind ebenfalls Vorteile nach Ableitung feststellbar, bei der Mehrzahl der Parameter scheinen sich aber überdies weitere Vorteile aus einer Streuungskorrektur zu ergeben. Die Modelle zur Schätzung von ELOS und den Gehalten an Rohprotein, Asche und NEL für ungetrocknete Proben wiesen nur sechs Regressionsterme (F) auf, während alle anderen Regressionsmodelle über 10 Terme verwendeten.

Die Tabelle 12 enthält ebenfalls die Ergebnisse der externen Validierung, die durch die Schätzung des 60 Proben umfassenden Probensatzes VAL errechnet worden sind. Die Modelle für Messungen der nutritiven Qualitätsparameter außer der bereits beschriebenen Trockenmasse (TM) an ungetrockneten Proben erreichen selten die gleiche Güte der Anpassung (ermittelt aufgrund  $R_{val}^2$ ) wie die Modelle für Messungen an getrockneten Proben. Diese Beobachtung bestätigt ebenfalls die Ergebnisse der Kalibration und der Kreuzvalidierung. Besonders markant ist dieser Unterschied für Rohprotein und Asche. Ebenfalls auffällig sind die Unterschiede bei Rohfaser, ADF, NDF, ELOS und NEL. Gleichstand wird lediglich erneut bei WSC erreicht. Die gleiche Beobachtung trifft zu bei Heranziehung des Fehlers der Validierung (SEP) und des um den *bias* korrigierten Fehlers der Validierung (SEPC). Für ungetrocknetes Probenmaterial übersteigt der absolute Wert des *bias* bei Rohprotein, ADF, NDF und Asche deutlich den Wert des *bias* (mittleren systematischen Fehler, um den alle Validierungsproben im Durchschnitt über- bzw. unterschätzt werden), der für getrocknetes Material erreicht wurde.

Die Steigung der Regressionsgerade *slope* für die Schätzmodelle der ungetrockneten Proben ist nur bei RP gleich dem erwünschten Wert von 1 und bei TM wird der Wert 1 annähernd erreicht. Ansonsten lagen die Steigungen der anderen Modelle zur Schätzung ungetrockneter Proben bis ca. 25 % unter dem gewünschten Wert von 1. Dies führte dazu, dass Proben mit hohen Gehalten unterschätzt und die Proben mit niedrigen Gehalten überschätzt wurden. Der Unterschied zu den Modellen für getrocknete Proben ist besonders auffällig für Rohfaser, ELOS und Asche, weil die entsprechenden Modelle für getrocknete Proben eine ideale Steigung der Regressionsgerade von 1 aufwiesen.



Zur Bestimmung der fermentativen Qualität der Grassilage sind die aus der Messung ungetrockneter (UG) sowie getrockneter (GG) Proben entwickelten Schätzmodelle, die den höchsten RPD-Wert ( $SD_{\text{val}}/\text{SEP}$ ) aus den 36 Schätzmodellen pro Parameter aufweisen, in Tabelle 13 zusammengefügt. Die Modelle für Messungen an ungetrockneten Proben erreichen bei Milchsäure, Buttersäure, Essigsäure und Ethanol die gleiche Güte der Anpassung wie diejenigen für Messungen an getrockneten Proben (ermittelt aufgrund  $R^2_{\text{cal}}$ ). Eine höhere Güte der Anpassung wurde bei pH und DLG-Punkte für die Modelle zur Schätzung der ungetrockneten Grassilageproben im Vergleich zu den Schätzmodellen der getrockneten Proben erzielt. Lediglich bei Propionsäure und  $\text{NH}_3\text{-N}$  wiesen die Schätzmodelle für ungetrocknete Proben eine geringere Güte auf, wobei für den Parameter  $\text{NH}_3\text{-N}$  die Bestimmtheitsmaße der Schätzmodelle für beide Probenzustände (UG und GG) sich nur geringfügig von Null unterschieden. Betrachtet man den Fehler der Kalibration (SEC), so gleichen sich bei allen fermentativen Parametern die Schätzmodelle für die ungetrockneten und getrockneten Proben im Unterschied zum bereits beschriebenen Verhältnis der Güte der Anpassung der Kalibration ( $R^2_{\text{cal}}$ ) bei pH, DLG-Punkte, Propionsäure und  $\text{NH}_3\text{-N}$ . Das Verhältnis der Güte der Anpassung der Kreuzvalidierung (1-VR) für die Schätzmodelle der beiden Zustandsformen der Proben (UG, GG) entspricht dem der bereits festgestellten bei der Güte der Anpassung der Kalibration ( $R^2_{\text{cal}}$ ). Lediglich bei Milchsäure hat sich dieses Verhältnis geändert, weil das multiple Bestimmtheitsmaß (1-VR) der Schätzmodelle für ungetrocknete Proben deutlich unter denjenigen für getrocknete Proben liegt. Bei der Schätzung von  $\text{NH}_3\text{-N}$  für die beiden Probenzustände (UG, GG) liegt hier auch die Güte der Anpassung in der Kreuzvalidierung (1-VR) bei annähernd Null.

Das Verhältnis zwischen den Fehlern der Kreuzvalidierung (SECV) der Schätzmodelle für ungetrocknete und getrocknete Grassilageproben entspricht demjenigen der Fehler der Kalibration (SEC) außer für Milchsäure und Buttersäure, die für die Schätzmodelle der ungetrockneten Proben größere SECV-Werte als für getrocknete Proben aufweisen. Je nach Probenzustand (UG, GG) glichen sich in etwa die erreichten SECV-Werte der Schätzmodelle für pH, Propionsäure und DLG-Punkte, während sich die multiplen Bestimmtheitsmaße (1-VR) für diese Parameter deutlich unterschieden.

Weiterhin fällt auf, dass die Modelle zur Schätzung der Gärparameter für ungetrocknete Proben sich fast auf dieselbe Anzahl von Regressionsfaktoren (F) wie die Modelle zur Schätzung der getrockneten Grassilageproben stützen. Hierbei ist anzumerken, dass bei

allen Parametern eine hohe Anzahl (über 10) von Regressionsfaktoren in die Modellberechnung einfließt. Eine Ausnahme stellt der Parameter  $\text{NH}_3\text{-N}$  mit lediglich einer minimalen Anzahl von Regressionsfaktoren sowohl bei dem Schätzmodell für ungetrocknete als auch für getrocknete Proben dar. Für die Schätzmodelle der ungetrockneten Proben fällt bei diesem Parameter weiterhin auf, dass die Fehler der Kalibration (SEC) sowie der Kreuzvalidation (SECV) der Standardabweichung (sd) im Kalibrationsprobensatz gleichen. Dasselbe lässt sich für die Schätzmodelle ungetrockneter und getrockneter Proben bei Propionsäure beobachten.

Im Vergleich zu den Kalibrierungen an getrockneten Proben fallen die Schätzmodelle für ungetrocknete Proben bei pH-Wert, Buttersäure und Essigsäure durch ihre geringere Probenanzahl ( $n$ ) auf. Lediglich bei pH wies das Modell mit den wenigsten Proben das höchste Bestimmtheitsmaß der Kreuzvalidierung auf. Bei der Betrachtung der Regressionsmethode in Tabelle 13 zur Herstellung der Kalibrierungen, die den höchsten RPD-Wert aufweisen, wurde überwiegend die PLS-Methode gefolgt von der MPLS-Methode für die Schätzmodelle ungetrockneter Proben angewendet. Diese Beobachtung gilt genauso für die Kalibrierungen an getrockneten Proben bis auf die Schätzung des Milchsäuregehaltes. Lediglich hierfür wurde die PCR-Methode als optimal befunden.

Betrachtet man die bereits beschriebenen Varianten der im Rahmen dieser Studie verwendeten verschiedenen Spektrentransformationen bzw. Streuungskorrekturen, so bedurfte der überwiegende Teil der Modelle (Tabelle 13) zur Kalibrierung von ungetrockneten Proben keiner Ableitung und keiner Streuungskorrektur. Bemerkenswert ist bei Essigsäure im Vergleich zum Schätzmodell für die ungetrockneten Proben, wo keine Ableitung notwendig wurde, die einmalige Nutzung der zweiten Ableitung mit großer Glättung (2.24.24) beim Schätzmodell für getrocknete Proben.

**Tabelle 13 Kalibrations- und Validationsergebnisse für die Schätzung der fermentativen Parameter der ungetrockneten (UG) und der getrockneten (GG) Grassilage**

Parameter	Zu.	Regression	Ableitung	Streuungskorrektur	F	n	$\bar{x} \pm sd$	SEC	$R^2_{cal}$	SECV	$\frac{1}{VR}$	SEP	<i>bias</i>	SEP(C)	<i>slope</i>	$R^2_{val}$	RPD
pH	UG	PLS	2.12.12	keine	15	161	4,43 ± 0,44	0,17	0,84	0,21	0,76	0,35	0,10	0,34	1,08	0,66	1,66
	GG	MPLS	1.6.6	SNV-Detrend	11	171	4,43 ± 0,42	0,21	0,76	0,24	0,68	0,32	0,04	0,31	1,17	0,72	1,84
NH <sub>3</sub> -N	UG	MPLS	2.12.12	SNV-Detrend	1	158	10,50 ± 3,89	3,84	0,03	3,91	-0,01	9,60	5,41	8,00	4,50	0,25	0,88
%TN	GG	PLS	1.6.6	SNV-Detrend	3	151	10,56 ± 3,84	3,53	0,16	3,77	0,05	9,37	5,06	7,95	2,82	0,19	0,90
MS [%TM]	UG	MPLS	0.0.1	keine	15	166	2,63 ± 1,66	0,78	0,78	0,99	0,65	3,64	1,21	3,47	0,97	0,15	1,03
	GG	PCR	1.6.6	MSC	13	164	2,60 ± 1,59	0,78	0,76	0,81	0,74	4,38	3,23	2,99	2,32	0,55	0,86
BS [%TM]	UG	PLS	1.6.6	keine	13	153	0,26 ± 0,61	0,22	0,86	0,30	0,76	1,06	0,09	1,06	1,32	0,48	1,36
	GG	MPLS	1.6.6	MSC	12	163	0,22 ± 0,49	0,20	0,84	0,24	0,77	1,29	0,52	1,19	1,56	0,37	1,12
ES [%TM]	UG	PLS	0.0.1	SNV-Detrend	13	155	0,75 ± 0,54	0,32	0,66	0,38	0,51	0,98	0,16	0,97	0,70	0,11	1,05
	GG	PLS	2.24.24	MSC	15	165	0,79 ± 0,60	0,35	0,66	0,42	0,51	1,05	0,62	0,86	0,99	0,29	0,97
Eth [%TM]	UG	PLS	0.0.1	keine	14	160	0,30 ± 0,30	0,15	0,75	0,18	0,63	0,57	0,11	0,56	0,88	0,30	1,18
	GG	MPLS	0.0.1	MSC	14	158	0,26 ± 0,22	0,12	0,72	0,14	0,60	1,00	0,81	0,59	1,26	0,23	0,67
PS [%TM]	UG	PLS	0.0.1	SNV-Detrend	13	153	0,04 ± 0,10	0,05	0,70	0,07	0,55	0,78	0,37	0,69	5,68	0,45	0,95
	GG	PLS	0.0.1	Keine	13	158	0,04 ± 0,11	0,05	0,78	0,06	0,69	0,80	0,44	0,68	3,79	0,39	0,93
DLG - Pkte	UG	PLS	0.0.1	keine	13	169	73,82 ± 23,06	11,40	0,76	13,24	0,67	17,47	0,61	17,61	1,15	0,70	1,80
	GG	PLS	1.6.6	keine	11	171	73,92 ± 21,96	11,82	0,71	13,74	0,61	17,49	-4,10	17,15	1,14	0,72	1,80

Zu.: Probenzustand; F: Regressionsfaktoren

In der Tabelle 13 befinden sich zusätzlich die Ergebnisse der externen Validierung der fermentativen Qualitätsparameter, die durch die Schätzung des 60 Proben umfassenden Probensatzes VAL errechnet worden sind. Sowohl für die ungetrockneten als auch für die getrockneten Grassilageproben liegen alle RPD-Werte ( $SD_{\text{val}}/\text{SEP}$ ) der Schätzmodelle unter dem Wert zwei.

Bei ungetrockneten Grassilageproben waren die ermittelten Werte für die Güte der Anpassung (ermittelt an  $R^2_{\text{val}}$ ) überwiegend kleiner als die Werte in der Kreuzvalidierung (1-VR). Die Abnahme war bei der Schätzung des Parameters pH-Wert am geringsten und stieg bei Buttersäure und Ethanol auf einen Unterschied von bis zu 0,33 % an. Lediglich bei Propionsäure und DLG-Punkte blieben die Werte der Güte der Anpassung (ermittelt an  $R^2_{\text{val}}$ ) nahezu unverändert im Vergleich zum erreichten multiplen Bestimmtheitsmaß der Kreuzvalidierung (1-VR). Bei ungetrockneten Proben ist das Niveau der Güte der Anpassung in der Validierung ( $R^2_{\text{val}}$ ) bei Milchsäure und Essigsäure erheblich geringer als in der Kreuzvalidierung (1-VR) und tendieren zu Null. Das Bestimmtheitsmaß der Validierung für den Parameter  $\text{NH}_3\text{-N}$  stieg von Null (1-VR) auf 0,25 % ( $R^2_{\text{val}}$ ) an. In diesem Fall ist selbst das beste Kalibrierungsergebnis unter den in der Tabelle 13 aufgeführten Modellen nicht in der Lage die Varianz in den Proben zu erfassen.

Die Modelle für Messungen an ungetrockneten Proben für die fermentativen Qualitätsparameter erreichen annähernd die gleiche Güte der Anpassung (ermittelt aufgrund  $R^2_{\text{val}}$ ) im Vergleich zu derjenigen für Messungen an getrockneten Proben. Lediglich bei Milchsäure lag ein Unterschied zu dem Schätzmodell für getrocknete Proben in Höhe von -0,4 % vor. Das Verhältnis der Bestimmtheitsmaße der Kreuzvalidierung (ermittelt an 1-VR) zwischen den Modellen für ungetrocknete und getrocknete Proben wurde in den Validierungsergebnissen (anhand von  $R^2_{\text{val}}$ ) bei pH, Milchsäure, Essigsäure und Propionsäure nicht bestätigt. Gleichstand zeigte sich bei DLG-Punkten im Gegensatz zu den entsprechenden Kreuzvalidierungsergebnissen (1-VR).

Die Verhältnisse zwischen den Schätzmodellen für ungetrocknete und getrocknete Proben der Fehler der Validierung (SEP) und um den *bias* korrigierten Fehler der Validierung (SEP(C)) entsprachen allerdings den Verhältnissen der Fehler der Kalibra-

tion (SEC) und der Kreuzvalidation (SECV). Hierbei ist bei den Kalibrierungen an ungetrockneten Proben anzumerken, dass sich in der Validation die Fehler (SEP, SEP(C)) insbesondere bei Propionsäure verzehnfacht hatten, während sie sich für die anderen fermentativen Parameter entweder verdoppelt (NH<sub>3</sub>-N, Ethanol) oder verdreifacht (Milchsäure, Buttersäure, Essigsäure) hatten. Lediglich bei DLG-Pkte hatten sich diese Fehler im Vergleich zu denjenigen der Kalibration und der Kreuzvalidation kaum geändert.

Für ungetrocknetes Probenmaterial liegt der systematische Fehler (*bias*) bei Milchsäure, Buttersäure, Essigsäure und Ethanol deutlich unter dem Wert des *bias*, der für getrocknetes Material erreicht wurde. Hervorzuheben ist jedoch der um das mehr als zweifach niedrigere Bias-Wert des Schätzmodelles für DLG-Pkte in ungetrockneten Grassilageproben im Vergleich zum Bias-Wert für getrocknete Proben. Die Steigung der Regressionsgerade *slope* für die Schätzmodelle der ungetrockneten Proben lag nur bei pH und Milchsäure nahe dem Wert eins. Ansonsten wichen bei den anderen Parametern die *slope*-Werte der Modelle zur Schätzung ungetrockneter Proben z.T. in erheblichem Maße von eins ab. Die Steigung lag sogar über vier bei NH<sub>3</sub>-N und Propionsäure.

---

## **4 Diskussion**

---

Im Folgenden wird diskutiert, inwieweit sich die komplexen Eigenschaften der Grassilage von der Probensammlung über die Zusammenstellung des Kalibrationsdatensatzes bis zur nahinfrarot-spektroskopischen Schätzung der nutritiven und fermentativen Qualitätsparameter anhand ungetrockneter und getrockneter Proben zutreffend erfassen lassen. Nach Gordon *et al.* (1998) erhöht das Trocknen die Genauigkeit der NIRS-Messungen, verändert aber auch die Probeneigenschaften. Somit bleibt zu prüfen, welche Art der Probenvorbehandlung zu einer repräsentativen Erfassung der Silagequalität führt. Darüber hinaus werden die Wirkung der äußeren Einflüsse auf die Güte der Messung sowie die Verfahren der chemometrischen Methodenoptimierung erläutert.

---

#### 4.1 Repräsentativität der Grassilageproben

Für die Ermittlung der Silagequalität durch zuverlässige NIRS-Kalibrationsgleichungen ist eine ausreichend große Probenpopulation unabdingbar, die das in der Praxis vorkommende Untersuchungsgut möglichst gut repräsentiert. Zur Klärung der Frage, inwieweit die in der vorliegenden Arbeit verwendeten Proben aus den Jahren 2000 bis 2004 typische Grassilagen darstellen, wird im Folgenden ein Vergleich einerseits mit Praxisproben aus dem gleichen Zeitraum und andererseits mit Proben aus vergleichbaren wissenschaftlichen Veröffentlichungen vorgenommen.

##### **Nutritive Parameter**

Die hier zur Kalibration herangezogenen Grassilagen (siehe Kapitel 2.5) entsprechen im mittleren Trockenmassegehalt von etwa 36 % i. d. FM den durch die LUFA-Nordwest analysierten Stichproben aus dem Jahr 2004 (Engling, 2005) und schließen außerdem den für Anweilksilage empfohlenen Bereich von 30-40 % i. d. FM ein (Spiekers, 2006). Einzelne Proben mit auffällig hohen Trockenmassegehalten über 60 % i. d. FM traten nicht nur im CAL<sub>TM-UG</sub>-Probensatz (siehe Abbildung 18) sondern auch bei den im Jahr 2002 von der LUFA-Nord-West untersuchten Grassilageproben (Egert, 2003) auf. Zudem werden ähnlich trockene Proben auch in Studien für die NIRS-Schätzung von Grassilage in den USA (Reeves und Blosser, 1991 und Shenk, 1993) und in Dänemark

(Sørensen, 2004) verwendet. Insofern beeinträchtigt die hier im  $CAL_{TM-UG}$ -Probensatz verwendete, extrem trockene Probe mit etwa 77 % TM keineswegs die Repräsentativität des Kalibrationsprobensatzes.

Der mittlere Rohproteingehalt von etwa 17 % i. d. TM in den hier zur Verfügung stehenden Grassilageproben ähnelt insbesondere demjenigen der Silagen vom 1. Schnitt des Jahres 2004 aus dem Einzugsgebiet der LUFA-Nord-West. In den Jahren 2000 bis 2004 war dennoch in den abgedeckten Regionen der LUFA-Nord-West, der Bayerischen Landesanstalt für Tierzucht (BLT) (Anonymous, 2001) eine größere Spannweite der Rohproteingehalte als im hier verwendeten Probenmaterial vorhanden, so dass diese Spannweite im Kalibrationsprobensatz ggf. noch erweitert werden könnte. Dieses wird in den Untersuchungen von Reeves und Blosser (1991) und Kennedy *et al.* (1996) durch eine Ergänzung der Probensätze mit Leguminosensilage und Frischgras erreicht. Dadurch erhöhten sie die Rohproteingehalte auf über 25 % i. d. TM. Im Bereich niedriger Konzentrationen haben einige Autoren (Park *et al.*, 1998; Sørensen, 2004) sogar Grassilageproben mit weniger als 5 % Rohprotein genutzt. Inwieweit eine Hinzunahme derartiger Proben aber zu einer Verbesserung der Schätzgleichungen führt, muss jeweils überprüft werden. Nach Mark (1991) gibt es einen optimalen Wertebereich einer NIRS-Kalibration, der nicht mit dem verfügbaren Bereich identisch sein muss. So können bei einem zu großen Bereich Nichtlinearitäten auftreten. Andererseits steigt bei der Kalibrationsberechnung über einen zu kleinen Wertebereich der relative Fehleranteil der Messgeräte und der Referenzanalyse.

Der in dieser Untersuchung abgedeckte Konzentrationsbereich an wasserlöslichen Kohlenhydraten (WSC) weist mit einem Mittel von etwa 4 % i. d. TM dasselbe Niveau wie die von der LUFA-Nord-West analysierten Grassilageproben des Jahres 2002 auf, liegt aber etwas niedriger als die von der LUFA-Nord-West über die Jahre 2000 bis 2004 insgesamt untersuchten Grassilageproben. Dennoch repräsentieren die Probensätze  $CAL_{WSC-UG}$  und  $CAL_{WSC-GG}$  die Stichprobenjahre ausreichend. Allerdings sind Maximal-Werte wie z.B. 17 % WSC i. d. TM in 2002 und sogar 22 % WSC i. d. TM in 2004 (Engling, 2005) in dieser Untersuchung nicht enthalten. Die Linksschiefe (Abbildung 19) der Probensätze  $CAL_{WSC-UG}$  und  $CAL_{WSC-GG}$  zur Schätzung des Restzuckeranteiles findet sich auch im Artikel von Park *et al.* (1998) aus Nordirland wieder, wobei die



Spannweite sich nicht bis 13 % WSC i. d. TM sondern bis umgerechnet etwa 20 % WSC i. d. TM (Originalwert: 2,93 g WSC/kg i. d. FM bei 21,9 g/kg TM i. d. FM) erstreckt.

Die Spannweiten der Rohfaser, ADF- und NDF-Gehalte der hier verwendeten Stichprobe stimmten in etwa mit den Spannweiten der bei der LUFA-Nord-West im Zeitraum von 2000 bis 2004 untersuchten Grassilageproben überein. Ein ähnlich hoher Maximalwert von über 60 % ADF i. d. TM wie in der Studie von Park *et al.* (1998) findet sich weder in dieser Arbeit noch in den Untersuchungen von Reeves und Blosser (1991) und Kennedy *et al.* (1996) wieder.

Bei der Ermittlung der Verdaulichkeit durch die enzymlösliche organische Substanz waren die Spannweiten der Probensätze  $CAL_{ELOS-UG}$  und  $CAL_{ELOS-GG}$  lediglich in der Untersuchung von De la Roza *et al.* (1996) in einem vergleichbaren großen Umfang vorhanden. Die Studien von Sinnaeve *et al.* (1994b), Offer *et al.* (1996), Park *et al.* (1998) und Gordon *et al.* (1998) weisen eine um die Hälfte kleinere Spannweite der Probensätze auf. Die deutschen Futtermittel-Untersuchungslabors LUFA-Nord-West und Bayerischen Landesanstalt für Tierzucht (BLT) ermitteln die Verdaulichkeit nicht anhand der ELOS-Werte sondern mittels Gasbildungstest nach Hohenheimer Futterwerttest (HFT), so dass dadurch ein direkter Vergleich zur Schätzung der Repräsentativität der Stichprobe erschwert wird.

Der mittlere Gehalt an Netto-Energie-Laktation (NEL) in der vorliegenden Untersuchung (Tabelle 7) entsprach annähernd den Gehalten der von der LUFA-Nord-West sowie der Bayerischen Landesanstalt für Tierzucht (BLT) im Gesamtzeitraum von 2000-2004 untersuchten Grassilageproben. Die in der vorliegenden Untersuchung erfolgte Zusammenlegung von Proben aus verschiedenen Schnitten und Erntejahren sorgte für eine Steigerung der Streuung im NEL-Gehalt auf  $sd = 0,61\%$  (vgl. Tabelle 5). Damit konnte eine derartig geringe Streuung von  $sd = 0,26\%$ , wie im 1. Schnitt des Jahres 2001 von der BLT ermittelt (Anonymous, 2001), vermieden werden. Dies stellt eine gute Basis für die Herstellung der Kalibrationsprobensätze dar.

Die Schätzung des Aschegehaltes stellt eine besondere Herausforderung dar, denn nach Cherney *et al.* (1983) werden die Ergebnisse der analytischen Untersuchungen durch die

Verschmutzung des Futters mit Erde beeinträchtigt. Hohe Rohaschegehalte von über 10 % i. d. TM wie in der hier verwendeten Stichprobe (Tabelle 5) weisen daraufhin, dass entweder zu tief gemäht oder zu scharf gewendet bzw. geschwadet wurde (Veauthier, 2002). Dieser Gehalt findet sich z.B. in Bayern in den Jahren 2000 und 2001 wieder (Anonymous, 2001).

### **Fermentative Parameter**

Es stellt sich die Frage, ob die zur Verfügung stehende Grassilage in ihren fermentativen Parametern den anderen Praxissilagen aus den betreffenden Jahren entsprach.

Der mittlere pH-Wert der Grassilageproben dieser Untersuchung entsprach dem mittleren pH-Wert der im Jahr 2001 untersuchten Proben aus dem Einzugsgebiet der LUFA-Nord-West (pH = 4,6). Die Schwankungsbreite des pH-Wertes der in Tabelle 7 dargestellten Stichprobe fiel kleiner aus, als die im Jahr 2002 (3,3 - 6,7) von der LUFA-Nord-West analysierten Grassilageproben. Im Vergleich mit den in der wissenschaftlichen Literatur verwendeten Probensätzen von Sinnaeve *et al.* (1994a), de la Roza *et al.* (1996) und Park *et al.* (1998) wiesen die Probensätze  $CAL_{pH-UG}$  und  $CAL_{pH-GG}$  allerdings einen größeren Bereich auf. Eine Studie aus Dänemark (Sørensen, 2004) umfasst hinsichtlich des pH-Wertes ein ähnlich breites Probenspektrum.

Der mittlere Gehalt von 13 % Ammoniak-Stickstoff am Gesamtstickstoff aus der Stichprobe (Tabelle 7) ist im Vergleich zu den ermittelten Gehalten in den vertretenen Erntejahren 2000 bis 2004 relativ hoch und entspricht am ehesten dem in der Futterbaupraxis beobachteten Gehalt des Jahres 2002 (Egert, 2003).

Unter den Parametern zur Beschreibung der Gärqualität bzw. der Aktivität der verschiedenen Mikroorganismen fällt die besonders große Spannweite des  $NH_3-N$ -Gehaltes der Kalibrationsprobensätze  $CAL_{NH_3-N-UG}$  und  $CAL_{NH_3-N-GG}$  im Vergleich zur Literatur (Sinnaeve *et al.*, 1994b; Park *et al.*, 1998; Sørensen, 2004) auf. Wie bei allen anderen fermentativen Parametern decken auch hier die Kalibrationsprobensätze  $CAL_{NH_3-N-UG}$  und  $CAL_{NH_3-N-GG}$  nicht die Proben des Validationsprobensatzes  $VAL_{NH_3-N}$  ab. Insofern wären die Proben des Satzes  $VAL_{NH_3-N}$  zur Ergänzung der Kalibrationsprobensätze bestens geeignet

Der Milchsäuregehalt der Stichprobe (vgl. Tabelle 7) ist annähernd mit dem der im Erntejahr 2003 entnommenen Grassilageproben aus dem Gebiet der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL) (Spiekers, 2004) vergleichbar.

Der Essigsäuregehalt der Stichprobe entspricht dem des Jahres 2003 im Gebiet der LUFA-Nord-West, wohingegen vom gleichen Labor in den Jahren 2004 und 2002 sogar Proben mit hohen Werten von bis zu 8 % beobachtet wurden. Nach Weiss (2002) waren letztere „umgekippt“, denn der Punkt des „Umkippens“ der Silagen liegt bei 3,0 % Essigsäure.

Der mittlere Buttersäuregehalt der Stichprobe ist mit dem der von der LUFA-Nord-West im Jahr 2002 (Egert, 2003) untersuchten Grassilageproben vergleichbar. Für eine bessere Schätzung des Buttersäuregehaltes im Validationsprobensatz VAL<sub>BS</sub> wäre es von Vorteil, wenn die Kalibrationsprobensätze CAL<sub>BS-UG</sub> und CAL<sub>BS-GG</sub> um solche Proben mit Buttersäuregehalten von etwa 6 bis 13 % i. d. TM erweitert worden wären, wie sie in den Jahren 2000 bis 2004 von der LUFA-Nord-West und vom LfL ermittelt wurden.

Der Propionsäuregehalt der gesamten Stichprobe entspricht dem der Jahre 2002 und 2004 (0,13 % und 0,14 %), die im Vergleich zu den anderen vertretenen Jahren teilweise mehr als Doppelt so viel enthielten. Die Beobachtung, wonach die meisten Silagen in der Regel weniger als 0,15 % Propionsäure aufweisen, wird durch Kung und Shaver (2001) bestätigt.

In den Validationsprobensätzen werden höhere Gehalte für Propionsäure, Buttersäure und Ethanol ermittelt als in den Kalibrationsprobensätzen (vgl. Abbildung 20). Für die Schätzung dieser Gärparameter ergäbe sich daher durch Aufstockung der Kalibrationsprobensätze mit Proben aus dem Validationsprobensatz ein hohes Verbesserungspotenzial. Zudem waren viele Grassilageproben in dieser Untersuchung stark angewelkt (vgl. Abbildung 18), was nach Merry *et al.* (2000) die Gärung verringert. Dies könnte eine Ursache für die teilweise kleinen Bandbreiten bei einigen fermentativen Inhaltsstoffen sein.

---

## 4.2 Silageuntersuchung mittels Nahinfrarot-Spektroskopie

---

### 4.2.1 Vergleich der Kalibrationsmodelle mit der Literatur

Vorab wird die Wahl der Bezugsgröße der geschätzten Parameter kurz erläutert. Die chemischen Analysen der Grassilageproben wurden zum größten Teil mit getrocknetem Material und nur für die Gärparameter an ungetrocknetem Material durchgeführt (siehe Kapitel 2.2). Bei bisherigen Arbeiten wurde die Silage überwiegend im getrockneten Zustand mit Hilfe der Nahinfrarot-Spektroskopie gemessen. Die Frage der Bezugsgröße stellt sich insbesondere dann, wenn die Silage im ungetrockneten Zustand gemessen wird. Die Aussage von Shenk (1993), wonach sich anscheinend gute Kalibrationsstatistiken bezogen auf den Frischmassegehalt verschlechtern, wenn sie auf den Trockenmassegehalt umgerechnet werden, wird in der Untersuchung von Gibaud *et al.* (2004) bestätigt.

Der Bezug der NIR-Schätzgrößen auf die Frischmasse stellt demnach eine „Beschönigung“ der Ergebnisse dar. Um die Problematik des Bezugs auf die Frischmasse zu umgehen, wurde im Folgenden, entweder der RPD-Wert oder der Ratio  $SD_{cal}/SECV$  gebildet (Williams und Norris, 2001). Diese Quotientberechnung führt durch Standardisierung des Fehlers zu einer dimensionslosen Größe und erleichtert damit den Vergleich von NIRS-Methoden für Inhaltsstoffe, die in unterschiedlichen Konzentrationsbereichen vorkommen bzw. in ihren Bezugsgrößen divergieren.

Der in dieser Arbeit für die TM-Schätzung (MSC, 0.0.1) erreichte RPD-Wert in Höhe von 6,1 (Tabelle 12) liegt nach der Bewertungsskala von Williams und Sobering (1996) im Bereich „gut bis sehr gut“. Somit konnte in dieser Untersuchung eine Leistungsfähigkeit für diesen Parameter erzielt werden, wie sie auch durch Abrams *et al.* (1988), Reeves und Blosser (1991), De la Roza *et al.* (1996), Park *et al.* (1999), Castro *et al.* (2002a) (berechnet als  $SD/SECV$  in Tabelle 14) berichtet wird. Von keiner wurden die

in den Untersuchungen von Kennedy *et al.* (1996) und Sørensen (2004) berichteten SD/SECV-Werte über 10 erreicht.

**Tabelle 14 Schätzgüte für Trockenmassegehalt (TM) bei NIRS-Messungen an ungetrockneten (UG) Grassilagen nach diversen Autoren**

Autor	Spekt.	SD/SECV	RPD
Abrams <i>et al.</i> (1988)	p	7,6	
Reeves und Blosser (1991)	h	9,5	
Kennedy <i>et al.</i> (1996)	f	13,0	
de la Roza <i>et al.</i> (1996)	f	5,0	
Park <i>et al.</i> (1999)	f	5,9	
Park <i>et al.</i> (1999)	b	5,0	
Castro <i>et al.</i> (2002a)	f	6,5	3,1
Sørensen (2004)	f	15,6	

Spekt.: Spektrometer (Foss NIRSystems h: 6350 f: 6500; Bran & Luebbe b: 500; Pacific Scientific p: 6100)

Laut Murray (1993) ist bei der NIRS-basierten Untersuchung von Futtergräsern ein Standardfehler der Kalibrierung (SEC) in Höhe von 0,5 % Rohprotein i. d. TM erreichbar. Im Falle von Grassilage nimmt er jedoch an, dass Proteinabbauprodukte, der Verlust flüchtiger Substanzen und Beprobungsschwierigkeiten bei der Grassilageuntersuchung zwangsläufig zu einer ungünstigeren Schätzgenauigkeit führen. Inzwischen haben die Arbeiten von Abrams *et al.* (1988) und Reeves *et al.* (1989) zu robusten Kalibrationen für die Schätzung des Rohproteingehaltes in ungetrockneter Futterpflanzensilage insbesondere bei Luzernesilage geführt. Die dabei erreichte hohe Güte der Schätzung ( $R^2$ ) dieses Parameters liegt nach Stuth *et al.* (2003) an der starken NH-Absorption in der NIR-Region, die jedoch lediglich mit dem Spektralbereich eines PbS-Detektors (1100-2500nm) abgedeckt werden kann.

In der vorliegenden Studie wies das Kalibrationsmodell zur Schätzung des Rohproteingehaltes bei ungetrockneten Grassilageproben einen auffällig höheren SEP-Wert (Tabelle 12) als bei getrockneten Proben auf. Vergleichbares wurde ebenfalls von Reeves und Blosser (1991) beobachtet. Die beiden in dieser Untersuchung durchgeführten Ausreißereliminierungsvorgänge waren möglicherweise nicht ausreichend, denn Kennedy *et al.* (1996) stellten fest, dass vor allem für die Rohproteinschätzung die Ausreißereliminierung zu deutlich besseren Schätzergebnissen führt, auch wenn dadurch die Robustheit des Schätzmodelles verringert wird. Der hier verwendete Validationsprobensatz  $VAL_{RP}$  wäre für eine spätere Ergänzung der Kalibrations-

probensätze gut geeignet, so dass die hohen SEC- und SECV-Werte (vgl. Abbildung 22) für Rohprotein verringert werden könnten. In dieser Untersuchung wiesen die niedrigen RPD-Werte der Rohprotein-Schätzmodelle für ungetrocknete und getrocknete Proben (vgl. Tabelle 12) auf eine ungenügende Vorhersageleistung hin. Diese Bewertung erfolgt nach der in Kapitel 2.4.3 aufgeführten Abstufung nach Williams (2001). Die ungenügende Vorhersageleistung der Schätzmodelle dieser Untersuchung findet sich auch in den Ergebnissen von Castro *et al.* (2002b) in Tabelle 15 für ungetrocknete Proben wieder.

**Tabelle 15 Schätzgüte für Rohproteingehalt (RP) bei NIRS-Messungen an ungetrockneten (UG) und getrockneten (GG) Grassilagen nach diversen Autoren**

Zu.	Autor	Spekt.	SD/ SECV	RPD
UG	Reeves und Blosser (1991)	h	3,0	
	Sinnaeve <i>et al.</i> (1994a)	f	5,8	
	Kennedy <i>et al.</i> (1996)	f	3,6	
	De la Roza <i>et al.</i> (1996)	f	3,7	
	Castro <i>et al.</i> (2002b)	f	1,8	1,6
	Park <i>et al.</i> (1998)	b	4,8	
	Park <i>et al.</i> (1999)	f	4,8	
	Park <i>et al.</i> (1999)	b	4,8	
	Sørensen (2004)	f	3,5	
GG	Reeves und Blosser (1991)	h	4,5	
	De la Roza <i>et al.</i> (1996)	f	4,0	
	Sørensen (2004)	n	5,6	

Zu.: Probenzustand; Spekt.: Spektrometer (Foss NIRSystems h: 6350 f:6500 n: 5000; Bran & Luebbe b: 500)

Bei den in Tabelle 12 dargestellten Kalibrations- und Validationsergebnissen zur Schätzung des Gehaltes an wasserlöslichen Kohlenhydraten gründet sich die Überlegenheit in der Güte der Anpassung der Modelle für getrocknete Proben bemerkenswerterweise auf eine größere Anzahl Proben als im Fall der Modelle für ungetrocknete Proben. Bei annähernd gleicher Anzahl Proben in den jeweiligen Ausgangsprobensätzen beruht dies in fast allen Fällen auf der höheren Quote an Ausreißerproben, die bei der Regressionsanalyse auftraten und eliminiert werden mussten. Eine Beibehaltung dieser Proben in der Kalibrierung hätte die Präzision der in Tabelle 12 dargestellten Modelle für ungetrocknete Proben verringert, da nach Danzer (2005) mehrere Ausreißer in einem Probensatz nicht zur Addition der einzelnen Eigenschaften führen, sondern die einzelnen Eigenschaften aufheben. Dies haben auch die Berechnungen von Park *et al.* (1998) bestätigt,

deren Untersuchung die bislang einzig nachweisbare darstellt, in der Aussagen zu der mit NIRS erreichbaren Schätzgenauigkeit für wasserlösliche Kohlenhydrate (WSC) in Grassilagen enthalten sind. Erst nach Eliminierung von Proben mit hohen WSC-Gehalten erzielten diese Autoren eine hohe Schätzgüte.

Wie aus der Tabelle 16 ersichtlich, konnte der ADF-Gehalt ungetrockneter Grassilageproben in mehreren Studien ebenso wie in der vorliegenden Arbeit nur mit einer höchstens befriedigenden Schätzgenauigkeit erfasst werden.

**Tabelle 16 Schätzgüte für ADF-Gehalt bei NIRS-Messungen an ungetrockneten (UG) Grassilagen nach diversen Autoren**

Autor	Spekt.	SD/SECV	RPD
Reeves und Blosser (1991)	h	2,5	
Kennedy <i>et al.</i> (1996)	f	3,5	
Park <i>et al.</i> (1998)	b	3,5	
Park <i>et al.</i> (1999)	f	3,5	
Park <i>et al.</i> (1999)	b	3,1	
Castro <i>et al.</i> (2002b)	f	2,3	2,0

Spekt.: Spektrometer (Foss NIRSystems h: 6350 f:6500 ; Bran & Luebbe b:500)

Für die Schätzung des ADF- sowie des NDF-Gehaltes in dieser Arbeit wird aus Tabelle 12 ersichtlich, dass die in der Kalibration und in der Kreuzvalidierung erreichte Schätzgenauigkeit für ungetrocknete oder getrocknete Grassilageproben nahezu übereinstimmten. Wie in der Studie von Offer *et al.* (1996) fielen aber in der Validation die Schätzmodelle für ungetrocknete Proben schlechter aus. Diese Beobachtung gilt nicht für die Messungen der Autoren Shenk (1993) und De la Roza *et al.* (1996), die unabhängig von der Form der Probenaufbereitung an Grassilage gleich gute Schätzgenauigkeiten im NDF-Gehalt (Tabelle 17) erzielten. Obwohl die NDF-Fraktion die gesamte pflanzliche Zellwand, d.h. Zellulose, Hemizellulose und Lignin umfasst, lässt sie sich mittels NIRS gut schätzen, was nicht zuletzt aus den Variationen in den CH- und OH-Banden resultiert (Stuth *et al.*, 2003). Das ADF-Modell (GG) weist einen im Rahmen dieser Arbeit (siehe Tabelle 12) günstigen RPD-Wert von 2,0 auf und das Rohfaser-Modell (GG) erreicht sogar den Wert von 2,8. Diese Modelle eignen sich daher für ein Screening der Grassilageproben.

**Tabelle 17 Schätzgüte für NDF-Gehalt bei NIRS-Messungen an ungetrockneten (UG) und getrockneten (GG) Grassilage nach diversen Autoren**

Zu.	Autor	Spekt.	SD/SECV	RPD
	UG de la Roza <i>et al.</i> (1996)	f	5,1	
	Park <i>et al.</i> (1998)	b	4,7	
	Park <i>et al.</i> (1999)	f	4,0	
	Park <i>et al.</i> (1999)	b	3,9	
	Castro <i>et al.</i> (2002b)	f	1,9	1,8
	Park <i>et al.</i> (2002)	f	4,7	
	GG de la Roza <i>et al.</i> (1996)	f	3,2	

Zu.: Probenzustand; Spekt.: Spektrometer (Foss NIRSystems f:6500 ; Bran & Luebbe b: 500)

In der Tabelle 18 sind für die Schätzung des Parameters ELOS verschiedene Untersuchungsergebnisse anhand des RPD-Wertes oder des SD/SECV-Quotienten dargestellt. Unabhängig von der Aufbereitungsform der Grassilage zeigen diese Ergebnisse, dass aufgrund des Ratios SD/SECV eine durchaus zufriedenstellende Schätzung dieses Parameters möglich ist. In dieser Arbeit ist besonders in der externen Validierung die bessere Schätzung der Modelle für getrocknete Proben klar an den Fehlerspannweiten (vgl. Abbildung 23) erkennbar. Die Überprüfung der Kalibration mit einem neuen Validationsprobensatz könnte weitere Informationen über die Güte des Schätzmodelles insbesondere für die Schätzung der ungetrockneten Proben liefern. Sinnaeve *et al.* (1994b) erzielten für zerkleinerte und unvermahlene frische Proben die höchste Genauigkeit in der Kreuzvalidierung. Griggs *et al.* (1999) konnten zudem einen klaren Zusammenhang zwischen der Güte der Schätzung der Verdaulichkeit und dem Wassergehalt der Probe zeigen, da sich mit Abnahme der Restfeuchte in der Probe die Schätzgenauigkeit für Verdaulichkeit verbesserte.

Die Verdaulichkeit ist ein gutes Beispiel für einen Parameter, dem nicht ein einziger Inhaltsstoff zugrunde liegt, sondern der von mehreren Inhaltsstoffen wie Rohprotein-, Fett-, Cellulose- und Ligningehalt der Probe abhängig ist (Bertrand, 2006). Dieses spiegelt sich insbesondere in den hohen Pearson-Korrelationen des Gehaltes an ELOS mit den ADF- und NDF-Gehalten (vgl. Tabelle 8) wider. Dementsprechend zeigen die Autoren Park *et al.* (1997) die Komplexität des Parameters Verdaulichkeit u.a. durch die zahlreichen Wellenlängen (1652 nm, 1666 nm, 1668 nm und 2252 nm, 2280 nm), die in



die Regression mit einbezogen wurden. Dabei sind mehrere dieser Wellenlängen charakteristisch für NH- und CH-Verbindungen in Proteinen und Proteinfractionen wie die Absorptionsbanden Amide I, II und III. Ebenso spielen die CH-, CO- und OH- Verbindungen der Cellulose sowie die CH-, CC- und OH- Verbindungen von Fetten und Ölen eine Rolle in der Schätzung der Verdaulichkeit. Das in der vorliegenden Untersuchung verwendete Diodenzeilenspektrometer deckt den Bereich über 1690 nm nicht ab, so dass insbesondere die Wellenlängen über 2200 nm nicht genutzt werden konnten.

**Tabelle 18 Schätzgüte für Verdaulichkeitsparameter (IVVOM, CDOM, ELOS, EULOS) bei NIRS-Messungen an ungetrockneten (UG) und getrockneten (GG) Grassilagen nach diversen Autoren**

Zu.	Autor	Spekt.	SD/SECV	RPD
UG	Sinnaeve <i>et al.</i> (1994a)	f	3,4	
	De la Roza <i>et al.</i> (1996)	f	2,6	
	Gordon <i>et al.</i> (1998)	b	3,8	
	Gordon <i>et al.</i> (1998)	b	2,6	
	Park <i>et al.</i> (1998)	b	2,6	
	Park <i>et al.</i> (1999)	f	2,6	
	Park <i>et al.</i> (1999)	b	2,7	
	Castro <i>et al.</i> (2002b)	f	1,7	1,1
GG	de la Roza <i>et al.</i> (1996)	f	2,8	

Zu.: Probenzustand; Spekt.: Spektrometer (Foss NIRSystems f:6500 ; Bran & Luebbe b: 500)

In dieser Arbeit fällt die Schätzgenauigkeit für den Aschegehalt von ungetrockneten Proben mit einem SECV-Wert von 1,8 % i. d. TM (Tabelle 12) schlechter aus als in der Literatur, da in den Arbeiten von De la Roza *et al.* (1996) und Park *et al.* (1998) SECV-Werte von 1,4 % bzw. 0,8 % erreicht wurden.

**Tabelle 19 Schätzgüte für Aschegehalt bei NIRS-Messungen an ungetrockneten (UG) und getrockneten (GG) Grassilagen nach diversen Autoren**

Zu.	Autor	Spekt.	SD/SECV
UG	Sinnaeve <i>et al.</i> (1994a)	f	2,3
	de la Roza <i>et al.</i> (1996)	f	2,8
	Park <i>et al.</i> (1998)	b	2,8
GG	de la Roza <i>et al.</i> (1996)	f	1,7

Zu.: Probenzustand; Spekt.: Spektrometer (Foss NIRSystems f:6500 ; Bran & Luebbe b: 500)

Für die getrockneten Proben entsprechen hingegen die Schätzungen des Aschegehaltes in dieser Arbeit den Ergebnissen von De la Roza *et al.* (1996) in Tabelle 19 ersichtlich.

Der Fehler der Kreuzvalidation ist dort eindeutig am kleinsten, wo die Spannweite des Aschegehaltes am geringsten ist. Dennoch sind solche geringen Fehler überraschend, da es sich bei Asche um anorganische Verbindungen handelt, die das Licht im Nahinfrarot-Bereich schlechter als organische Stoffe reflektieren (De la Roza *et al.*, 1996). Die Schätzmodelle in Tabelle 12 verdeutlichen, dass die Schätzung des Aschegehaltes unabhängig von der Probenaufbereitung nicht mit ausreichender Güte erfolgte. Jedoch zeigen die in Tabelle 19 aufgeführten Ergebnisse aus der Literatur anhand des SD/SECV-Quotienten, dass für ungetrocknete Proben ein Screening für die Schätzung des Aschegehaltes möglich ist.

**Tabelle 20 Schätzgüte für pH-Wert bei NIRS-Messungen an ungetrockneten (UG) und getrockneten (GG) Grassilagen nach diversen Autoren**

Zu.	Autor	Spekt.	SD/SECV	RPD
UG	Sinnaeve <i>et al.</i> (1994a)	f	3,04	
	De la Roza <i>et al.</i> (1996)	f	3,00	
	Park <i>et al.</i> (1998)	b	4,00	
	Park <i>et al.</i> (1999)	f	4,00	
	Park <i>et al.</i> (1999)	b	2,00	
	Castro <i>et al.</i> (2002a)	f	1,37	1,71
	Sørensen (2004)	f	4,10	
GG	Castro <i>et al.</i> (2002a)	f	1,75	2,00
	Sørensen (2004)	n	3,72	

Zu.: Probenzustand; Spekt.: Spektrometer (Foss NIRSystems f:6500 n: 5000; Bran & Luebbe b: 500)

Beim Vergleich der fehlerstatistischen Kennwerte zur Schätzung des pH-Wertes in Tabelle 13 mit der Literatur in Tabelle 20 ist festzustellen, dass der Zustand der Grassilage keinen wesentlichen Einfluss auf die Güte der Schätzung aufwies. Lediglich bei Offer *et al.* (1996) eigneten sich die getrockneten Proben besser zur Schätzung des pH-Wertes als die ungetrockneten. In der Arbeit von Sørensen (2004) ist der sehr niedrige Standardfehler der Vorhersage (SEP) von 0,1 bei der Messung von getrockneten Proben kaum nachvollziehbar. Denn der pH-Wert beruht auf Wasserstoff-Ionen und Salzen, die im Feststoff nicht mehr vorhanden sein dürften. Dass das Modell nicht auf einem direkten Zusammenhang beruhen kann, wird durch die Verwendung der sehr hohen Anzahl von 15 Regressionsfaktoren unterstrichen. In den Arbeiten von Sinnaeve *et al.* (1994a), Park *et al.* (1999) wurden für ungetrocknete Proben deutlich weniger Regressionsfaktoren in den zur pH-Bestimmung entwickelten Schätzmodellen verwendet. Insofern ist

davon auszugehen, dass das von Sørensen (2004) entwickelte Schätzmodell andere Eigenschaften der Proben kalibriert als die Zielgröße pH-Wert.

Im Vergleich dazu ist im Bezug auf den Umfang der Kalibrationsprobensätze für beide Schätzmodelle (UG: 161 Proben, GG: 171 Proben) die hier verwendete Anzahl von 15 und 11 Faktoren (Tabelle 13) nicht unkritisch zu bewerten. Sørensen (2004) stützte sich nämlich auf 379 Proben und einen größeren Wellenlängenbereich. Die in dieser Untersuchung verwendete hohe Faktorenanzahl (Tabelle 13) und die in Abbildung 24 festgestellte Verdoppelung des Schätzfehlers bei der externen Validation deuten nach Danzer (2001) auf eine zu starke Anpassung des Modells an die vorhandenen Daten (*Overfitting*) hin. Dieses gilt auch verstärkt für die anderen fermentativen Parameter (vgl. Abbildung 24 und Abbildung 25). Eine Ausnahme stellen die DLG-Punkte dar, dessen Modelle zwar eine hohe Anzahl Regressionsfaktoren benötigten, jedoch - wie aus Abbildung 25 ersichtlich - in der Validation keine so hohe Fehlersteigerung aufwiesen. Obgleich die in Tabelle 13 aufgeführten Modelle je Probenzustand denselben RPD-Wert aufweisen, eignet sich das Modell für die ungetrockneten Grassilageproben besser zur Schätzung der DLG-Punkte, da der systematische Fehler (*bias*) bei der Regression für getrocknete Proben sehr groß ist.

Die Möglichkeit der Schätzung der Gärparameter in Grassilage mittels NIRS-Modelle wurde anhand mehrerer Studien gezeigt (Snyman und Joubert, 1992; Sinnaeve *et al.*, 1994a; Park *et al.*, 1998; Park *et al.*, 1999; Park *et al.*, 2002). Unabhängig vom Probenzustand war diese Schätzung jedoch bislang oft nicht genau genug. Mit Ausnahme der Propionsäure wurden jedoch die Gehalte der anderen Gärsäuren (siehe Tabelle 21) so geschätzt, dass sie für eine qualitative Aussage ausreichend sind (Sinnaeve *et al.*, 1994a; Park *et al.*, 1998; Sørensen, 2004). Der letztgenannte Autor konnte interessanterweise eine Kalibration für die quantitative Analyse des Milchsäuregehaltes entwickeln, die sich bei dem getrockneten Material mit einem Verhältnis SD/RMSECV von 4,9 (siehe Tabelle 21) deutlich besser darstellt, als bei dem frischen Material. Diese Tendenz kann in dieser Arbeit in der Kreuzvalidation ebenfalls beobachtet werden, (vgl. Tabelle 13). Darüber hinaus wurde von Sørensen (2004) ebenso von Sinnaeve *et al.* (1994a) ein Spektrometer mit Blei-Sulfid-Detektor verwendet, dessen Messbereich die Absorptionsspeaks von reiner Milchsäure bei 1610 nm und 1696 nm abdeckt. Diese

Wellenlängen sind jedoch bei dem in dieser Untersuchung verwendeten InGaAs-Detektor (siehe Kapitel 2.3.1) aufgrund der Abnahme der Anzeigegenauigkeit oberhalb 1600 nm stark verrauscht (Duponchel, 1997). Dies kann aber meines Erachtens nicht der einzige Grund für die schlechteren Ergebnisse der externen Validation sein, denn wie im vergangenen Kapitel erwähnt, zeigt sich, auch im Falle der Milchsäure, dass VAL<sub>MS</sub> sich eher zur Ergänzung der Kalibrationsprobensätze eignet. Der Kalibrationsprobensatz sollte dann ergänzt werden.

**Tabelle 21 Schätzungsgüte für Gärparameter bei NIRS-Messungen an ungetrockneten (UG) und getrockneten (GG) Grassilagen nach diversen Autoren**

Parameter	Zu.	Autor	Spekt.	SD/SECV	RPD
NH <sub>3</sub> -N	UG	Sinnaeve <i>et al.</i> (1994a)	f	4,49	
		Park <i>et al.</i> (1998)	b	3,75	
		Castro <i>et al.</i> (2002a)	f	1,90	0,17
		Sørensen (2004)	f	2,33	
	GG	Castro <i>et al.</i> (2002a)	f	1,92	2,00
		Sørensen (2004)	f	3,5	
Propionsäure	UG	Park <i>et al.</i> (1998)	b	1,61	
Milchsäure	UG	Abrams <i>et al.</i> (1988)	p	2,42	
		Sinnaeve <i>et al.</i> (1994a)	f	2,80	
		Park <i>et al.</i> (1998)	b	2,46	
		Castro <i>et al.</i> (2002a)	f	1,83	1,43
		Sørensen (2004)	f	4,17	
	GG	Castro <i>et al.</i> (2002a)	f	1,86	1,65
Sørensen (2004)		f	4,93		
Ethanol	UG	Park <i>et al.</i> (1998)	b	2,83	
		Sørensen (2004)	f	3,27	
Essigsäure	UG	Abrams <i>et al.</i> (1988)	p	2,33	
		Sinnaeve <i>et al.</i> (1994a)	f	3,20	
		Park <i>et al.</i> (1998)	b	2,00	
		Sørensen (2004)	f	2,09	
	GG	Sørensen (2004)	f	1,96	
Buttersäure	UG	Abrams <i>et al.</i> (1988)	p	1,75	
		Park <i>et al.</i> (1998)	b	2,59	
		Castro <i>et al.</i> (2002a)	f	2,03	1,57
	GG	Castro <i>et al.</i> (2002a)	f	1,55	1,53

Zu.: Probenzustand; Spekt.: Spektrometer (Foss NIRSystems f:6500; Bran & Luebbe b: 500; Pacific Scientific p: 6100)

In dieser Arbeit stellt die Schätzung des Gehaltes an Ammoniak-Stickstoff einen Grenzfall dar. Die Validationsergebnisse zur Schätzung des Gehaltes an Ammoniak-Stickstoff sind besser (Tabelle 65 im Anhang), als es die Kalibrationsstatistiken erwarten ließen.

Die in Tabelle 13 erzielten SEP- und SEP(C)-Werte gleichen außerdem der Standardabweichung des Validationsprobensatzes (Tabelle 6), was nach Mark (1991) zeigt, dass die Kalibrationsmodelle nur zufällige Schätzwerte erzeugt haben. Dies hängt auch mit der geringen Anzahl genutzter Regressionsfaktoren zusammen. Unabhängig vom Probenzustand (UG, GG) enthalten die gewonnenen Spektren offensichtlich nicht genügend Informationen für diesen Inhaltstoff. Der Parameter  $\text{NH}_3\text{-N}$  erwies sich daher als nicht schätzbar.

Nach dem RPD-Wert zu urteilen, erwies sich für beide Probenzustände die Schätzung des Essigsäuregehaltes in dieser Untersuchung ebenfalls als unzureichend, die Fehler der Schätzmodelle (vgl. Abbildung 25) unterschieden dabei nicht. In der Studie von Sørensen (2004) fiel dagegen die Schätzung des Essigsäuregehaltes für die getrockneten Proben deutlich schlechter als für die ungetrockneten Proben (siehe Tabelle 21) aus. Als Begründung hierfür nennt er das Entweichen von bis zur Hälfte dieser flüchtigen Säure während des Trocknungsvorgangs.

Der Ethanolgehalt in ungetrocknetem Material (siehe Tabelle 21) konnte in der Studie von Sørensen (2004) besser als in der Arbeit von Park *et al.* (1998) geschätzt werden. Auch hierbei ist schwache Schätzung dieses Parameters an getrocknetem Material bei der fast vollständigen Verflüchtigung des Ethanols während des Trocknens begründet (Sørensen, 2004). In dieser Untersuchung zeigen die Modelle zur Schätzung des Ethanolgehaltes allerdings eine niedrige Schätzgenauigkeit (vgl. Tabelle 13). Es liegt nahe, verschiedenste Störgrößen der Messung hinter diesem Befund zu vermuten.

Die NIR-Spektroskopie wurde jedoch laut Osborne und Fearn (1986) bereits zur Bestimmung des Alkoholgehaltes in Getränken wie Wein und Bier angewendet. Die Messung erfolgte dabei allerdings in Transmission und nicht wie in dieser Untersuchung mit dem Diodenzeilenspektrometer in Reflexion.

Fast alle hier untersuchten Gärparameter sind, wie an dem großen Abstand zwischen Median und Mittelwert ablesbar ist (vgl. Abbildung 20), schief verteilt (Danzer, 2001). Allerdings ist theoretisch eine annähernde Normalverteilung der zu schätzenden Parameter für die Kalibrationsentwicklung erwünscht (Fearn, 1992).

### 4.2.2 Anwendung von Spektrentransformationen zur Verbesserung der Kalibrationsmodelle

Im Nahe Infrarot unterscheiden sich Spektren ungetrockneter und getrockneter Grassilagen eindeutig im Absorptionsniveau und insbesondere in der Absorptionshöhe im Bereich der Wasserbanden (vgl. Abbildung 14a). Während getrocknete Proben trocknungsbedingt einen relativ gleichmäßigen Restfeuchtegehalt haben, weisen ungetrocknete Proben sehr unterschiedliche Wassergehalte und dementsprechend sehr stark variierende Absorptionshöhen auf, die proportional zu den hohen  $\log 1/R$ -Werten von hohem Streulicht begleitet sind (Shenk und Westerhaus, 1995). Bei der hohen Spanne im Feuchtigkeitsgehalt von Grassilagen von etwa 20 % bis über 80 % kann es überdies zu Abweichungen in der Linearität der Beziehung zwischen Konzentrations- und Reflexionsdaten kommen.

Nach Martens und Naes (1989) stehen verschiedene Spektrentransformationen zur Verfügung, um den Einfluss unterschiedlicher Absorptionsniveaus und der Nichtlinearität zwischen Referenzwerten und Spektraldaten zu verringern. Entsprechende Ansätze wurden in der vorliegenden Arbeit verfolgt. Allerdings wird der Vergleich der dabei erzielten Ergebnisse mit solchen aus der Fachliteratur durch die Spektrometerwahl und dadurch bedingte Unterschiede im abgedeckten Spektralbereich erschwert. Überdies ist die Optimierung der Spektraldateitransformation bei der Modellierung im Rahmen eines systematischen Vergleichs zwischen ungetrockneten und getrockneten Silagen in der Literatur nur äußerst selten vorgenommen worden.

Die hier zur Optimierung der Regressionsrechnungen vorgenommenen Spektrentransformationen bzw. Streuungskorrekturen deuten tendenziell daraufhin, dass Spektren ungetrockneter Proben insbesondere für die Gärparameter (Tabelle 13) keine mathematische Ableitung bzw. Streuungskorrektur erfordern. Im Gegensatz dazu wird in den Untersuchungen von Sinnaeve *et al.* (1994a) und Gordon *et al.* (1998) anhand der Kalibrationsentwicklung zur Erfassung verschiedener Grassilagequalitätsparameter in einem erweiterten Spektralbereich aufgezeigt, wie verschiedene mathematische Ableitungen sowie Streuungskorrekturen die jeweiligen Kalibrationsmodelle verbesserten. Diese durch Ableitungen hervorgerufenen Verbesserungen wurden ebenfalls bei Feld-

messungen von Maiskörnern (Montes *et al.*, 2006) sowie bei stationären Messungen von intakten und gemahlten Sonnenblumenachänen (Moschner, 2007) beobachtet. Bei beiden Untersuchungen übte der Einsatz von Streuungskorrekturen im Gegensatz zu den Ableitungen nur einen geringen Einfluss auf die Güte der Schätzungen auf.

Unter den hier als optimal selektierten Modellen zur Schätzung der verschiedenen nutritiven und fermentativen Qualitätsparameter in Grassilage treten kaum Modelle mit MSC-Vorbehandlung auf. Daraus lässt sich ableiten, dass die durch diese Streuungskorrektur laut RMS-Werten bedingte Reduzierung der Varianz der Absorptionswerte über Messwiederholungen (Tabelle 11) in der Modellierung unwirksam war und Störfaktoren nicht eliminiert wurden. Vergleichbares wird in der Literatur nur von Abrams *et al.* (1988) beobachtet. Der üblicherweise durch eine Streuungskorrektur minimierte Partikelgrößeneffekt dürfte im Fall der aus relativ großen Partikeln bestehenden, unzerkleinerten Grassilage infolgedessen keine wichtige Rolle spielen.

Die in verschiedener Weise transformierten Spektren in den Abbildungen 14 bis 17 verdeutlichen, wie schon allein durch die Bildung von Ableitungen ein Großteil der Streulicht- und Basislinieneffekte eliminiert wird. Entsprechendes wird durch die in Tabelle 11 dargelegten Stufen der Ableitungen im Bezug auf den RMS-Wert erläutert. Hinsichtlich des Spektrums sind nach Reeves (2004) die ungetrockneten Proben unterschiedlicher als die trockenen Proben. Dieses spiegelt sich in der Höhe der RMS-Werte wieder.

Der mehrfach in Kapitel 3.2.3 beschriebene positive Einfluss der zweiten Ableitung auf die Schätzmodelle insbesondere der nutritiven Qualitätsparameter sowohl bei den ungetrockneten als auch den getrockneten Proben wird auch von Dardenne *et al.* (1996) für die Schätzung ungetrockneter Luzerneproben beobachtet. Die starke Glättung von Grassilagespektren in zweiter Ableitung hat in der vorliegenden Arbeit selten zu besseren Ergebnissen (vgl. Tabelle 12 und 13) geführt. In der Literatur hingegen wurden die Spektren von ungetrockneten Grassilageproben sogar sehr stark geglättet (vgl. Abrams *et al.*, 1988). Bei Paul (1988) ergab die zweite Ableitung mit großer Glättung bessere Ergebnisse für die Schätzung der InVitro-Verdaulichkeit stark verschmutzter Silagen. Die bei ungetrockneten Silagen durch Partikelgrößeneffekte hervorgerufene Basisli-

nienverschiebung der Spektren unterschied sich klar von derjenigen, die in verschmutzten Silageproben auftrat.

Wie im Kapitel 3.2.2 anhand der Spannweiten des SECV-Wertes aufgezeigt, wurde insbesondere für die Schätzung der nutritiven Parameter der Fehler der Kreuzvalidation der entwickelten Kalibrationsmodelle für die nutritiven Qualitätsparameter durch den Einsatz der PLS oder MPLS-Regressionen gegenüber der PCR-Regression erheblich verbessert. Auch in der Untersuchung von Haaland und Thomas (1988) war die PLS-Regression schneller und effizienter als die PCR-Regression. Dieses kann darauf hinweisen, dass der Zusammenhang zwischen den nutritiven Qualitätsparametern und den Wellenlängen durch Störgrößen, wie die Wasserbanden bei ungetrockneten Proben, geschwächt wird. Demzufolge spielte in dieser Arbeit die Wahl der Regressionsmethode keine wesentliche Rolle für die Schätzung der Trockenmasse und der fermentativen Parameter.

---

### 4.3 Äußere Einflüsse auf die NIRS-Messung

Der zentrale Grundsatz der chemometrisch basierten NIR-Spektroskopie besteht darin, dass die chemische Zusammensetzung gegebener Untersuchungsproben die eigentliche Einflussgröße von NIRS-Gleichungen bilden sollte (Westerhaus, 1990). Dementsprechend sollten im Rahmen der Kalibrierung z.B. der physikalische Zustand der Proben und bestimmte äußere Faktoren in ihrem Einfluss auf die Modellierung minimiert werden. Im Folgenden ist zu diskutieren, inwieweit dies bei der hier vorgenommenen Methodenentwicklung tatsächlich erreicht worden ist.

So wie die Wiederholbarkeit nasschemischer Labormethoden entscheidend für die realisierte Präzision der jeweiligen Methode ist, so muss auch bei der NIR-Spektroskopie die Wiederholbarkeit der spektralen Information in unabhängigen Unterproben berücksichtigt werden (Gordon *et al.*, 1998). Auch in der vorliegenden Untersuchung wurde daher u.a. überprüft, wie viele Messwiederholungen notwendig sind, um eine bestimmte Präzision der NIRS-Messungen zu erreichen. Hierfür wurde in dieser Untersuchung der



RMS-Wert herangezogen (vgl. Tabelle 11). Dabei zeigten sich erhöhte RMS-Werte für die Messungen an unzerkleinerten und ungetrockneten Proben im Vergleich zu homogenisierten und getrockneten Proben. Die Daten aus der Tabelle 12 belegen eindeutig erhöhte RMS-Werte bei den ungetrockneten und unzerkleinerten Proben als Folge der Probenheterogenität. Dieser Sachverhalt wird auch bei Gordon *et al.* (1998) aufgezeigt und ist bedingt durch den Aufbau der Grassilageproben aus einem Gemisch aus Blättern, Stängeln und totem Material von jeweils sehr unterschiedlicher Zusammensetzung sowie einer großen Anzahl an Grasarten (Kennedy *et al.*, 1996; Park *et al.*, 1999).

Allein die mangelnde Berücksichtigung von spektralen Ausreißern bei der NIRS-Messung kann zu einem Verlust an Genauigkeit führen (Park *et al.*, 1999). Um dem entgegen zu wirken, benötigte Griggs (1999) bis zu 8 Wiederholungen bei der NIRS-Messung intakter Gras- und Luzerneproben. Jedoch ist diese hohe Wiederholungsanzahl eindeutig nicht praxistauglich. Der in dieser Arbeit durchgeführte Versuch zur Ermittlung der notwendigen Anzahl an Wiederholungsmessungen für ungetrocknete Grassilageproben zeigte, dass schon ab drei Messungen der RMSE der geschätzten Trockenmassegehalte stark abnahm (vgl. Abbildung 13). Eine große Anzahl an Messwiederholungen ist nicht immer entscheidend für die Qualität und Präzision der Messung, denn trotz mehrerer Unterproben haben Reeves und Blosser (1991) keine bessere Schätzung des ADF-Gehaltes als die anderen oben zitierten Autoren erzielt.

Andererseits spielt die Dauer der Einzelmessung ebenfalls eine Rolle. Aus Abbildung 13 wurde ersichtlich, dass eine lange Messdauer von 30s zu höheren RMSE-Werten der TM-Schätzung führte als eine kurze Messdauer von 5s. Grundsätzlich kann davon ausgegangen werden, dass bei der 5s-Messung Unterschiede der Proben nicht so gut erfasst werden und vermehrt zufälliges Rauschen in den Spektren vorhanden ist, da längere Messzeiten zu einer Verbesserung des Signal-Rausch-Verhältnisses führen (Osborne, 1999). Dass die 30s langen Messungen dennoch zu höheren RMSE-Werten führten, scheint durch andere Faktoren, wie z.B. durch eine Veränderung der Probeneigenschaften während der überlangen Messung, begründet zu sein.

Überdies sollten unerwünschte äußere Faktoren in ihrer Wirkung auf die NIRS-Schätzung minimiert werden, z.B. wenn die Messumwelt sich verändert. Die Temperaturbedingungen (Probe und Umgebung) beeinflussen nach Paul *et al.* (2002) die

Messergebnisse stark. Die Probentemperatur hat einen sehr komplexen Effekt auf die Spektren. Nach Chauchard *et al.* (2004) ist eine Kalibration, die auf einen Temperaturmodell beruht, weniger effizient als wenn die Temperatur gemessen wird und in die Berechnung einfließt. In der vorliegenden Untersuchung konnte die Probentemperatur unberücksichtigt bleiben, weil nach dem Auftauen der zuvor eingefrorenen Proben eine Auftaudauer von mindestens von 21 Stunden (Abbildung 12) für das Erreichen der konstanten Raumtemperatur reichte. Gleichzeitig liegt diese Auftaudauer unter dem nach Mac Rae (1970) kritischen Wert von 24 h, ab dem eine markante Wirkung auf die Verdaulichkeit sowie auf die Strukturkohlenhydrate (ADF, NDF) zu erwarten wäre.

Bei Messungen ungetrockneter Grassilageproben waren erheblich mehr Gebrauchsspuren (Kratzer) an den Petrischalen als bei der Messung getrockneter Proben beobachtet worden (siehe Messprotokoll Unterkapitel 2.3.2). Es kann daran liegen, dass die Petrischalen für Messungen getrockneter Grassilageproben nicht so häufig nass gereinigt wurden. Werden Proben frisch gemessen, ist nach Cozzolino und Labandera (2002) ein häufiges Waschen der Messzellen notwendig. Außerdem stellte Griggs (1999) bei der Messung ungetrockneter Grassilageproben mit der Küvette des viel benutzten Voss-Gerätes NIRSystems 6500 fest, dass die Reinigung grundsätzlich sehr aufwendig ist.

Nach der in dieser Untersuchung durchgeführten großen Anzahl von Messserien sind nicht zuletzt vom häufigen Waschen und Trocknen der Petrischalen Gebrauchsspuren am Glas entstanden. Es steht also fest, dass die Kalibration von frischem Material wie Shenk (1993) es ausdrückte „spezielle Messzellen und eine sorgfältige Unterbeprobung“ erfordern, weil die Gefäße durch die Messung frischer Silage sehr beansprucht werden.

Bei NIRS-Messungen an Grassilage kann die Probe entweder als trockenes Pulver oder frisch im gehäckselten oder - wie in dieser Untersuchung geschehen - im ungehäckselten Zustand im Messgerät untersucht werden. Insofern erschweren experimentell bedingte Unterschiede in der Probenaufbereitung, Probenpräsentation und herangezogenen Messgeräten den Vergleich zwischen Publikationen zum gleichen Gegenstand (Gordon *et al.*, 1998). Auch die Struktur der gemessenen Probe spielt eine bedeutende Rolle für die Genauigkeit der erzeugten Spektren (Norris *et al.*, 1976). So steigt die Präzision der NIRS-Messung mit der Zunahme des Zerkleinerungsgrades der Silage

(Gordon *et al.*, 1998). Diese Autoren haben bei gleicher Probenbehandlung wie in der Forschergruppe von Park das Zweistrahlenspektrometer InfraAlyzer 500 der Firma Bran und Luebbe (Norderstedt, Deutschland) statt dem Einstrahlenspektrometer NIRSystems 6500 verwendet.

Mehrere Autoren wie De la Roza *et al.* (1996) haben die Grassilage vor der Messung bis auf eine Länge von 2-5 cm zerkleinert. Andere haben das Gras gar nicht zerkleinert und ein Gemisch aus Gras (20 cm lang) und Grassilage (1,5-2,5 cm lang) gemessen (Kennedy *et al.*, 1996). Die Zerkleinerung der ungetrockneten Grassilageproben beeinflusste die Schätzgenauigkeit für die Verdaulichkeit aber nicht diejenige für den Rohproteingehalt (Reeves und Blosser, 1991). Die Beobachtung dieser Autoren zeigt damit, wie komplex sich die Probenzerkleinerung der frischen Proben auf die NIRS-Schätzung auswirkt. Sie bewirkt demnach eine Veränderung der Grassilage, die den Fehler der NIRS-Schätzung trotz besserer Verdichtbarkeit vergrößert. Park *et al.* (1999) haben zur Erhöhung der Homogenität unter den von ihnen gemessenen Grassilageproben ungehäckselt angelieferte Silagen nachträglich auf 5 cm Länge gehäckselt. Bei Einhaltung der empfohlenen Schnittlänge von 6 bis 8 cm für eine Grassilage mit 30 % TM i. d. FM und bei höheren TM-Gehalten sogar nur 4 cm in der Futterbaupraxis wäre die Nachzerkleinerung eigentlich unnötig. Aber leider ergeben sich in der Praxis immer wieder ungewollte Abweichungen (Veauthier, 2002). Die Autoren Park *et al.* (1998) erzielten gute Kalibrationsergebnisse für frische Grassilage in Bezug auf den Gehalt an Trockenmasse und Rohprotein sowie Verdaulichkeit der organischen Masse *in vivo*. Diese Autoren verwendeten allerdings eine von Grund auf andersartige Behandlung der Grassilage: Die Silage wurde über Nacht bei 4°C aufgetaut und während 30 min in einer Plastiktüte in flüssigem Stickstoff schockgefrostet, um dann vor dem Zerkleinern mit einem Mörser zerstampft, im 2mm Sieb zentrifugiert und bei Zimmertemperatur gemessen zu werden. Die Untersuchungen dieser beiden Arbeitsgruppen stützen sich auf die Erkenntnis, dass sich die unveränderte Silage schlechter als die zerkleinerte ungetrocknete oder die in Polyethylen-Folie eingewickelte Silage kalibrieren lässt (Reeves und Blosser, 1991). Diese letztgenannten Autoren sind der Meinung, dass die Probleme bei der Messung von intakter Silage nicht an guten oder schlechten Wiederholungen sondern an der Partikelgröße liegen. Diese These wird mit der Beobachtung von Reeves

(2004) bekräftigt, wonach die Faktorenanzahl mehr von der Strukturänderung als von dem Wasseranteil beeinflusst wird.

Während in dieser Arbeit die für CAL, CAL+ und VAL zugrunde liegenden Proben ausschließlich aus der Praxis stammten, wurden in der Studie von Park *et al.* (1999) unter anderem auch im Labor in Miniatursilos hergestellte Grassilage untersucht. Auf dieser Weise gezielt hergestellte Grassilagen tragen dazu bei, die Variabilität innerhalb der Probensätze zu erhöhen.

---

## **5 Ausblick**

---

Das Ziel dieser Arbeit war, die bei der herkömmlichen Methode zur Untersuchung von Grassilage verwendeten getrockneten Proben durch unbehandelte Proben zu ersetzen. Es galt das analytische Potential eines neuartigen NIR-Spektrometers zur gleichzeitigen Erfassung nutritiver und fermentativer Merkmale abzuschätzen. Die dabei erzielten Ergebnisse blieben hinter den Erwartungen zurück und werfen die Frage auf, inwieweit Modifikationen des methodischen Vorgehens zu einer generellen Verbesserung der Methode führen könnten.

Auch wenn die Minimierung der Probenaufbereitung dazu beiträgt, die Methodenhandhabung zu vereinfachen, wird hier doch dafür plädiert, die Grassilageproben vor der Untersuchung im ungetrockneten und unvermahlten Zustand zu homogenisieren bzw. auf ein einheitliches Maß der Vorzerkleinerung zu bringen. Daraus sollten Vorteile in der Reproduzierbarkeit der Messungen und ggf. sogar bei der zuverlässigen Nachweisbarkeit der in niedrigen Konzentrationen vorkommenden Fermentationsprodukte in der Silage erwachsen. Um bei der Messzelle den hohen Verschleiß der Glasoberfläche einzugrenzen und die optische Homogenität zu steigern, ist außerdem ein anderes Material als das hier verwendete Glas erforderlich.

Im Hinblick auf das genutzte Messgerät wäre zu klären, ob der Einsatz eines Diodenzeilenpektrometers mit erweitertem Spektralbereich („extended InGaAs“), das erst nach Beginn der eigenen Versuche verfügbar wurde, den Nachweis von Absorptionsbanden zwischen 1600 nm und 2000 nm verbessern könnte. Daraus dürften Vorteile bei der Erfassung von Protein, Gärsäuren, Lignocellulose und daraus abgeleiteter Qualitätsparameter resultieren.

Bei einem chemometrisch basierten Verfahren wie der NIR-Spektroskopie muss aber die zur Modellierung verwendete Datenbasis mit größter Aufmerksamkeit bedacht werden. Grundsätzlich sollten die eingesetzten Probensätze eine hohe zeitliche, geographische und botanische Variabilität aufweisen. Jahreseffekte wirken sich erheblich auf die Schätzgenauigkeit der meisten nutritiven Qualitätsparameter aus (vgl. Wiedner 2002), so dass die Einbeziehung mehrerer Probenjahrgänge in die Modellierung – wie hier geschehen – angeraten ist. Allerdings liefert eine Validierung der Schätzmodelle an Proben aus einem einzigen Jahr – wie in der hier vorgelegten Untersuchung – keine verlässliche Aussagekraft zu ihrer Bewertung. Insofern ist die

Erweiterung der Variabilität der Probensätze für die Validierung, mutmaßlich aber auch für die Kalibrierung bei zukünftigen Untersuchungen zu empfehlen. Dabei wäre zu prüfen, ob eine Erweiterung der erfassten Bandbreite der zu schätzenden Qualitätsparameter durch Hinzufügen gezielt hergestellter Laborsilagen und Addition von Reinstoffen mit Vorteilen verbunden ist. In einem solchen Fall böte es sich an, ein neuartiges Verfahren der Spektraldatentransformation („Extended MSC“) in der multivariaten Auswertung (vgl. Kohler *et al.*, 2005) auf seine Wirksamkeit bei der Abschwächung störender bzw. Verstärkung gesuchter Absorptionsbanden zu testen.

---

## **6 Zusammenfassung**

---



1. Im ungetrockneten Zustand und ohne weitere Probenaufbereitung wurden Grassilagen im Spektralbereich des nahen Infrarots zwischen 960 nm und 1690 nm in Reflexion untersucht. Mittels konventioneller futtermittelanalytischer Methoden wurden an den gleichen Proben Referenzwerte für die Berechnung der Nah-Infrarotspektroskopie-Modelle zur Schätzung der nutritiven und fermentativen Qualitätsparameter von Grassilage erhoben. Die hier vorgelegte Untersuchung diente dem Ziel, die Schätzgenauigkeit von NIRS-Modellen für den Nährstoff- und Energiegehalt sowie der Konservierungsqualität in ungetrockneten Grassilagen im Vergleich zu getrockneten Grassilagen nach statistischen Kriterien zu beschreiben und zu bewerten.
2. Die zur Untersuchung herangezogenen Grassilageproben wurden in den Erntejahren 2000 bis 2004 in deutschen Grünland- und Futterbaubetrieben produziert. Sie stammten insbesondere aus dem Frühjahrswuchs, jedoch auch aus späteren Aufwüchsen. Die erhobenen futtermittelanalytischen Befunde belegten, dass pflanzenbauliche und konservierungstechnologische Einflussfaktoren für eine außerordentlich hohe Varianz in der chemischen Zusammensetzung dieser Proben gesorgt hatten. Sehr frühe bis sehr späte Schnitttermine bedingten die extreme Spannweite im Rohfasergehalt zwischen 18% und 37% in der Trockenmasse (TM). Aufgrund der Auswahl der Grassilagen mit einer hohen Diversität von Anwelkstufen reichten die Trockenmassegehalte der Silagen von etwa 17% bis 78%. Pflanzenbestand, Witterungseinflüsse und wiederum Anwelktechnologie dürften für die beobachtete weite Spanne im Verschmutzungsgrad, repräsentiert durch Rohaschegehalt zwischen 6% und 24% in der TM, verantwortlich sein. Unterschiede im Fermentationsverlauf hatten schließlich pH-Werte zwischen 3,6 und 6,4 sowie Milchsäuregehalte zwischen 0% und 14% in der TM zur Folge. Demzufolge stellten die herangezogenen Grassilagen ein Kollektiv dar, dessen Bewertung alle Stufen zwischen minderer und hervorragender nutritiver, nicht aber fermentativer Qualität umschloss.
3. In diesem Probenkollektiv drückten sich bekannte physiologisch oder technologisch bedingte Zusammenhänge zwischen nutritiv und fermentativ bedeutsamen Inhaltsstoffen durch statistisch abgesicherte Korrelationen aus. Dazu zählten die in enger

positiver Beziehung zueinander stehenden Zellwandparameter, ihre enge negative Beziehung zu der enzymatisch abbaubaren organischen Substanz (ELOS) und dem Nettoenergiegehalt (NEL) und der mit zunehmendem Zellwandgehalt abnehmende Rohproteingehalt. Infolge steigender Intensität des Anwelkens und dadurch bewirkter hoher TM-Gehalte trat ein höherer Gehalt an restlichen wasserlöslichen Kohlenhydraten (WSC) auf. Auch die Beziehungen der aus der Fermentation hervorgegangenen Inhaltsstoffe untereinander bestätigten bekannte Zusammenhänge. Insbesondere wiesen der pH-Wert, der Milchsäure- und der Buttersäuregehalt eine mittlere Beziehung auf. Ein höherer Buttersäuregehalt wiederum war mit einem höheren Eiweißabbau in den Silagen assoziiert, wie am Anteil des Ammoniakstickstoffs am Gesamtstickstoff deutlich wurde.

4. Aus dem insgesamt verfügbaren Probenkollektiv wurden gemäß der Chronologie ihrer Entstehung die Proben der Erntejahre 2000 bis 2003 zur Kalibrierung, d.h. zur Entwicklung von NIRS-Schätzmodellen und die Proben des Erntejahres 2004 zur unabhängigen bzw. externen Validierung der Schätzmodelle herangezogen. Der verteilungstatistische Vergleich zwischen den so entstandenen Probensätzen für Kalibrierung (CAL) und Validierung (VAL) im Hinblick auf die futtermittelanalytischen Kennwerte belegte ihre weitgehende Übereinstimmung in den Wertebereichen der energetisch relevanten Inhaltsstoffe, nicht aber in den Wertebereichen der fermentativen Merkmale. Im Gegensatz zum Kalibrationsprobensatz hatte offensichtlich der im Mittel niedrigere Trockenmassegehalt des Validationsprobensatzes höhere Varianzen und veränderte Mittelwerte in den fermentativen Merkmalen bewirkt.
5. Zur Entwicklung der NIRS-Schätzmodelle wurden verschiedene chemometrische Ansätze verwendet, die zum einen auf Rohspektren bzw. mathematisch verschiedenartig transformierten Spektren aufbauten. Zum anderen kamen mit der Hauptkomponentenregression (PCR) und der Regression auf Basis der partiellen kleinsten Quadrate (PLS) bzw. der modifizierten partiellen kleinsten Quadrate (MPLS) - drei verschiedene Regressionsverfahren zum Einsatz. Die so entstandene Vielzahl der Schätzmodelle für jedes einzelne Qualitätsmerkmal wurde innerhalb des Probensatzes CAL im Rahmen der Kalibrierung und Kreuzvalidierung (interne Vali-

dierung) anhand der gängigen statistischen Parameter in ihrer Schätzgenauigkeit charakterisiert. In ungetrockneten Proben wurde eine hohe Schätzgenauigkeit für Trockenmasse erreicht. Für die nutritiven Merkmale Rohprotein, Rohfaser, ADF, NDF, Asche, enzymlösliche organische Substanz (ELOS) und den Nettoenergiegehalt (NEL), nicht aber für den Gehalt an wasserlöslichen Kohlenhydraten, ergaben sich innerhalb der Regressionsverfahren tendenziell höhere Schätzfehler in Kalibrierung und Kreuzvalidierung, wenn die NIRS-Messungen an ungetrockneten statt an getrockneten Proben durchgeführt worden waren. Bei den fermentativen Merkmalen pH, Milchsäure, Buttersäure, Essigsäure, Propionsäure, Ethanol und DLG-Punkte hingegen wurden in der Regel tendenziell höhere Schätzgenauigkeiten, d.h. niedrigere Schätzfehler beobachtet, wenn die NIRS-Messungen an ungetrockneten statt an getrockneten Proben erfolgten. Aufgeschlüsselt nach Regressionsverfahren erbrachten die mit PLS- und MPLS-Regression entwickelten Schätzmodelle bei der Mehrzahl der betrachteten nutritiven und fermentativen Qualitätsmerkmale bei Kalibrierung und Kreuzvalidierung niedrigere Schätzfehler als die PCR-Regression.

6. Die unabhängige (externe) Validierung des NIRS-Schätzmodells Trockenmasse in ungetrockneten Proben des Probensatzes VAL ergab eine sehr hohe Schätzgenauigkeit, ausgedrückt durch die Bestimmtheit der Beziehung zwischen Referenzwerten und Schätzwerten ( $R^2_{\text{VAL}} = 0,98$ ), die bei der Schätzung der übrigen Qualitätsparameter aus NIRS-Messungen an ungetrockneten Proben in dieser Höhe auch nicht annähernd erreicht wurde. Während unter den nutritiven Merkmalen mit den besten Schätzmodellen zumindest der Gehalt an wasserlöslichen Kohlenhydraten und die verschiedenen Zellwandfraktionen mit Bestimmtheitsmaßen oberhalb von 0,66 geschätzt werden konnten, galt dies unter den fermentativen Merkmalen nur für den DLG-Index zur Kennzeichnung der Konservierungsqualität. Demgegenüber ergaben die als optimal selektierten NIRS-Schätzmodelle auf Basis getrockneter und vermahlener Proben bei allen nutritiven Merkmalen und mehreren fermentativen Merkmalen eine höhere Bestimmtheit der Beziehung zwischen Referenzwerten und Schätzwerten als die auf Basis ungetrockneter Proben erstellten NIRS-Schätzmodelle.

7. Zusammengekommen erlauben die erzielten Ergebnisse die Schlussfolgerung, dass die hier (für die NIRS-Messungen) herangezogenen hoch absorbierenden, wasserreichen Grassilageproben für die Abschätzung der fermentativen Qualitätsparameter im Gegensatz zu den nutritiven Qualitätsparametern eine geeignetere Probenmatrix für die chemometrische NIRS-Modellierung darstellen, während beide Parametergruppen in getrocknetem Material annähernd gleichsam erfasst werden können.

---

## **7 Summary**

---

1. Undried grass silage samples were analysed without further conditioning by near infrared reflectance spectroscopy in the spectral range from 960 - 1690 nm. Conventional reference methods were used in order to determine the fermentative and nutritive quality parameters and in consequence to build up chemometric models for the determination of the different silage qualities. The objective of this investigation was the use of several statistical criteria for the description and assessment of the prediction accuracy of NIRS-calibrations for the estimation of nutritional and energetic values as well as the preservation quality of undried silage samples in comparison to dried ones.
2. The used grass silages, in particular samples from the spring growth, were produced in the years 2000 to 2004 by German grassland and forage crop farms. The presented study confirmed that the way of crop production and silage technology has a high influence on the variability of the chemical parameters of grass silage. Very early as well as very late harvest times resulted in a wide range of crude fibre content in dry matter (18 – 37%). Due to the selection of the grass silages with a high diversity of wilting levels the dry matter content ranged from 17 to 78 %. The wide spectrum of soil contamination degree, characterised by ash contents from 6 to 24 % in dry matter, may induced by different plant populations, weather conditions and wilting technologies. Differences in the fermentation processes caused pH values between 3,6 and 6,4 as well as contents of lactic acid between 0 and 14 % in dry matter. Consequently the used grass silages represented a collective, which comprised all quality levels between bad and excellent nutritive but not fermentative quality.
3. In this sample collective well known correlations between the fermentative and nutritive quality parameters, which are caused by physiological and technological relations, are described by statistical criteria. For example the cell wall parameters are positive correlated among each other, whereas they are negative correlated to the digestibility of the organic matter (ELOS), to the net energy content for lactation (NEL) as well as to the content of crude protein. Increased wilting levels caused the increasing of dry matter content as well as higher con-

concentrations of water soluble carbohydrates (WSC). Further on here found correlations between fermentation products substantiated published relationship, like the mean correlation between pH values and content of lactic acid as well as butyric acid. The increasing of the butyric acid content of the silage samples was correlated by a higher proteolysis, shown by increased ammonia-nitrogen content in total nitrogen.

4. From the available collective of silages the samples from the harvest years 2000 till 2003 were used to calculate the prediction equations, whereas the samples harvested in 2004 were used for the external independent validation of the developed NIRS-calibrations. The distributions of parameters for calculating the energy were similar in the calibration and validation set, but the range of the fermentative parameters was different. Obviously the lower mean dry matter content of the validation set caused the higher variability and different average content of the fermentative quality parameters.
5. For the development of the calibration equations different chemometric methods were used to transform the original spectra. Further more three different regression algorithms were applied. These were the principal component regression (PCR), partial least squares regression (PLS) as well as a modified PLS (MPLS). The accuracy of resulted calibration equations were described by statistical parameters like standard error of calibration and standard error of crossvalidation. The prediction accuracy for dry matter content was high in undried samples. By the use of undried silage samples instead of dried ones higher prediction errors were obtained for crude protein and crude fibre content, ADF, NDF, ash content, digestibility of the organic matter (ELOS) as well as net energy content for lactation (NEL) but not for the water soluble carbohydrates (WSC). However using undried samples the prediction accuracy was tendentially higher for the fermentative parameters pH values, lactic acid, butyric acid, propionic acid, ethanol and DLG-points. From the three different regression algorithms the calibration equations calculated by PLS and MPLS instead of PCR resulted in lower estimation errors in calibration and crossvalidation for the most of the nutritive and fermentative quality parameters.

6. The independent external validation of the calibration equation for dry matter content in undried silage samples resulted a high prediction accuracy expressed as coefficient of determination  $R^2_{VAL} = 0,98$ . For the determination of all other quality parameters in undried silage much lower values were obtained. From the nutritive parameters only the water soluble carbohydrates and cell wall parameters and from the fermentative parameters only the DLG-points as description of the preservation quality were estimated with determination coefficients higher than 0,66. In general the NIRS-calibrations build up with dried and ground samples instead of undried ones resulted always in higher coefficients of determination.
7. In summary the investigation showed that the undried, high absorbing grass silage samples were more suitable for the prediction of fermentative instead of the nutritive quality parameters, whereas the use of dried samples resulted in similar accuracy for both parameter groups.



---

## **8 Literatur**

---

Abrams, S. M.; Shenk, J. S. und Harpster, H. W. (1988): Potential of near infrared reflectance spectroscopy for analysis of silage composition. In: *Journal of Dairy Science*, Jg. 71, S. 1955–1959.

Anonymous (2001): Jahresbericht, Bayerische Landesanstalt für Tierzucht GRUB, ISSN 0408-6929

Anonymous (2003): LfL-Jahresbericht 2003 - Institut für Tierernährung und Futterwirtschaft. [http://www.lfl.bayern.de/publikationen/ite/jahresbericht/07183/linkurl\\_0\\_0.pdf](http://www.lfl.bayern.de/publikationen/ite/jahresbericht/07183/linkurl_0_0.pdf) (06.12.2007)

Anonymous, 2004: Grobfutterbewertung Teil A: DLG - Schlüssel zur Bewertung von Grünfutter, Silage und Heu mit Hilfe der Sinnebewertung. In: *DLG-Information* 1/2004.

Barnes, R. J.; Dhanoa, M. S. und Lister, S. J. (1989): Standard normal variate transformation and de-trending of near-infrared diffuse reflectance spectra. In: *Applied Spectroscopy*, Jg. 43, H. 5, S. 772–777.

Bertrand, D. (2000): Instrumentation. In: Editions Tec&Doc (Hrsg.): *La spectroscopie infrarouge et ses applications analytiques*. Paris (Science & techniques agroalimentaires), S. 213–258.

Bertrand, D. (2006): *La spectroscopie infrarouge et ses applications analytiques*. Editions Tec&Doc (Hrsg.), 2. Auflage

Canale, A.; Valente, M. E. und Ciotti, A. (1984): Determination of volatile carboxylic acids (C1-C5) and lactic acid in aqueous extracts of silage by high performance liquid chromatography. In: *J.Sci.Food Agric.*, H. 35, S. 1178–1182.

Castro, P.; Cardelle, M. und Varela-Novoa, C. (2002a): Fermentation quality of herbage silages by NIRS: dried or undried samples? In: Durand, J.-L., Emile, J.-C., Huyghe, C., Lemaire, G. (eds) *Organizing Committee of the 19th General Meeting of the European Grassland Federation*. Association Française pour la Production Fourragère (AFPF), S. 188-189.

Castro, P.; Flores, G.; Gonzales-Arráez, A. und Castro, J. (2002b): Nutritive quality of herbage silages by NIRS: dried or undried samples? In: Durand, J.-L., Emile, J.-C., Huyghe, C., Lemaire, G. (eds) *Organizing Committee of the 19th General Meeting of the European Grassland Federation*. Association Française pour la Production Fourragère (AFPF), S. 190-191.

Chauchard, F.; Roger, J. M. und Bellon-Maurel, V. (2004): Correction of the temperature effect on near infrared calibration - application to soluble solid content prediction. In: *Journal of Near Infrared Spectroscopy*, Jg. 12, H. 3, S. 199–205.

Cherney, J.H.; Robinson, D.L.; Kappel, L.C., Hembry, F.G. und Ingraham, R.H. (1983): Soil contamination and elemental concentrations of forages in relation to grass tetany. In: *Agron.J.* H.75, S.447-451.

Cozzolino, D. und Labandera, M. (2002): Determination of dry matter and crude protein contents of undried forages by near-infrared reflectance spectroscopy. In: *Journal of the Science of Food and Agriculture*, Jg. 82, H. 4, S. 380–384.

Danzer, K.; Hobert, H.; Fischbacher, C. und Jagemann, K.-U. (2001). In: *Chemometrik. Grundlagen und Anwendungen*. Berlin: Springer.

- Dardenne, P., Agneessens, R. und Sinnaeve, G. (1996): Fresh forage analysis by near infrared spectroscopy. In: Near Infrared Spectroscopy: The Future Waves A.M.C.Davies and Phil Williams (Hrsg.) NIR Publications, S. 531-536.
- De La Roza, B.; Martinez, A.; Modrono, S. und Santos, B. (1996): Determination of the quality of fresh silages by near infrared reflectance spectroscopy. In: Near Infrared Spectroscopy: The Future Waves A.M.C. Davies and Phil Williams (Hrsg.) NIR Publications, S. 537-541.
- Deriaz, R. E. (1961): Routine analysis of carbohydrates and lignin in herbage. In: J.Sci.Food Agric., Jg. 12, S. 152-160.
- Dietrich, F. (2002): Besprechung mit Herrn Sommer, AGFuKo und Herrn Paul, Persönliche Mitteilung.
- Dietrich, F.; Pahlow, G. und Paul, C. (2002): Application of an electronic nose for the classification of grass silages. In: 13. International Silage Conference, Auchincruive, Großbritannien, 11.-13.09.2002.
- Duponchel, L. (1997): Validation par les méthodes chimiométriques d'un analyseur spectrométrique de lait travaillant dans le proche infrarouge. Transfert de calibration en vue de développements industriels. Dissertation Lille.
- Egert, M. (2003): Vortragsveranstaltung am 09.-10.04.2003. Beratertagung « Futterkonservierung » in Oldenburg.
- Engling, F.P. (2005): Erfahrungen in der Anwendung – Aus der Sicht der Analytik. In.: Wissenschaftliches Symposium Strukturbewertung der Futtermittel beim Rind, 27.April 2005 im Institut der Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn.
- Fearn, T. (1992): Flat or natural? A note on the choice of calibration samples. In: Hildrum, K.I.; Isaksson T.; Naes, T.; Tandberg, A. (Hrsg.). In: Near infra-red spectroscopy. Bridging the gap between data analysis and NIR applications (Ellis Horwood series in analytical chemistry), S. 61-66.
- Gibaud, H.; Paul, C. und Greef, J.M. (2004): Einsatz von einem hochauflösenden NIR-Spektrometer zur schnellen Qualitätsbeurteilung von Grassilage. In: 47. Jahrestagung vom 21. bis 23. September 2004 in Braunschweig: Effizienter Pflanzenbau für Nahrung und Rohstoffe im 21. Jahrhundert; Kurzfassungen der Vorträge und Poster. Mitteilungen der Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften, 16: 223-224.
- Geladi, P.; McDougall, D. und Martens, H. (1985): Linearization and scatter-correction for near-infrared reflectance spectra of meat. In: Applied Spectroscopy, Jg. 39, S. 491-500.
- Gordon, F. J.; Cooper, K. M.; Park, R. S. und Steen, R. W. J. (1998): The prediction of intake potential and organic matter digestibility of grass silages by near infrared spectroscopy analysis of undried samples. In: Animal Feed Science and Technology, Jg. 70, H. 4, S. 339-351.
- Griggs, T. C.; Lobos, K. B. und Kingery, P. E. (1999): Digestibility analysis of undried, unground, and dry ground herbage by near-infrared reflectance spectroscopy. In: Crop Science, Jg. 39, H. 4, S. 1164-1170.
- Haaland, D. M. und Thomas, E. V. (1988): Partial Least-Squares Methods for Spectral Analyses 2. Application to Simulated and Glass Spectral Data. In: Analytical Chemistry, Jg. 60, H. 11, S. 1202-1208.

Hruschka, W. R. (1987): Data Analysis: Wavelength Selection Methods. In: Williams, P.; Norris, K. H. (Hrsg.): Near-Infrared Technology in the agricultural and Food Industries: American Association of Cereal Chemists Inc., 3340 Pilot Knob Road, St. Paul, Minnesota 55121, USA, S. 35–55.

Isaksson, T. und Naes, T. (1990): Selection of samples for calibration in near-infrared spectroscopy. Part II: Selection based on spectral measurements. In: Applied Spectroscopy, Jg. 44, Ausgabe 7, 1990, S. 1152–1158.

Jarrige, R.; Grenet, E.; Demarquilly, C. und Besle, J.-M. (1995): Les constituants de l'appareil végétatif des plantes fourragères. In: Jarrige, R.; Ruckebusch, Y.; Demarquilly, C.; Farce, M.-H.; Journet, M. (Hrsg.): Nutrition des ruminants domestiques - ingestion et digestion. Paris: INRA Editions (Mieux comprendre), S. 25–81.

Kennedy, C.A., Williams, P. und Williams, P.C. (1996): Near infrared spectroscopic analysis of intact grass silage and fresh grass for dry matter, crude protein and acid detergent fiber. In: Near Infrared Spectroscopy: The Future Waves A.M.C.Davies and Phil Williams (eds) NIR Publications, S. 524-530.

Kohler, A.; Kirschner, C.; Oust, A. und Martens, H. (2005): Extended Multiplicative Signal Correction as a Tool for Separation and Characterization of Physical and Chemical Information in Fourier Transform Infrared Microscopy Images of Cryo-sections of Beef Loin. In: Applied Spectroscopy, Jg. 59, H. 6, S. 707–716.

Kung, L. und Shaver, R. (2001): Interpretation and Use of Silage Fermentation Analysis Reports. In: Focus on Forage, Jg. 3, Ausgabe 13, 2001, S. 1–5.

Laws, W. und Oldenburg, E. (1993): Zuckergehalte von Wintergerste und Mais - 2. Mitteilung: Methodenvergleich HPLC/Anthron. In: Landbauforschung Völkenrode, Jg. 43 (2-3), S. 60–63.

Lherm, M. und Benoit, M. (2003): L'autonomie de l'alimentation des systèmes d'élevage allaitant: évaluation et impacts économiques. In: Fourrages, Jg. 176, S. 411–424.

Lindgren, S.; Pettersson, K.; Kaspersson, A.; Jonsson, A. und Lingvall, P. (1985): Microbial Dynamics During Aerobic Deterioration of Silages. In: J.Sci.Food Agric., Jg. 36, S. 765–774.

Mac Rae, J. C. (1970): Changes in chemical composition of freeze-stored herbage, N.Z. Jl agric. Res. Jg. 13, S. 45–50.

Malkomesius, P.K. und Nehring, K. (1951): Die Untersuchung von Futtermitteln. In: Methodenbuch Band III, Radebeul.

Mark, H. (1991): Principles and Practice of Spectroscopic Calibration. New York: Wiley & Sons.

Martens, H. und Naes, T. (1989): Multivariate Calibration. Chichester England: John Wiley & Sons.

Merry, R. J.; Jones, R. und Theodorou, M. K. (2000): The conservation of Grass. In: Hopkins, A. (Hrsg.): Grass. Its production & utilisation. Oxford: Blackwell Science Ltd, S. 196–228.

Montes, J.; Paul, C.; Kusterer, B. und Melchinger, A. (2006): Near infrared spectroscopy to measure maize grain composition on plot combine harvesters. In: Evaluation of calibration techniques, mathematical transformations and scatter corrections, Jg. 14, S. 387–394.

- Morris, H. W.; Fisher, S. P.; Newbold, J. R.; Wilson, S.; Ashby, C. W. und Reece, M. N. (1994): Analysis of undried grass silage by near-infrared spectroscopy. In: *Animal Production*, Jg. 58, S. 457.
- Moschner, C. R. (2007): Methodische Untersuchungen zum Einsatz der Nahinfrarot-Spektroskopie (NIRS) zur Qualitätsbeurteilung von High-Oleic-Sonnenblumen. Dissertation. Göttingen. <http://webdoc.sub.gwdg.de/diss/2007/moschner/> (09.12.2007)
- Murray, I. (1993): Forage analysis by near infra-red spectroscopy. In: Davies, A.; Baker, J.E.; Grant; Laidlaw (Hrsg.): *Sward measurement handbook*, 2nd edition: British Grassland Soc., S. 285–312.
- Naes, T.; Isaksson T. und Kowalski, B. (1990): Locally Weighted Regression and Scatter Correction for Near-Infrared Reflectance Data. In: *Analytical Chemistry*, Jg. 62, H. 7, S. 664–673.
- Nehring K. (1960): *Agrikulturchemische Untersuchungsmethoden für Dünge- und Futtermittel, Böden und Milch*. Hamburg: Paul Parey Verlag.
- Norris, K. H.; Barnes, R. F.; Moore, J. E. und Shenk, J. S. (1976): Predicting forage quality by infrared reflectance spectroscopy. In: *Journal of Animal Science*, Jg. 43, H. 4, S. 889–897.
- Norris, K. H. und Williams, P. C. (1984): Optimisation of mathematical treatment of raw near infrared signal in the measurement of protein in hard red spring wheat I. Influence of particle size. In: *Cereal Chemistry*, Jg. 61, S. 158–165.
- Offer, N. W.; Percival, D. S.; Deaville, E. R. und Piotrowski, C. (1996): The potential for advisory silage analysis to be carried out entirely by Near Infra-Red Reflectance Spectroscopy (NIRS). Aberystwyth: Proceedings 11th International Silage Conference. S. 68-69
- Osborne, B. G. (2000): Recent developments in NIR analysis of grains and grain products. In: *Cereal Foods World*, Jg. 45, H. 1, S. 11–15.
- Osborne, B. G. und Fearn, T. (1986): *Near infrared spectroscopy in food analysis*. Unter Mitarbeit von J. Wiley. New York: Longman Scientific & Technical.
- Osborne, S.D.; Künnemeyer, R. und Jordan, R.B. (1999): A low-cost system for the grading of kiwifruit. In: *J. Near Infrared spectrsc.* H.7, S. 9-15.
- Paccard, P.; Capitain, M. und Farruggia, A. (2003): Autonomie alimentaire et bilans minéraux des élevages bovins laitiers selon les systèmes de production. In: *Fourrages*, Jg. 174, S. 243–257.
- Park, R. S.; Agnew, R. E.; Gordon, F. J. und Steen, R. W. J. (1998): The use of near infrared reflectance spectroscopy (NIRS) on undried samples of grass silage to predict chemical composition and digestibility parameters. In: *Animal Feed Science and Technology*, Jg. 72, H. 1-2, S. 155–167.
- Park, R. S.; Agnew, R. E.; Gordon, F. J. und Barnes, R. J. (1999): The development and transfer of undried grass silage calibrations between near infrared reflectance spectroscopy instruments. In: *Animal Feed Science and Technology*, Jg. 78, H. 3-4, S. 325–340.
- Park, R. S.; Agnew, R. E. und Kilpatrick, D. J. (2002): The effect of freezing and thawing on grass silage quality predictions based on near infrared reflectance spectroscopy. In: *Animal Feed Science and Technology*, Jg. 102, H. 1-4, S. 151–167.
- Park, R. S.; Gordon, F. J.; Agnew, R. E.; Barnes, R. J. und Steen, R. W. J. (1997): The use of Near Infrared Reflectance Spectroscopy on dried samples to predict biological

- parameters of grass silage. In: *Animal Feed Science and Technology*, Jg. 68, H. 3-4, S. 235–246.
- Paul, C. (1988): Effect of soil contamination on NIRS analysis of grass silage. In: *Analytical applications of spectroscopy*. Creaser, C.S.; Davies, A.M.C. (Hrsg.). London: Royal Soc. Chemistry, S. 72–78.
- Paul, C.; Sommer, M. und von Borstel, U. (1999): Near Infrared Transmission Study for Fresh Grass Silage Analysis. Uppsala Sweden: The XIIth International Silage Conference, S. 226-227.
- Paul, C.; Dietrich, F. und Rode, M. (2002): Influence of sample temperature on the assessment of quality characteristics in undried forages by near infrared spectroscopy (NIRS). In: *Landbauforschung Volkenrode*, Jg. 52, H. 4, S. 229–237.
- Reeves, J. B. (2004): Effect of water and physical state on near- and mid-infrared partial least squares calibrations for multicomponent carbohydrate mixtures. In: *Journal of Near Infrared Spectroscopy*, Jg. 12, H. 4, S. 241–249.
- Reeves, J. B. und Blosser, T. H. (1991): Near Infrared Spectroscopic Analysis of Undried Silages as Influenced by Sample Grind, Presentation Method, and Spectral Region. In: *Journal of Dairy Science*, Jg. 74, S. 882–895.
- Reeves, J. B.; Blosser, T. H. und Colenbrander, V. F. (1989): Near infrared reflectance spectroscopy for analyzing undried silage. In: *Journal of Dairy Science*, Jg. 72, S. 79–88.
- Shenk, J. S. (Hrsg.) (1993): Analysis of undried, unground forage with a visible-near-infrared monochromator. In: *Proceedings of the XVII. International Grassland Congress 1993*.
- Shenk, J. S. und Westerhaus, M. O. (1991): Population structuring of near infrared spectra and modified partial least squares regression. In: *Crop Science*, Jg. 31, S. 1548–1555.
- Shenk, J.S. und Westerhaus, M.O. (1995): Forage analysis by near infrared spectroscopy. In Barnes et al. (ed.) *Forages*. Vol. II. The science of grassland agriculture. 5th ed. Iowa State University Press, Ames, IA. S. 111–120
- Siegfried, R.; Rückemann, H. und Stumpf, G. (1984): Eine HPLC-Methode zur Bestimmung organischer Säuren in Silagen. In: *Landwirtschaftliche Forschung*, Jg. 37, H. 3-4, S. 298–304.
- Sinnaeve, G.; Dardenne, P. und Agneessens, R. (1994a): Global or local? A choice for NIR calibrations in analyses of forage quality. In: *J. Near Infrared Spectroscopy*, Jg. 2, 1994, S. 163–175.
- Sinnaeve, G.; Dardenne, P.; Agneessens, R. und Biston, R. (1994b): The use of near infrared spectroscopy for the analysis of fresh grass silage. In: *J. Near Infrared Spectroscopy*, Jg. 2, S. 79–84.
- Smith, A. L. (1979): *Applied infrared spectroscopy: fundamentals, techniques and analytical problem-solving*. New York: John Wiley&Sons (Chemical analysis).
- Snyman, L. D. und Joubert, H. W. (1992): Near-infrared reflectance analysis of the fermentation characteristics of silage prepared by chemical treatment to prevent volatilization of fermentation end-products. In: *Animal Feed Science and Technology*, Jg. 37, H. 1-2, S. 47–58.

- Sommer, M. (2004): Zahlen zur Grassilageproduktion im Gebiet der Landwirtschaftskammer Hannover. Persönliche Mitteilung.
- Sørensen, L. K. (2004): Prediction of Fermentation Parameters in Grass and Corn Silage by Near Infrared Spectroscopy. In: *Journal of Dairy Science*, Jg. 87, H. 11, S. 3826–3835.
- Spiekers, H. (2004): Jahresbericht 2004, Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL), Institut für Tierernährung und Futterwirtschaft
- Spiekers, H. (2006): Grundlagen - Einleitung und Zielgrößen. In: Bundesarbeitskreis Futterkonservierung (eds) *Praxishandbuch Futterkonservierung - Silagebereitung - Siliermittel - Dosiergeräte - Silofolien*. Frankfurt / Main. DLG Verlag, Kap.:1.1; 7-10
- Stoll, W. und Jans, F. (2000): Unterschiedliche Anwelkgrade von Grassilagen beim Milchvieh. In: *AgrarForschung*, Jg. 7, S. 176–180.
- Stuth, J.; Jama, A. und Tolleson, D. (2003): Direct and indirect means of predicting forage quality through near infrared reflectance spectroscopy. In: *Field Crops Research*, Jg. 84, H. 1-2, S. 45–56.
- Tillmann, P. (1996): Kalibrationsentwicklung für NIRS-Geräte. Eine Einführung. Göttingen: Cuvillier.
- Tukey, J. W. (1977): *Exploratory data analysis*. Reading, MA: Addison-Wesley.
- Van Soest, P. J. (1966): Nonnutritive residues: A system of analyses for the replacement of crude fibre, In: *Journal of the A.O.A.C.: Proc. Seventy-ninth Annual Meeting assoc. of Official Agr. Chem.*, Jg. 49, H. 3, S. 546–551.
- VDLUFA Methodenbuch Band III (1983/88/93/97): Die chemische Untersuchung von Futtermitteln. Verband Deutscher Landwirtschaftlicher Untersuchungs- Und Forschungsanstalten (Hrsg.) VDLUFA-Verlag, Darmstadt
- Veauthier, G. (2002): Diese Silierfehler kosten Sie viel Milch! In: *Topagrar*, Jg. 4, 2002.
- Walter, K.; Bockisch, F.J.; Ohrtmann, J. und Thomsen, J. (2005): Entwicklung der Milchleistung, des Kraftfutareinsatzes und der Grundfutterqualität. In: *Landbauforschung Völkenrode* 2/2005 (55): S. 119-126.
- Weiss, K. (2002): Aktuelle Entwicklungen in der Silagebewertung. In: 8. Alpenländisches Expertenforum, 9.-10. April 2002, Bundesanstalt für alpenländische Landwirtschaft Gumpenstein (eds). S. 51-56
- Weißbach, F. und Honig, H. (1997): DLG-Schlüssel zur Beurteilung der Gärqualität von Grünfuttersilagen auf der Basis der chemischen Untersuchung. In: *DLG - Ausschuss für Futterkonservierung* (Hrsg.) Frankfurt am Main: S. 1-6.
- Weißbach, F. und Kuhla, S. (1995): Stoffverluste bei der Bestimmung des Trockenmassegehaltes von Silagen und Grünfütter: Entstehende Fehler und Möglichkeiten der Korrektur. In: *Übersichten zur Tierernährung* DLG-Verlag, Jg. 23, S. 189–214.
- Weißbach, F.; Kuhla, S. und Schmidt, L. (1996a): Schätzung der umsetzbaren Energie von Grundfutter mittels einer Cellulase-Methode. In: *Giesecke, D.* (Hrsg.) DLG, S. 115.
- Weißbach, F.; Schmidt, L. und Kuhla, S. (1996b): Vereinfachtes Verfahren zur Berechnung der NEL aus der umsetzbaren Energie. In: *Giesecke, D.* (Hrsg.) DLG, S. 117.
- Westerhaus, M. O. (1990): Improving repeatability of NIR calibrations across instruments. *Biston, R. und Bartiaux-Thill, N.* Agricultural Research Centre Publishing, S. 671-674.

- Wiedner, G. (2002): Silagequalität in der Praxis. In: 8. Alpenländisches Expertenforum, 9.-10. April 2002, Bundesanstalt für alpenländische Landwirtschaft Gumpenstein (Hrsg.) S. 57-62.
- Wilkinson, J. M. und Toivonen, M. I. (2003): Germany. In: Chalcombe publications (Hrsg.): World Silage, Kap. 14, S. 79–85.
- Williams, P. (2001): Implementation of Near-Infrared Technology. In: Near-infrared technology in the agricultural and food industries. Williams, P.; Norris, K.H. (Hrsg.). St. Paul, Minn.: American Association of Cereal Chemists. S. 145-170
- Williams, P. C. und Norris, K.H. (2001): Variables Affecting Near-Infrared Spectroscopic Analysis. Williams, P.; Norris, K.H. (Hrsg.). St. Paul, Minn.: American Association of Cereal Chemists.
- Williams, P. und Sobering, D. (1996): How do we do it: a brief summary of the methods we use in developing near infrared calibrations. In: Davies, A.M.C., Williams, P. (eds) Near Infrared Spectroscopy: The Future Waves. Chichester, UK: S. 185-188
- Workman, J. (1992): NIR spectroscopy calibration basics. In: Burns, D.; Ciurczak, E. (Hrsg.): Handbook of Near-Infrared Analysis. Dekker, New York.
- Zimmer, E. (1988): Bessere Silagequalitäten - Eine Herausforderung. In: Landwirtschaftsblatt Weser-Ems, Jg. 1988, Ausgabe 135 (16/17), S. 6-8, 15-17.



---

## 9 Anhang

---

## VERZEICHNIS DER ANHANGSTABELLEN

Tabelle 22	Kalibrations- und Kreuzvalidationsergebnisse für ungetrocknete (UG) Grassilageproben zur Schätzung des Trockenmassegehaltes in %FM.....	107
Tabelle 23	Kalibrationsergebnisse für ungetrocknete (UG) und getrocknete (GG) Grassilageproben zur Schätzung des Rohproteingehaltes in %TM .....	108
Tabelle 24	Kreuzvalidationsergebnisse für ungetrocknete (UG) und getrocknete (GG) Grassilageproben zur Schätzung des Rohproteingehaltes in %TM.....	109
Tabelle 25	Kalibrationsergebnisse für ungetrocknete (UG) und getrocknete (GG) Grassilageproben zur Schätzung des WSC-Gehaltes in %TM.....	110
Tabelle 26	Kreuzvalidationsergebnisse für ungetrocknete (UG) und getrocknete (GG) Grassilageproben zur Schätzung des WSC-Gehaltes in %TM .....	111
Tabelle 27	Kalibrationsergebnisse für ungetrocknete (UG) und getrocknete (GG) Grassilageproben zur Schätzung des Rohfasergehaltes in %TM.....	112
Tabelle 28	Kreuzvalidationsergebnisse für ungetrocknete (UG) und getrocknete (GG) Grassilageproben zur Schätzung des Rohfasergehaltes in %TM.....	113
Tabelle 29	Kalibrationsergebnisse für ungetrocknete (UG) und getrocknete (GG) Grassilageproben zur Schätzung des ADF-Gehaltes in %TM .....	114
Tabelle 30	Kreuzvalidationsergebnisse für ungetrocknete (UG) und getrocknete (GG) Grassilageproben zur Schätzung des ADF-Gehaltes in %TM.....	115
Tabelle 31	Kalibrationsergebnisse für ungetrocknete (UG) und getrocknete (GG) Grassilageproben zur Schätzung des NDF-Gehaltes in %TM .....	116
Tabelle 32	Kreuzvalidationsergebnisse für ungetrocknete (UG) und getrocknete (GG) Grassilageproben zur Schätzung des NDF-Gehaltes in %TM.....	117
Tabelle 33	Kalibrationsergebnisse für ungetrocknete (UG) und getrocknete (GG) Grassilageproben zur Schätzung des ELOS-Gehaltes in %TM .....	118
Tabelle 34	Kreuzvalidationsergebnisse für ungetrocknete (UG) und getrocknete (GG) Grassilageproben zur Schätzung des ELOS-Gehaltes in %TM.....	119
Tabelle 35	Kalibrationsergebnisse für ungetrocknete (UG) und getrocknete (GG) Grassilageproben zur Schätzung des Aschegehaltes in %TM .....	120
Tabelle 36	Kreuzvalidationsergebnisse für ungetrocknete (UG) und getrocknete (GG) Grassilageproben zur Schätzung des Aschegehaltes in %TM.....	121
Tabelle 37	Kalibrationsergebnisse für ungetrocknete (UG) und getrocknete (GG) Grassilageproben zur Schätzung des NEL-Gehaltes in MJ.....	122
Tabelle 38	Kreuzvalidationsergebnisse für ungetrocknete (UG) und getrocknete (GG) Grassilageproben zur Schätzung des NEL-Gehaltes in MJ .....	123
Tabelle 39	Kalibrationsergebnisse für ungetrocknete (UG) und getrocknete (GG) Grassilageproben zur Schätzung des pH-Wertes.....	124

Tabelle 40	Kreuzvalidationsergebnisse für ungetrocknete (UG) und getrocknete (GG) Grassilageproben zur Schätzung des pH-Wertes .....	125
Tabelle 41	Kalibrationsergebnisse für ungetrocknete (UG) und getrocknete (GG) Grassilageproben zur Schätzung des NH <sub>3</sub> -N-Gehaltes in %TM .....	126
Tabelle 42	Kreuzvalidationsergebnisse für ungetrocknete (UG) und getrocknete (GG) Grassilageproben zur Schätzung des NH <sub>3</sub> -N-Gehaltes in %TM .....	127
Tabelle 43	Kalibrationsergebnisse für ungetrocknete (UG) und getrocknete (GG) Grassilageproben zur Schätzung des Milchsäuregehaltes in %TM .....	128
Tabelle 44	Kreuzvalidationsergebnisse für ungetrocknete (UG) und getrocknete (GG) Grassilageproben zur Schätzung des Milchsäuregehaltes in %TM .....	129
Tabelle 45	Kalibrationsergebnisse für ungetrocknete (UG) und getrocknete (GG) Grassilageproben zur Schätzung des Buttersäuregehaltes in %TM .....	130
Tabelle 46	Kreuzvalidationsergebnisse für ungetrocknete (UG) und getrocknete (GG) Grassilageproben zur Schätzung des Buttersäuregehaltes in %TM .....	131
Tabelle 47	Kalibrationsergebnisse für ungetrocknete (UG) und getrocknete (GG) Grassilageproben zur Schätzung des Essigsäuregehaltes in %TM .....	132
Tabelle 48	Kreuzvalidationsergebnisse für ungetrocknete (UG) und getrocknete (GG) Grassilageproben zur Schätzung des Essigsäuregehaltes in %TM .....	133
Tabelle 49	Kalibrationsergebnisse für ungetrocknete (UG) und getrocknete (GG) Grassilageproben zur Schätzung des Ethanolgehaltes in %TM .....	134
Tabelle 50	Kreuzvalidationsergebnisse für ungetrocknete (UG) und getrocknete (GG) Grassilageproben zur Schätzung des Ethanolgehaltes in %TM .....	135
Tabelle 51	Kalibrationsergebnisse für ungetrocknete (UG) und getrocknete (GG) Grassilageproben zur Schätzung des Propionsäuregehaltes in %TM .....	136
Tabelle 52	Kreuzvalidationsergebnisse für ungetrocknete (UG) und getrocknete (GG) Grassilageproben zur Schätzung des Propionsäuregehaltes in %TM .....	137
Tabelle 53	Kalibrationsergebnisse für ungetrocknete (UG) und getrocknete (GG) Grassilageproben zur Schätzung der DLG-Punkte .....	138
Tabelle 54	Kreuzvalidationsergebnisse für ungetrocknete (UG) und getrocknete (GG) Grassilageproben zur Schätzung der DLG-Punkte .....	139
Tabelle 55	Validationsergebnisse für ungetrocknete Grassilageproben zur Schätzung der Trockenmasse (% FM) .....	140
Tabelle 56	Validationsergebnisse für ungetrocknete (UG) und getrocknete (GG) Grassilageproben zur Schätzung des Rohproteingehaltes (% TM) .....	141
Tabelle 57	Validationsergebnisse für ungetrocknete (UG) und getrocknete (GG) Grassilageproben zur Schätzung des WSC-Gehaltes (% TM) .....	142
Tabelle 58	Validationsergebnisse für ungetrocknete (UG) und getrocknete (GG) Grassilageproben zur Schätzung des Rohfasergehaltes (% TM) .....	143

Tabelle 59	Validationsergebnisse für ungetrocknete (UG) und getrocknete (GG) Grassilageproben zur Schätzung des ADF-Gehaltes (% TM).....	144
Tabelle 60	Validationsergebnisse für ungetrocknete (UG) und getrocknete (GG) Grassilageproben zur Schätzung des NDF-Gehaltes (% TM).....	145
Tabelle 61	Validationsergebnisse für ungetrocknete (UG) und getrocknete (GG) Grassilageproben zur Schätzung der Verdaulichkeit (ELOS) (% TM).....	146
Tabelle 62	Validationsergebnisse für ungetrocknete (UG) und getrocknete (GG) Grassilageproben zur Schätzung des Aschegehaltes (% TM).....	147
Tabelle 63	Validationsergebnisse für ungetrocknete (UG) und getrocknete (GG) Grassilageproben zur Schätzung des Energiegehaltes (MJ).....	148
Tabelle 64	Validationsergebnisse für ungetrocknete (UG) und getrocknete (GG) Grassilageproben zur Schätzung des pH-Wertes.....	149
Tabelle 65	Validationsergebnisse für ungetrocknete (UG) und getrocknete (GG) Grassilageproben zur Schätzung des NH <sub>3</sub> -N-Gehaltes (% TN) .....	150
Tabelle 66	Validationsergebnisse für ungetrocknete (UG) und getrocknete (GG) Grassilageproben zur Schätzung des Milchsäuregehaltes (% TM).....	151
Tabelle 67	Validationsergebnisse für ungetrocknete (UG) und getrocknete (GG) Grassilageproben zur Schätzung des Buttersäuregehaltes (% TM).....	152
Tabelle 68	Validationsergebnisse für ungetrocknete (UG) und getrocknete (GG) Grassilageproben zur Schätzung des Essigsäuregehaltes (% TM).....	153
Tabelle 69	Validationsergebnisse für ungetrocknete (UG) und getrocknete (GG) Grassilageproben zur Schätzung des Propionsäuregehaltes (% TM).....	154
Tabelle 70	Validationsergebnisse für ungetrocknete (UG) und getrocknete (GG) Grassilageproben zur Schätzung des Ethanolgehaltes (% TM) .....	155
Tabelle 71	Validationsergebnisse für ungetrocknete (UG) und getrocknete (GG) Grassilageproben zur Schätzung der DLG-Punkte.....	156

## A.1 Kalibrations- und Kreuzvalidationsergebnisse

**Tabelle 22** Kalibrations- und Kreuzvalidationsergebnisse für ungetrocknete (UG) Grassilageproben zur Schätzung des Trockenmassegehaltes in %FM

Regression	UG									
	Ableitung	Streuungs-korrektur	F	n	$\bar{x}$	SD	SEC	R <sup>2</sup>	SECV	1-VR
PCR	0.0.1	keine	14	165	37,22	8,74	1,41	0,97	1,54	0,97
	0.0.1	SNVD	8	164	36,76	9,00	1,51	0,97	1,60	0,97
	0.0.1	MSC	9	160	36,76	8,71	1,44	0,97	1,52	0,97
	1.6.6	keine	15	161	37,34	9,10	1,18	0,98	1,24	0,98
	1.6.6	SNVD	7	164	36,87	8,91	1,54	0,97	1,60	0,97
	1.6.6	MSC	7	162	36,81	8,67	1,47	0,97	1,50	0,97
	2.12.12	keine	15	165	37,80	8,96	1,03	0,99	1,11	0,98
	2.12.12	SNVD	11	161	36,69	8,75	1,31	0,98	1,45	0,97
	2.12.12	MSC	12	160	36,64	8,73	1,32	0,98	1,43	0,97
	2.24.24	keine	15	165	37,47	8,68	1,52	0,97	1,65	0,96
	2.24.24	SNVD	13	166	36,82	8,81	1,32	0,98	1,45	0,97
	2.24.24	MSC	14	164	36,60	8,61	1,25	0,98	1,36	0,98
PLS	0.0.1	keine	15	168	37,72	9,01	0,88	0,99	1,12	0,98
	0.0.1	SNVD	12	158	36,32	8,35	0,95	0,99	1,15	0,98
	0.0.1	MSC	13	158	36,51	8,58	0,89	0,99	1,05	0,99
	1.6.6	keine	14	168	37,52	9,10	0,84	0,99	1,04	0,99
	1.6.6	SNVD	11	161	36,48	8,48	0,95	0,99	1,15	0,98
	1.6.6	MSC	10	158	36,59	8,61	0,96	0,99	1,09	0,98
	2.12.12	keine	8	159	37,66	9,27	1,03	0,99	1,13	0,99
	2.12.12	SNVD	12	158	36,72	8,59	0,92	0,99	1,28	0,98
	2.12.12	MSC	13	159	36,56	8,60	0,96	0,99	1,14	0,98
	2.24.24	keine	15	162	37,80	9,04	1,01	0,99	1,14	0,98
	2.24.24	SNVD	8	165	36,65	8,66	1,21	0,98	1,34	0,98
	2.24.24	MSC	9	163	36,44	8,46	1,17	0,98	1,33	0,98
MPLS	0.0.1	keine	13	164	37,71	9,00	0,93	0,99	1,10	0,99
	0.0.1	SNVD	13	162	36,40	8,48	0,90	0,99	1,16	0,98
	0.0.1	MSC	14	164	36,57	8,53	0,90	0,99	1,11	0,98
	1.6.6	keine	13	161	37,46	9,17	0,87	0,99	1,06	0,99
	1.6.6	SNVD	7	158	36,74	8,77	0,98	0,99	1,21	0,98
	1.6.6	MSC	8	154	36,52	8,56	0,96	0,99	1,14	0,98
	2.12.12	keine	8	154	37,97	9,15	0,97	0,99	1,15	0,98
	2.12.12	SNVD	7	162	36,94	8,89	1,03	0,99	1,18	0,98
	2.12.12	MSC	9	163	37,02	8,93	1,00	0,99	1,12	0,98
	2.24.24	keine	13	168	37,72	8,99	1,15	0,98	1,29	0,98
	2.24.24	SNVD	9	163	36,67	8,47	1,19	0,98	1,33	0,98
	2.24.24	MSC	12	162	36,46	8,54	1,16	0,98	1,31	0,98

F: Anzahl der Regressionsfaktoren

**Tabelle 23 Kalibrierungsergebnisse für ungetrocknete (UG) und getrocknete (GG) Grassilageproben zur Schätzung des Rohproteingehaltes in %TM**

Regression				UG					GG					
	Ableitung	Streuungs-korrektur	F	n	$\bar{x}$	SD	SEC	R <sup>2</sup>	F	n	$\bar{x}$	SD	SEC	R <sup>2</sup>
PCR	0.0.1	keine	12	165	16,76	2,83	2,06	0,47	14	172	16,80	2,86	1,42	0,75
	0.0.1	SNVD	9	162	16,78	2,83	1,99	0,50	14	171	16,97	2,88	1,33	0,79
	0.0.1	MSC	10	164	16,87	2,85	1,99	0,51	14	173	16,89	2,90	1,31	0,79
	1.6.6	keine	15	167	16,79	2,82	2,05	0,47	13	174	16,91	2,91	1,36	0,78
	1.6.6	SNVD	15	163	16,87	2,82	1,80	0,59	13	170	16,88	2,92	1,27	0,81
	1.6.6	MSC	15	166	16,86	2,84	1,88	0,56	13	170	16,97	2,83	1,29	0,79
	2.12.12	keine	14	167	16,83	2,86	1,65	0,67	14	172	16,90	2,89	1,23	0,82
	2.12.12	SNVD	15	160	16,90	2,81	1,65	0,65	15	172	17,00	2,87	1,25	0,81
	2.12.12	MSC	15	160	16,84	2,79	1,66	0,64	14	171	16,88	2,89	1,23	0,82
	2.24.24	keine	12	167	16,83	2,80	1,50	0,71	10	171	16,85	3,00	1,26	0,82
	2.24.24	SNVD	13	165	16,91	2,89	1,52	0,72	12	169	16,96	2,85	1,22	0,82
	2.24.24	MSC	12	163	16,86	2,79	1,46	0,73	11	171	17,00	2,84	1,28	0,80
PLS	0.0.1	keine	13	170	16,76	2,94	1,43	0,76	15	174	16,76	2,85	1,06	0,86
	0.0.1	SNVD	12	162	16,75	2,89	1,38	0,77	15	172	16,94	2,85	0,89	0,90
	0.0.1	MSC	12	166	16,90	2,97	1,45	0,76	15	170	16,89	2,82	0,97	0,88
	1.6.6	keine	14	171	16,69	2,94	1,29	0,81	14	174	16,80	2,90	0,84	0,92
	1.6.6	SNVD	10	161	16,83	2,80	1,46	0,73	14	167	16,90	2,80	0,73	0,93
	1.6.6	MSC	10	162	16,92	2,96	1,47	0,75	14	171	16,83	2,87	0,89	0,90
	2.12.12	keine	12	164	16,74	2,97	1,32	0,80	14	174	16,80	2,90	0,89	0,91
	2.12.12	SNVD	12	160	16,89	2,92	1,35	0,79	14	171	16,91	2,89	0,79	0,93
	2.12.12	MSC	13	160	16,95	2,81	1,32	0,78	14	173	16,87	2,89	0,90	0,90
	2.24.24	keine	8	168	16,81	2,91	1,47	0,74	7	173	16,84	3,01	1,26	0,83
	2.24.24	SNVD	9	164	16,85	2,86	1,41	0,75	12	171	16,99	2,88	1,10	0,85
	2.24.24	MSC	8	163	16,84	2,71	1,41	0,73	12	172	16,90	2,90	1,15	0,84
MPLS	0.0.1	keine	14	169	16,73	2,89	1,29	0,80	15	174	16,77	2,86	0,88	0,90
	0.0.1	SNVD	13	165	16,80	2,91	1,42	0,76	15	172	16,86	2,85	0,83	0,92
	0.0.1	MSC	12	162	16,95	2,87	1,40	0,76	15	170	16,94	2,84	0,91	0,90
	1.6.6	keine	12	170	16,68	2,95	1,28	0,81	13	175	16,86	2,92	0,83	0,92
	1.6.6	SNVD	8	153	16,87	2,69	1,36	0,75	14	172	16,77	2,87	0,76	0,93
	1.6.6	MSC	7	156	16,85	2,92	1,51	0,73	15	174	16,84	2,90	0,80	0,92
	2.12.12	keine	13	168	16,78	2,99	1,32	0,81	12	175	16,86	2,92	0,92	0,90
	2.12.12	SNVD	6	159	16,82	2,87	1,41	0,76	12	171	16,88	2,84	0,82	0,92
	2.12.12	MSC	7	160	16,81	2,86	1,37	0,77	12	173	16,82	2,92	0,89	0,91
	2.24.24	keine	7	172	16,88	2,92	1,49	0,74	13	171	16,87	2,87	1,14	0,84
	2.24.24	SNVD	10	163	16,86	2,86	1,42	0,75	15	170	16,98	2,83	1,08	0,85
	2.24.24	MSC	7	165	16,95	2,76	1,45	0,72	12	173	16,89	2,90	1,16	0,84

F: Anzahl der Regressionsfaktoren

**Tabelle 24 Kreuzvalidationsergebnisse für ungetrocknete (UG) und getrocknete (GG) Grassilageproben zur Schätzung des Rohproteingehaltes in %TM**

Regression	UG								GG					
	Ableitung	Streuungs-korrektur	F	n	$\bar{x}$	SD	SECY	1-VR	F	n	$\bar{x}$	SD	SECY	1-VR
PCR	0.0.1	keine	12	165	16,76	2,83	2,13	0,43	14	172	16,80	2,86	1,47	0,74
	0.0.1	SNVD	9	162	16,78	2,83	2,06	0,47	14	171	16,97	2,88	1,40	0,76
	0.0.1	MSC	10	164	16,87	2,85	2,06	0,48	14	173	16,89	2,90	1,36	0,78
	1.6.6	keine	15	167	16,79	2,82	2,20	0,39	13	174	16,91	2,91	1,44	0,76
	1.6.6	SNVD	15	163	16,87	2,82	1,92	0,53	13	170	16,88	2,92	1,34	0,79
	1.6.6	MSC	15	166	16,86	2,84	2,00	0,50	13	170	16,97	2,83	1,36	0,77
	2.12.12	keine	14	167	16,83	2,86	1,81	0,60	14	172	16,90	2,89	1,26	0,81
	2.12.12	SNVD	15	160	16,90	2,81	1,75	0,61	15	172	17,00	2,87	1,32	0,79
	2.12.12	MSC	15	160	16,84	2,79	1,77	0,60	14	171	16,88	2,89	1,26	0,81
	2.24.24	keine	12	167	16,83	2,80	1,62	0,66	10	171	16,85	3,00	1,29	0,82
	2.24.24	SNVD	13	165	16,91	2,89	1,64	0,68	12	169	16,96	2,85	1,27	0,80
	2.24.24	MSC	12	163	16,86	2,79	1,58	0,68	11	171	17,00	2,84	1,31	0,79
PLS	0.0.1	keine	13	170	16,76	2,94	1,73	0,66	15	174	16,76	2,85	1,19	0,83
	0.0.1	SNVD	12	162	16,75	2,89	1,61	0,69	15	172	16,94	2,85	1,07	0,86
	0.0.1	MSC	12	166	16,90	2,97	1,71	0,67	15	170	16,89	2,82	1,09	0,85
	1.6.6	keine	14	171	16,69	2,94	1,59	0,71	14	174	16,80	2,90	0,98	0,89
	1.6.6	SNVD	10	161	16,83	2,80	1,70	0,63	14	167	16,90	2,80	0,90	0,90
	1.6.6	MSC	10	162	16,92	2,96	1,74	0,66	14	171	16,83	2,87	1,03	0,87
	2.12.12	keine	12	164	16,74	2,97	1,55	0,73	14	174	16,80	2,90	1,02	0,88
	2.12.12	SNVD	12	160	16,89	2,92	1,63	0,69	14	171	16,91	2,89	0,93	0,90
	2.12.12	MSC	13	160	16,95	2,81	1,62	0,67	14	173	16,87	2,89	1,08	0,86
	2.24.24	keine	8	168	16,81	2,91	1,64	0,68	7	173	16,84	3,01	1,33	0,80
	2.24.24	SNVD	9	164	16,85	2,86	1,56	0,70	12	171	16,99	2,88	1,19	0,83
	2.24.24	MSC	8	163	16,84	2,71	1,55	0,67	12	172	16,90	2,90	1,20	0,83
MPLS	0.0.1	keine	14	169	16,73	2,89	1,58	0,70	15	174	16,77	2,86	1,08	0,86
	0.0.1	SNVD	13	165	16,80	2,91	1,69	0,67	15	172	16,86	2,85	1,04	0,87
	0.0.1	MSC	12	162	16,95	2,87	1,61	0,69	15	170	16,94	2,84	1,07	0,86
	1.6.6	keine	12	170	16,68	2,95	1,56	0,72	13	175	16,86	2,92	1,03	0,88
	1.6.6	SNVD	8	153	16,87	2,69	1,59	0,65	14	172	16,77	2,87	0,88	0,91
	1.6.6	MSC	7	156	16,85	2,92	1,84	0,60	15	174	16,84	2,90	0,96	0,89
	2.12.12	keine	13	168	16,78	2,99	1,63	0,70	12	175	16,86	2,92	1,11	0,86
	2.12.12	SNVD	6	159	16,82	2,87	1,59	0,69	12	171	16,88	2,84	0,94	0,89
	2.12.12	MSC	7	160	16,81	2,86	1,56	0,70	12	173	16,82	2,92	1,05	0,87
	2.24.24	keine	7	172	16,88	2,92	1,66	0,68	13	171	16,87	2,87	1,19	0,83
	2.24.24	SNVD	10	163	16,86	2,86	1,59	0,69	15	170	16,98	2,83	1,19	0,82
	2.24.24	MSC	7	165	16,95	2,76	1,57	0,68	12	173	16,89	2,90	1,20	0,83

F: Anzahl der Regressionsfaktoren

**Tabelle 25 Kalibrierungsergebnisse für ungetrocknete (UG) und getrocknete (GG) Grassilageproben zur Schätzung des WSC-Gehaltes in %TM**

Regression			UG						GG					
	Ableitung	Streuungs-korrektur	F	n	$\bar{x}$	SD	SEC	R <sup>2</sup>	F	n	$\bar{x}$	SD	SEC	R <sup>2</sup>
PCR	0.0.1	keine	15	161	3,7	3,2	1,65	0,74	15	172	3,36	3,26	1,36	0,83
	0.0.1	SNVD	15	160	3,5	3,12	1,50	0,77	15	176	3,43	3,34	1,50	0,80
	0.0.1	MSC	11	155	3,5	3,17	1,64	0,73	13	178	3,39	3,34	1,55	0,78
	1.6.6	keine	13	161	3,5	3,1	1,38	0,80	13	172	3,31	3,27	1,23	0,86
	1.6.6	SNVD	14	155	3,4	3,07	1,39	0,80	15	173	3,4	3,27	1,32	0,84
	1.6.6	MSC	15	153	3,5	3,18	1,47	0,79	15	175	3,31	3,25	1,31	0,84
	2.12.12	keine	13	158	3,4	3,06	1,30	0,82	12	173	3,28	3,23	1,14	0,88
	2.12.12	SNVD	15	155	3,2	2,98	1,19	0,84	14	173	3,35	3,22	1,31	0,83
	2.12.12	MSC	15	152	3,3	3,01	1,15	0,85	11	176	3,42	3,35	1,36	0,83
	2.24.24	keine	15	164	3,6	3,11	1,46	0,78	15	174	3,32	3,28	1,22	0,86
	2.24.24	SNVD	15	155	3,5	3,11	1,29	0,83	13	174	3,47	3,34	1,51	0,80
	2.24.24	MSC	15	155	3,4	3,07	1,34	0,81	13	178	3,39	3,34	1,48	0,80
PLS	0.0.1	keine	13	162	3,6	3,13	1,26	0,84	13	170	3,38	3,3	1,04	0,90
	0.0.1	SNVD	12	157	3,4	3,11	1,14	0,87	10	175	3,36	3,3	1,38	0,82
	0.0.1	MSC	14	156	3,4	3,08	1,10	0,87	13	172	3,23	3,21	1,18	0,86
	1.6.6	keine	8	161	3,7	3,22	1,32	0,83	10	172	3,28	3,27	1,03	0,90
	1.6.6	SNVD	10	155	3,5	3,13	1,12	0,87	9	174	3,33	3,22	1,28	0,84
	1.6.6	MSC	9	156	3,5	3,15	1,19	0,86	10	172	3,23	3,21	1,17	0,87
	2.12.12	keine	11	162	3,6	3,13	1,25	0,84	13	172	3,32	3,27	0,93	0,92
	2.12.12	SNVD	10	154	3,3	3,03	1,11	0,87	13	173	3,24	3,16	1,12	0,87
	2.12.12	MSC	11	153	3,4	3,09	1,12	0,87	7	174	3,3	3,26	1,29	0,84
	2.24.24	keine	11	166	3,6	3,18	1,45	0,79	12	169	3,25	3,24	1,06	0,89
	2.24.24	SNVD	14	157	3,4	3,06	1,21	0,84	10	173	3,41	3,26	1,42	0,81
	2.24.24	MSC	11	154	3,5	3,1	1,24	0,84	11	176	3,3	3,24	1,37	0,82
MPLS	0.0.1	keine	13	162	3,3	3,13	1,26	0,84	13	173	3,32	3,3	1,03	0,90
	0.0.1	SNVD	13	156	3,4	3,11	1,08	0,88	12	173	3,39	3,3	1,29	0,85
	0.0.1	MSC	15	153	3,4	3,08	1,03	0,89	13	173	3,26	3,23	1,20	0,86
	1.6.6	keine	8	158	3,6	3,15	1,24	0,84	11	172	3,3	3,24	0,93	0,92
	1.6.6	SNVD	8	153	3,4	3,08	1,05	0,89	14	172	3,39	3,31	1,01	0,91
	1.6.6	MSC	9	154	3,5	3,19	1,10	0,88	12	171	3,27	3,23	1,09	0,89
	2.12.12	keine	10	155	3,6	3,16	1,16	0,87	7	174	3,3	3,3	1,08	0,89
	2.12.12	SNVD	10	152	3,4	3,06	0,99	0,90	13	174	3,31	3,25	1,13	0,88
	2.12.12	MSC	7	153	3,4	3,09	1,10	0,87	15	175	3,28	3,24	1,06	0,89
	2.24.24	keine	14	166	3,6	3,16	1,42	0,80	12	171	3,35	3,27	1,10	0,89
	2.24.24	SNVD	14	158	3,4	3,08	1,25	0,84	13	172	3,38	3,26	1,34	0,83
	2.24.24	MSC	15	156	3,4	3,06	1,23	0,84	15	170	3,27	3,18	1,22	0,85

F: Anzahl der Regressionsfaktoren



**Tabelle 26 Kreuzvalidationsergebnisse für ungetrocknete (UG) und getrocknete (GG) Grassilageproben zur Schätzung des WSC-Gehaltes in %TM**

Regression	UG								GG					
	Ableitung	Streuungs-korrektur	F	n	$\bar{x}$	SD	SECV	1-VR	F	n	$\bar{x}$	SD	SECV	1-VR
PCR	0.0.1	keine	15	161	3,65	3,20	1,80	0,69	15	172	3,36	3,26	1,56	0,78
	0.0.1	SNVD	15	160	3,47	3,12	1,66	0,72	15	176	3,43	3,34	1,60	0,77
	0.0.1	MSC	11	155	3,52	3,17	1,74	0,70	13	178	3,39	3,34	1,64	0,76
	1.6.6	keine	13	161	3,53	3,10	1,47	0,78	13	172	3,31	3,27	1,29	0,85
	1.6.6	SNVD	14	155	3,37	3,07	1,57	0,74	15	173	3,40	3,27	1,47	0,80
	1.6.6	MSC	15	153	3,48	3,18	1,61	0,74	15	175	3,31	3,25	1,40	0,82
	2.12.12	keine	13	158	3,43	3,06	1,38	0,80	12	173	3,28	3,23	1,23	0,86
	2.12.12	SNVD	15	155	3,24	2,98	1,38	0,79	14	173	3,35	3,22	1,42	0,81
	2.12.12	MSC	15	152	3,28	3,01	1,25	0,83	11	176	3,42	3,35	1,42	0,82
	2.24.24	keine	15	164	3,55	3,11	1,57	0,74	15	174	3,32	3,28	1,34	0,84
	2.24.24	SNVD	15	155	3,45	3,11	1,38	0,80	13	174	3,47	3,34	1,59	0,77
	2.24.24	MSC	15	155	3,40	3,07	1,42	0,79	13	178	3,39	3,34	1,59	0,78
PLS	0.0.1	keine	13	162	3,60	3,13	1,47	0,78	13	170	3,38	3,30	1,25	0,86
	0.0.1	SNVD	12	157	3,44	3,11	1,33	0,82	10	175	3,36	3,30	1,55	0,78
	0.0.1	MSC	14	156	3,43	3,08	1,31	0,82	13	172	3,23	3,21	1,33	0,83
	1.6.6	keine	8	161	3,69	3,22	1,50	0,78	10	172	3,28	3,27	1,21	0,87
	1.6.6	SNVD	10	155	3,49	3,13	1,36	0,81	9	174	3,33	3,22	1,44	0,80
	1.6.6	MSC	9	156	3,53	3,15	1,37	0,81	10	172	3,23	3,21	1,31	0,84
	2.12.12	keine	11	162	3,57	3,13	1,47	0,78	13	172	3,32	3,27	1,16	0,88
	2.12.12	SNVD	10	154	3,32	3,03	1,33	0,81	13	173	3,24	3,16	1,33	0,82
	2.12.12	MSC	11	153	3,43	3,09	1,27	0,83	7	174	3,30	3,26	1,42	0,81
	2.24.24	keine	11	166	3,59	3,18	1,62	0,74	12	169	3,25	3,24	1,17	0,87
	2.24.24	SNVD	14	157	3,37	3,06	1,37	0,80	10	173	3,41	3,26	1,55	0,78
	2.24.24	MSC	11	154	3,47	3,10	1,32	0,82	11	176	3,30	3,24	1,52	0,78
MPLS	0.0.1	keine	13	162	3,26	3,13	1,56	0,75	13	173	3,32	3,30	1,25	0,86
	0.0.1	SNVD	13	156	3,42	3,11	1,31	0,82	12	173	3,39	3,30	1,49	0,80
	0.0.1	MSC	15	153	3,44	3,08	1,19	0,85	13	173	3,26	3,23	1,38	0,82
	1.6.6	keine	8	158	3,62	3,15	1,49	0,78	11	172	3,30	3,24	1,15	0,88
	1.6.6	SNVD	8	153	3,41	3,08	1,26	0,83	14	172	3,39	3,31	1,29	0,85
	1.6.6	MSC	9	154	3,53	3,19	1,31	0,83	12	171	3,27	3,23	1,29	0,84
	2.12.12	keine	10	155	3,58	3,16	1,45	0,79	7	174	3,30	3,30	1,25	0,86
	2.12.12	SNVD	10	152	3,44	3,06	1,21	0,84	13	174	3,31	3,25	1,38	0,82
	2.12.12	MSC	7	153	3,41	3,09	1,25	0,84	15	175	3,28	3,24	1,36	0,83
	2.24.24	keine	14	166	3,58	3,16	1,60	0,75	12	171	3,35	3,27	1,24	0,86
	2.24.24	SNVD	14	158	3,41	3,08	1,44	0,78	13	172	3,38	3,26	1,49	0,80
	2.24.24	MSC	15	156	3,39	3,06	1,35	0,81	15	170	3,27	3,18	1,32	0,83

F: Anzahl der Regressionsfaktoren

**Tabelle 27 Kalibrierungsergebnisse für ungetrocknete (UG) und getrocknete (GG) Grassilageproben zur Schätzung des Rohfasergehaltes in %TM**

Regression				UG					GG					
	Ableitung	Streuungs-korrektur	F	n	$\bar{x}$	SD	SEC	R <sup>2</sup>	F	n	$\bar{x}$	SD	SEC	R <sup>2</sup>
PCR	0.0.1	keine	11	165	27,01	3,31	1,76	0,72	13	172	27,08	3,25	1,57	0,77
	0.0.1	SNVD	9	160	27,05	3,20	1,96	0,63	15	171	26,94	3,30	1,03	0,90
	0.0.1	MSC	10	165	27,06	3,23	2,11	0,57	14	171	26,98	3,24	1,22	0,86
	1.6.6	keine	14	163	27,14	3,35	1,85	0,69	13	172	26,90	3,15	0,99	0,90
	1.6.6	SNVD	7	165	27,04	3,22	2,23	0,52	13	169	26,92	3,31	0,96	0,92
	1.6.6	MSC	9	165	27,09	3,21	2,08	0,58	13	172	27,00	3,26	1,13	0,88
	2.12.12	keine	15	168	27,02	3,11	1,42	0,79	13	174	26,84	3,13	0,96	0,91
	2.12.12	SNVD	11	156	27,10	3,22	1,52	0,78	14	174	26,94	3,31	0,85	0,93
	2.12.12	MSC	11	157	27,07	3,24	1,50	0,79	14	173	26,95	3,21	0,96	0,91
	2.24.24	keine	13	168	26,99	3,17	1,34	0,82	15	173	27,13	3,29	1,33	0,84
	2.24.24	SNVD	13	164	26,96	3,16	1,58	0,75	15	171	27,07	3,25	1,09	0,89
	2.24.24	MSC	14	167	26,95	3,16	1,64	0,73	15	170	27,04	3,25	1,12	0,88
PLS	0.0.1	keine	14	168	27,04	3,24	1,12	0,88	15	176	26,99	3,32	0,84	0,94
	0.0.1	SNVD	11	160	26,93	3,19	1,27	0,84	14	170	26,98	3,22	0,76	0,94
	0.0.1	MSC	15	157	27,07	3,27	1,14	0,88	13	173	27,00	3,25	0,93	0,92
	1.6.6	keine	14	169	27,06	3,24	1,01	0,90	15	173	27,02	3,34	0,71	0,95
	1.6.6	SNVD	10	160	26,99	3,11	1,24	0,84	13	173	26,95	3,32	0,73	0,95
	1.6.6	MSC	10	160	27,01	3,13	1,25	0,84	11	173	27,02	3,23	0,89	0,92
	2.12.12	keine	10	160	27,06	3,25	1,05	0,90	15	174	27,01	3,33	0,67	0,96
	2.12.12	SNVD	9	156	26,97	3,15	1,28	0,83	15	169	26,84	3,17	0,62	0,96
	2.12.12	MSC	9	158	27,08	3,24	1,31	0,84	9	172	27,04	3,22	0,86	0,93
	2.24.24	keine	9	169	27,04	3,17	1,35	0,82	13	169	26,86	3,17	0,86	0,93
	2.24.24	SNVD	8	166	27,02	3,23	1,60	0,75	15	170	27,01	3,33	0,81	0,94
	2.24.24	MSC	14	166	27,03	3,21	1,50	0,78	14	171	27,04	3,24	0,91	0,92
MPLS	0.0.1	keine	14	166	27,07	3,23	1,09	0,89	14	176	26,99	3,32	0,91	0,92
	0.0.1	SNVD	13	160	27,13	3,31	1,26	0,86	14	173	27,02	3,29	0,74	0,95
	0.0.1	MSC	13	161	27,04	3,32	1,27	0,85	12	174	27,02	3,26	0,92	0,92
	1.6.6	keine	15	165	27,05	3,27	0,89	0,93	15	170	27,05	3,31	0,62	0,97
	1.6.6	SNVD	9	159	27,17	3,28	1,30	0,84	13	171	26,99	3,31	0,66	0,96
	1.6.6	MSC	8	159	27,07	3,18	1,32	0,83	14	171	27,03	3,25	0,76	0,94
	2.12.12	keine	9	162	27,04	3,26	1,14	0,88	13	171	27,03	3,32	0,66	0,96
	2.12.12	SNVD	13	157	27,18	3,38	1,27	0,86	12	172	26,94	3,29	0,67	0,96
	2.12.12	MSC	7	157	27,06	3,25	1,38	0,82	14	172	26,98	3,20	0,76	0,94
	2.24.24	keine	12	169	27,10	3,24	1,31	0,84	15	172	27,11	3,28	0,93	0,92
	2.24.24	SNVD	12	160	27,05	3,19	1,43	0,80	15	170	27,06	3,26	0,85	0,93
	2.24.24	MSC	11	165	27,12	3,24	1,55	0,77	15	171	26,99	3,21	0,90	0,92

F: Anzahl der Regressionsfaktoren

**Tabelle 28 Kreuzvalidationsergebnisse für ungetrocknete (UG) und getrocknete (GG) Grassilageproben zur Schätzung des Rohfasergehaltes in %TM**

Regression	UG								GG					
	Ableitung	Streuungs-korrektur	F	n	$\bar{x}$	SD	SECV	1-VR	F	n	$\bar{x}$	SD	SECV	1-VR
PCR	0.0.1	keine	11	165	27,01	3,31	1,84	0,69	13	172	27,08	3,25	1,64	0,75
	0.0.1	SNVD	9	160	27,05	3,20	2,00	0,61	15	171	26,94	3,30	1,09	0,89
	0.0.1	MSC	10	165	27,06	3,23	2,17	0,55	14	171	26,98	3,24	1,30	0,84
	1.6.6	keine	14	163	27,14	3,35	1,97	0,65	13	172	26,90	3,15	1,05	0,89
	1.6.6	SNVD	7	165	27,04	3,22	2,23	0,52	13	169	26,92	3,31	1,01	0,91
	1.6.6	MSC	9	165	27,09	3,21	2,18	0,54	13	172	27,00	3,26	1,20	0,87
	2.12.12	keine	15	168	27,02	3,11	1,50	0,77	13	174	26,84	3,13	1,02	0,90
	2.12.12	SNVD	11	156	27,10	3,22	1,79	0,69	14	174	26,94	3,31	0,88	0,93
	2.12.12	MSC	11	157	27,07	3,24	1,78	0,70	14	173	26,95	3,21	1,00	0,90
	2.24.24	keine	13	168	26,99	3,17	1,42	0,80	15	173	27,13	3,29	1,41	0,82
	2.24.24	SNVD	13	164	26,96	3,16	1,72	0,70	15	171	27,07	3,25	1,16	0,87
	2.24.24	MSC	14	167	26,95	3,16	1,83	0,66	15	170	27,04	3,25	1,19	0,87
PLS	0.0.1	keine	14	168	27,04	3,24	1,34	0,83	15	176	26,99	3,32	0,98	0,92
	0.0.1	SNVD	11	160	26,93	3,19	1,43	0,80	14	170	26,98	3,22	0,86	0,93
	0.0.1	MSC	15	157	27,07	3,27	1,55	0,78	13	173	27,00	3,25	1,04	0,90
	1.6.6	keine	14	169	27,06	3,24	1,25	0,85	15	173	27,02	3,34	0,84	0,94
	1.6.6	SNVD	10	160	26,99	3,11	1,52	0,76	13	173	26,95	3,32	0,85	0,94
	1.6.6	MSC	10	160	27,01	3,13	1,54	0,76	11	173	27,02	3,23	1,00	0,91
	2.12.12	keine	10	160	27,06	3,25	1,25	0,85	15	174	27,01	3,33	0,82	0,94
	2.12.12	SNVD	9	156	26,97	3,15	1,66	0,72	15	169	26,84	3,17	0,73	0,95
	2.12.12	MSC	9	158	27,08	3,24	1,52	0,78	9	172	27,04	3,22	0,93	0,92
	2.24.24	keine	9	169	27,04	3,17	1,49	0,78	13	169	26,86	3,17	0,97	0,91
	2.24.24	SNVD	8	166	27,02	3,23	1,77	0,70	15	170	27,01	3,33	0,89	0,93
	2.24.24	MSC	14	166	27,03	3,21	1,71	0,72	14	171	27,04	3,24	0,99	0,91
MPLS	0.0.1	keine	14	166	27,07	3,23	1,28	0,84	14	176	26,99	3,32	1,05	0,90
	0.0.1	SNVD	13	160	27,13	3,31	1,56	0,78	14	173	27,02	3,29	0,87	0,93
	0.0.1	MSC	13	161	27,04	3,32	1,57	0,78	12	174	27,02	3,26	1,04	0,90
	1.6.6	keine	15	165	27,05	3,27	1,24	0,86	15	170	27,05	3,31	0,75	0,95
	1.6.6	SNVD	9	159	27,17	3,28	1,53	0,78	13	171	26,99	3,31	0,77	0,95
	1.6.6	MSC	8	159	27,07	3,18	1,61	0,74	14	171	27,03	3,25	0,97	0,91
	2.12.12	keine	9	162	27,04	3,26	1,34	0,83	13	171	27,03	3,32	0,79	0,95
	2.12.12	SNVD	13	157	27,18	3,38	1,54	0,79	12	172	26,94	3,29	0,79	0,94
	2.12.12	MSC	7	157	27,06	3,25	1,51	0,78	14	172	26,98	3,20	0,93	0,92
	2.24.24	keine	12	169	27,10	3,24	1,46	0,80	15	172	27,11	3,28	1,01	0,91
	2.24.24	SNVD	12	160	27,05	3,19	1,61	0,75	15	170	27,06	3,26	0,94	0,92
	2.24.24	MSC	11	165	27,12	3,24	1,73	0,71	15	171	26,99	3,21	1,00	0,91

F: Anzahl der Regressionsfaktoren

**Tabelle 29 Kalibrationsergebnisse für ungetrocknete (UG) und getrocknete (GG) Grassilageproben zur Schätzung des ADF-Gehaltes in %TM**

Regression				UG					GG					
	Ableitung	Streuungs-korrektur	F	n	$\bar{x}$	SD	SEC	R <sup>2</sup>	F	n	$\bar{x}$	SD	SEC	R <sup>2</sup>
PCR	0.0.1	keine	12	166	32,21	4,05	2,20	0,70	14	169	32,30	3,95	1,59	0,84
	0.0.1	SNVD	9	163	32,20	4,00	2,49	0,61	15	169	32,14	3,89	1,24	0,90
	0.0.1	MSC	9	161	32,27	4,17	2,40	0,67	14	172	32,19	3,88	1,58	0,84
	1.6.6	keine	15	161	32,11	3,93	2,06	0,73	13	173	32,26	3,92	1,49	0,86
	1.6.6	SNVD	15	164	32,22	4,11	2,14	0,73	13	169	32,16	3,90	1,27	0,89
	1.6.6	MSC	14	160	32,34	4,20	2,22	0,72	14	171	32,17	3,88	1,43	0,86
	2.12.12	keine	13	166	32,06	3,88	1,82	0,78	15	173	32,21	3,94	1,28	0,89
	2.12.12	SNVD	13	160	32,26	4,21	1,84	0,81	15	171	32,14	3,90	1,18	0,91
	2.12.12	MSC	14	163	32,19	4,09	1,86	0,79	12	172	32,11	3,85	1,40	0,87
	2.24.24	keine	13	168	32,21	3,95	1,72	0,81	13	171	32,27	3,95	1,56	0,84
	2.24.24	SNVD	13	162	32,09	3,92	1,77	0,80	15	169	32,20	3,90	1,34	0,88
	2.24.24	MSC	13	162	32,19	4,01	1,88	0,78	15	171	32,22	3,89	1,45	0,86
PLS	0.0.1	keine	14	169	32,22	3,99	1,44	0,87	15	172	32,16	3,91	1,09	0,92
	0.0.1	SNVD	12	164	32,25	4,09	1,57	0,85	14	172	32,11	3,90	1,02	0,93
	0.0.1	MSC	11	163	32,22	4,07	1,61	0,84	14	172	32,11	3,90	1,17	0,91
	1.6.6	keine	15	169	32,09	3,87	1,24	0,90	12	173	32,16	3,90	1,15	0,91
	1.6.6	SNVD	11	159	32,13	3,99	1,54	0,85	14	173	32,11	3,89	0,99	0,94
	1.6.6	MSC	13	158	32,16	4,04	1,45	0,87	15	173	32,14	3,87	1,05	0,93
	2.12.12	keine	11	165	32,09	3,92	1,44	0,86	9	174	32,18	3,93	1,22	0,90
	2.12.12	SNVD	10	163	32,32	4,17	1,61	0,85	13	170	31,94	3,70	1,02	0,92
	2.12.12	MSC	12	157	32,05	3,88	1,49	0,85	10	170	32,01	3,72	1,16	0,90
	2.24.24	keine	9	170	32,28	4,07	1,68	0,83	14	172	32,13	3,87	1,29	0,89
	2.24.24	SNVD	9	165	32,23	4,06	1,75	0,81	14	172	32,13	3,89	1,25	0,90
	2.24.24	MSC	10	162	32,18	4,06	1,76	0,81	14	174	32,11	3,88	1,33	0,88
MPLS	0.0.1	keine	14	171	32,29	4,05	1,43	0,88	13	172	32,12	3,88	1,18	0,91
	0.0.1	SNVD	12	163	32,28	4,09	1,54	0,86	14	169	32,10	3,93	1,00	0,93
	0.0.1	MSC	14	160	32,30	4,18	1,45	0,88	14	171	32,14	3,90	1,10	0,92
	1.6.6	keine	12	168	32,14	4,02	1,33	0,89	11	175	32,21	3,93	1,17	0,91
	1.6.6	SNVD	9	164	32,25	4,19	1,61	0,85	12	168	32,10	3,91	0,96	0,94
	1.6.6	MSC	9	160	32,26	4,16	1,64	0,84	9	168	32,04	3,84	1,21	0,90
	2.12.12	keine	6	167	32,24	4,01	1,74	0,81	7	169	32,13	3,89	1,18	0,91
	2.12.12	SNVD	14	156	32,34	4,22	1,40	0,89	7	168	31,94	3,77	1,07	0,92
	2.12.12	MSC	15	161	32,29	4,18	1,47	0,88	7	169	32,10	3,86	1,16	0,91
	2.24.24	keine	9	167	32,20	4,01	1,62	0,84	15	173	32,20	3,96	1,24	0,90
	2.24.24	SNVD	12	160	32,23	4,09	1,60	0,85	14	169	32,09	3,93	1,06	0,93
	2.24.24	MSC	15	165	32,19	4,03	1,70	0,82	14	168	32,14	3,91	1,20	0,91

F: Anzahl der Regressionsfaktoren

**Tabelle 30 Kreuzvalidationsergebnisse für ungetrocknete (UG) und getrocknete (GG) Grassilageproben zur Schätzung des ADF-Gehaltes in %TM**

Regression	UG							GG						
	Ableitung	Streuungs-korrektur	F	n	$\bar{x}$	SD	SECV	1-VR	F	n	$\bar{x}$	SD	SECV	1-VR
PCR	0.0.1	keine	12	166	32,21	4,05	2,33	0,67	14	169	32,30	3,95	1,63	0,83
	0.0.1	SNVD	9	163	32,20	4,00	2,51	0,61	15	169	32,14	3,89	1,31	0,89
	0.0.1	MSC	9	161	32,27	4,17	2,51	0,64	14	172	32,19	3,88	1,63	0,83
	1.6.6	keine	15	161	32,11	3,93	2,13	0,71	13	173	32,26	3,92	1,52	0,85
	1.6.6	SNVD	15	164	32,22	4,11	2,31	0,69	13	169	32,16	3,90	1,33	0,89
	1.6.6	MSC	14	160	32,34	4,20	2,43	0,66	14	171	32,17	3,88	1,41	0,87
	2.12.12	keine	13	166	32,06	3,88	1,93	0,76	15	173	32,21	3,94	1,32	0,89
	2.12.12	SNVD	13	160	32,26	4,21	2,08	0,76	15	171	32,14	3,90	1,29	0,89
	2.12.12	MSC	14	163	32,19	4,09	2,05	0,75	12	172	32,11	3,85	1,45	0,86
	2.24.24	keine	13	168	32,21	3,95	1,84	0,79	13	171	32,27	3,95	1,61	0,84
	2.24.24	SNVD	13	162	32,09	3,92	1,87	0,77	15	169	32,20	3,90	1,46	0,86
2.24.24	MSC	13	162	32,19	4,01	2,01	0,75	15	171	32,22	3,89	1,53	0,85	
PLS	0.0.1	keine	14	169	32,22	3,99	1,65	0,83	15	172	32,16	3,91	1,23	0,90
	0.0.1	SNVD	12	164	32,25	4,09	1,79	0,81	14	172	32,11	3,90	1,20	0,91
	0.0.1	MSC	11	163	32,22	4,07	1,93	0,78	14	172	32,11	3,90	1,37	0,88
	1.6.6	keine	15	169	32,09	3,87	1,52	0,85	12	173	32,16	3,90	1,33	0,89
	1.6.6	SNVD	11	159	32,13	3,99	1,87	0,78	14	173	32,11	3,89	1,16	0,91
	1.6.6	MSC	13	158	32,16	4,04	1,92	0,77	15	173	32,14	3,87	1,27	0,89
	2.12.12	keine	11	165	32,09	3,92	1,75	0,80	9	174	32,18	3,93	1,31	0,89
	2.12.12	SNVD	10	163	32,32	4,17	1,77	0,82	13	170	31,94	3,70	1,19	0,90
	2.12.12	MSC	12	157	32,05	3,88	1,81	0,78	10	170	32,01	3,72	1,31	0,88
	2.24.24	keine	9	170	32,28	4,07	1,83	0,80	14	172	32,13	3,87	1,38	0,88
	2.24.24	SNVD	9	165	32,23	4,06	1,89	0,78	14	172	32,13	3,89	1,40	0,87
2.24.24	MSC	10	162	32,18	4,06	1,92	0,78	14	174	32,11	3,88	1,49	0,86	
MPLS	0.0.1	keine	14	171	32,29	4,05	1,66	0,83	13	172	32,12	3,88	1,36	0,88
	0.0.1	SNVD	12	163	32,28	4,09	1,78	0,81	14	169	32,10	3,93	1,20	0,91
	0.0.1	MSC	14	160	32,30	4,18	1,78	0,82	14	171	32,14	3,90	1,30	0,89
	1.6.6	keine	12	168	32,14	4,02	1,61	0,84	11	175	32,21	3,93	1,37	0,88
	1.6.6	SNVD	9	164	32,25	4,19	1,97	0,78	12	168	32,10	3,91	1,14	0,92
	1.6.6	MSC	9	160	32,26	4,16	2,02	0,76	9	168	32,04	3,84	1,36	0,88
	2.12.12	keine	6	167	32,24	4,01	2,07	0,74	7	169	32,13	3,89	1,29	0,89
	2.12.12	SNVD	14	156	32,34	4,22	1,75	0,83	7	168	31,94	3,77	1,20	0,90
	2.12.12	MSC	15	161	32,29	4,18	1,86	0,80	7	169	32,10	3,86	1,30	0,89
	2.24.24	keine	9	167	32,20	4,01	1,75	0,81	15	173	32,20	3,96	1,31	0,89
	2.24.24	SNVD	12	160	32,23	4,09	1,80	0,81	14	169	32,09	3,93	1,18	0,91
2.24.24	MSC	15	165	32,19	4,03	1,95	0,77	14	168	32,14	3,91	1,29	0,89	

F: Anzahl der Regressionsfaktoren

**Tabelle 31 Kalibrierungsergebnisse für ungetrocknete (UG) und getrocknete (GG) Grassilageproben zur Schätzung des NDF-Gehaltes in %TM**

Regression	UG							GG						
	Ableitung	Streuungs-korrektur	F	n	$\bar{x}$	SD	SEC	R <sup>2</sup>	F	n	$\bar{x}$	SD	SEC	R <sup>2</sup>
PCR	0.0.1	keine	12	164	51,64	5,85	2,77	0,78	12	169	51,98	5,85	2,16	0,86
	0.0.1	SNVD	10	159	51,78	5,85	3,25	0,69	15	171	51,58	5,79	1,82	0,90
	0.0.1	MSC	10	155	51,81	5,92	3,13	0,72	13	174	51,73	5,89	2,28	0,85
	1.6.6	keine	15	160	51,96	5,81	2,95	0,74	15	170	51,67	5,76	1,44	0,94
	1.6.6	SNVD	13	159	52,03	5,91	3,31	0,69	10	170	51,50	5,94	1,83	0,90
	1.6.6	MSC	13	158	51,99	5,93	3,16	0,72	11	175	51,80	5,94	2,12	0,87
	2.12.12	keine	13	163	51,97	5,67	2,55	0,80	15	169	51,63	5,64	1,65	0,91
	2.12.12	SNVD	11	154	51,90	5,81	2,45	0,82	8	171	51,79	5,89	1,87	0,90
	2.12.12	MSC	15	154	51,93	5,86	2,48	0,82	8	169	51,83	5,85	1,99	0,88
	2.24.24	keine	14	165	51,82	5,75	2,23	0,85	15	172	51,92	5,83	1,91	0,89
	2.24.24	SNVD	14	166	51,74	6,38	2,73	0,82	15	170	51,73	5,86	1,79	0,91
	2.24.24	MSC	14	162	51,82	6,33	2,62	0,83	15	170	51,63	5,67	1,86	0,89
PLS	0.0.1	keine	14	165	51,76	5,84	1,86	0,90	13	172	51,85	5,90	1,42	0,94
	0.0.1	SNVD	13	161	51,64	5,87	1,93	0,89	12	172	51,70	5,94	1,63	0,92
	0.0.1	MSC	12	158	51,54	5,94	2,08	0,88	13	173	51,70	5,88	1,79	0,91
	1.6.6	keine	13	167	52,31	6,09	1,75	0,92	10	173	51,77	5,93	1,48	0,94
	1.6.6	SNVD	9	159	51,75	5,93	2,35	0,84	13	171	51,54	5,70	1,45	0,94
	1.6.6	MSC	9	158	51,83	5,99	2,30	0,85	8	171	51,68	5,90	2,00	0,89
	2.12.12	keine	11	165	52,19	6,25	1,92	0,91	9	170	51,62	5,85	1,46	0,94
	2.12.12	SNVD	10	164	51,72	6,48	2,51	0,85	9	167	51,55	5,72	1,58	0,92
	2.12.12	MSC	13	159	51,87	6,32	2,07	0,89	6	168	51,73	5,88	2,00	0,88
	2.24.24	keine	11	165	51,77	5,87	2,06	0,88	13	172	51,89	5,79	1,60	0,92
	2.24.24	SNVD	11	161	52,02	6,21	2,29	0,86	13	170	51,73	5,83	1,68	0,92
	2.24.24	MSC	9	164	51,77	6,34	2,62	0,83	12	173	51,80	5,97	1,93	0,90
MPLS	0.0.1	keine	14	164	51,57	5,86	1,82	0,90	12	171	51,78	5,79	1,43	0,94
	0.0.1	SNVD	12	168	51,73	6,37	2,42	0,86	13	169	51,62	5,87	1,56	0,93
	0.0.1	MSC	13	161	51,81	6,31	2,07	0,89	13	174	51,71	5,82	1,72	0,91
	1.6.6	keine	10	163	51,88	6,12	1,73	0,92	9	169	51,64	5,70	1,48	0,93
	1.6.6	SNVD	13	158	51,76	6,01	1,95	0,89	13	170	51,61	5,80	1,47	0,94
	1.6.6	MSC	10	157	51,91	6,23	2,01	0,90	7	170	51,63	5,91	1,98	0,89
	2.12.12	keine	10	160	52,05	5,97	1,87	0,90	10	173	51,70	5,88	1,50	0,94
	2.12.12	SNVD	14	157	52,06	6,25	1,95	0,90	6	169	51,78	5,91	1,72	0,92
	2.12.12	MSC	9	160	51,85	6,34	2,26	0,87	6	169	51,56	5,77	1,84	0,90
	2.24.24	keine	10	167	51,98	6,18	2,22	0,87	15	171	51,79	5,86	1,58	0,93
	2.24.24	SNVD	13	162	51,97	6,33	2,29	0,87	12	170	51,73	5,83	1,66	0,92
	2.24.24	MSC	12	164	51,92	6,33	2,42	0,85	10	172	51,64	5,77	1,89	0,89

F: Anzahl der Regressionsfaktoren

**Tabelle 32 Kreuzvalidationsergebnisse für ungetrocknete (UG) und getrocknete (GG) Grassilageproben zur Schätzung des NDF-Gehaltes in %TM**

Regression	Ableitung	Streuungs-korrektur	UG						GG					
			F	n	$\bar{x}$	SD	SECV	1-VR	F	n	$\bar{x}$	SD	SECV	1-VR
PCR	0.0.1	keine	12	164	51,64	5,85	2,84	0,77	12	169	51,98	5,85	2,21	0,86
	0.0.1	SNVD	10	159	51,78	5,85	3,30	0,68	15	171	51,58	5,79	1,93	0,89
	0.0.1	MSC	10	155	51,81	5,92	3,20	0,71	13	174	51,73	5,89	2,40	0,84
	1.6.6	keine	15	160	51,96	5,81	3,04	0,73	15	170	51,67	5,76	1,51	0,93
	1.6.6	SNVD	13	159	52,03	5,91	3,37	0,68	10	170	51,50	5,94	1,91	0,89
	1.6.6	MSC	13	158	51,99	5,93	3,24	0,70	11	175	51,80	5,94	2,28	0,85
	2.12.12	keine	13	163	51,97	5,67	2,72	0,77	15	169	51,63	5,64	1,71	0,91
	2.12.12	SNVD	11	154	51,90	5,81	2,51	0,82	8	171	51,79	5,89	1,90	0,90
	2.12.12	MSC	15	154	51,93	5,86	2,57	0,81	8	169	51,83	5,85	2,02	0,88
	2.24.24	keine	14	165	51,82	5,75	2,33	0,84	15	172	51,92	5,83	1,98	0,89
	2.24.24	SNVD	14	166	51,74	6,38	2,93	0,79	15	170	51,73	5,86	1,94	0,89
	2.24.24	MSC	14	162	51,82	6,33	2,86	0,80	15	170	51,63	5,67	1,99	0,88
PLS	0.0.1	keine	14	165	51,76	5,84	2,18	0,86	13	172	51,85	5,90	1,63	0,92
	0.0.1	SNVD	13	161	51,64	5,87	2,23	0,86	12	172	51,70	5,94	1,85	0,90
	0.0.1	MSC	12	158	51,54	5,94	2,49	0,83	13	173	51,70	5,88	2,10	0,87
	1.6.6	keine	13	167	52,31	6,09	2,11	0,88	10	173	51,77	5,93	1,70	0,92
	1.6.6	SNVD	9	159	51,75	5,93	2,64	0,80	13	171	51,54	5,70	1,76	0,90
	1.6.6	MSC	9	158	51,83	5,99	2,71	0,80	8	171	51,68	5,90	2,21	0,86
	2.12.12	keine	11	165	52,19	6,25	2,25	0,87	9	170	51,62	5,85	1,68	0,92
	2.12.12	SNVD	10	164	51,72	6,48	3,26	0,75	9	167	51,55	5,72	1,74	0,91
	2.12.12	MSC	13	159	51,87	6,32	3,06	0,77	6	168	51,73	5,88	2,10	0,87
	2.24.24	keine	11	165	51,77	5,87	2,31	0,85	13	172	51,89	5,79	1,77	0,91
	2.24.24	SNVD	11	161	52,02	6,21	2,53	0,84	13	170	51,73	5,83	1,83	0,90
	2.24.24	MSC	9	164	51,77	6,34	2,91	0,79	12	173	51,80	5,97	2,10	0,88
MPLS	0.0.1	keine	14	164	51,57	5,86	2,15	0,87	12	171	51,78	5,79	1,67	0,92
	0.0.1	SNVD	12	168	51,73	6,37	2,80	0,81	13	169	51,62	5,87	1,81	0,91
	0.0.1	MSC	13	161	51,81	6,31	2,57	0,84	13	174	51,71	5,82	2,06	0,88
	1.6.6	keine	10	163	51,88	6,12	2,11	0,88	9	169	51,64	5,70	1,68	0,92
	1.6.6	SNVD	13	158	51,76	6,01	2,61	0,81	13	170	51,61	5,80	1,81	0,90
	1.6.6	MSC	10	157	51,91	6,23	2,48	0,84	7	170	51,63	5,91	2,14	0,87
	2.12.12	keine	10	160	52,05	5,97	2,27	0,86	10	173	51,70	5,88	1,70	0,92
	2.12.12	SNVD	14	157	52,06	6,25	2,94	0,78	6	169	51,78	5,91	1,87	0,90
	2.12.12	MSC	9	160	51,85	6,34	2,64	0,83	6	169	51,56	5,77	2,01	0,88
	2.24.24	keine	10	167	51,98	6,18	2,43	0,85	15	171	51,79	5,86	1,73	0,91
	2.24.24	SNVD	13	162	51,97	6,33	2,56	0,84	12	170	51,73	5,83	1,84	0,90
	2.24.24	MSC	12	164	51,92	6,33	2,83	0,80	10	172	51,64	5,77	2,04	0,88

F: Anzahl der Regressionsfaktoren

**Tabelle 33 Kalibrierungsergebnisse für ungetrocknete (UG) und getrocknete (GG) Grassilageproben zur Schätzung des ELOS-Gehaltes in %TM**

Regression	UG									GG				
	Ableitung	Streuungs-korrektur	F	n	$\bar{x}$	SD	SEC	R <sup>2</sup>	F	n	$\bar{x}$	SD	SEC	R <sup>2</sup>
PCR	0.0.1	keine	12	164	65,87	6,05	3,85	0,60	15	169	65,67	6,13	2,48	0,84
	0.0.1	SNVD	8	166	66,00	5,98	4,29	0,49	15	170	65,72	6,06	2,56	0,82
	0.0.1	MSC	10	164	65,91	6,07	4,23	0,51	13	175	65,35	6,42	2,72	0,82
	1.6.6	keine	6	164	65,86	6,01	4,06	0,54	12	171	65,61	6,13	2,51	0,83
	1.6.6	SNVD	7	163	65,76	6,22	4,32	0,52	11	168	65,80	6,05	2,53	0,82
	1.6.6	MSC	7	163	65,73	6,34	4,31	0,54	11	173	65,53	6,23	2,56	0,83
	2.12.12	keine	14	167	65,73	6,18	2,89	0,78	7	168	65,57	6,30	2,66	0,82
	2.12.12	SNVD	14	163	65,55	6,35	2,87	0,80	14	171	65,66	6,09	2,57	0,82
	2.12.12	MSC	15	163	65,60	6,34	2,95	0,78	14	170	65,58	6,07	2,55	0,82
	2.24.24	keine	15	167	65,67	6,18	2,52	0,83	15	169	65,63	6,14	2,56	0,83
	2.24.24	SNVD	15	169	65,73	6,20	3,03	0,76	15	171	65,61	6,13	2,47	0,84
	2.24.24	MSC	14	166	65,81	6,15	3,22	0,73	15	174	65,41	6,28	2,68	0,82
PLS	0.0.1	keine	15	166	65,64	6,24	2,09	0,89	14	172	65,43	6,34	2,22	0,88
	0.0.1	SNVD	12	160	65,71	6,34	2,30	0,87	13	168	65,77	6,08	2,13	0,88
	0.0.1	MSC	11	165	65,74	6,25	2,53	0,84	10	171	65,68	6,10	2,44	0,84
	1.6.6	keine	7	159	65,53	6,27	3,15	0,75	13	175	65,51	6,32	2,16	0,88
	1.6.6	SNVD	10	158	65,52	6,42	2,48	0,85	10	166	65,56	6,22	2,11	0,89
	1.6.6	MSC	10	160	65,69	6,41	2,64	0,83	8	175	65,51	6,32	2,54	0,84
	2.12.12	keine	11	156	65,42	6,19	1,91	0,90	12	172	65,64	6,10	2,09	0,88
	2.12.12	SNVD	9	161	65,60	6,37	2,66	0,83	12	170	65,66	6,16	1,91	0,90
	2.12.12	MSC	8	161	65,60	6,37	2,62	0,83	12	170	65,64	6,20	2,00	0,90
	2.24.24	keine	10	168	65,53	6,18	2,43	0,85	14	169	65,67	6,09	2,39	0,85
	2.24.24	SNVD	11	166	65,71	6,24	2,67	0,82	12	168	65,75	6,07	2,29	0,86
	2.24.24	MSC	9	163	65,74	6,24	2,72	0,81	12	171	65,67	6,03	2,52	0,83
MPLS	0.0.1	keine	14	163	65,60	6,27	2,09	0,89	15	171	65,50	6,33	2,05	0,89
	0.0.1	SNVD	12	160	65,73	6,35	2,44	0,85	11	167	65,80	6,06	2,09	0,88
	0.0.1	MSC	11	162	65,67	6,36	2,61	0,83	10	174	65,39	6,40	2,48	0,85
	1.6.6	keine	7	166	65,26	6,76	3,05	0,80	12	173	65,62	6,25	2,12	0,88
	1.6.6	SNVD	8	161	65,78	6,20	2,59	0,83	9	169	65,58	6,25	2,14	0,88
	1.6.6	MSC	9	155	65,71	6,40	2,29	0,87	8	169	65,64	6,07	2,18	0,87
	2.12.12	keine	6	161	65,36	6,69	2,73	0,83	10	170	65,58	6,21	2,05	0,89
	2.12.12	SNVD	8	160	65,86	6,08	2,51	0,83	10	168	65,74	6,17	1,89	0,91
	2.12.12	MSC	5	158	65,88	6,17	3,18	0,73	10	169	65,68	6,15	2,07	0,89
	2.24.24	keine	11	166	65,65	6,18	2,43	0,85	14	170	65,61	6,12	2,41	0,85
	2.24.24	SNVD	11	164	65,99	5,91	2,66	0,80	13	167	65,68	6,22	2,09	0,89
	2.24.24	MSC	11	166	66,00	5,76	2,70	0,78	13	168	65,64	6,10	2,30	0,86

F: Anzahl der Regressionsfaktoren



**Tabelle 34 Kreuzvalidationsergebnisse für ungetrocknete (UG) und getrocknete (GG) Grassilageproben zur Schätzung des ELOS-Gehaltes in %TM**

Regression	UG								GG					
	Ableitung	Streuungs-korrektur	F	n	$\bar{x}$	SD	SECV	1-VR	F	n	$\bar{x}$	SD	SECV	1-VR
PCR	0.0.1	keine	12	164	65,87	6,05	3,97	0,57	15	169	65,67	6,13	2,65	0,82
	0.0.1	SNVD	8	166	66,00	5,98	4,31	0,48	15	170	65,72	6,06	2,73	0,80
	0.0.1	MSC	10	164	65,91	6,07	4,37	0,48	13	175	65,35	6,42	2,95	0,79
	1.6.6	keine	6	164	65,86	6,01	4,11	0,53	12	171	65,61	6,13	2,67	0,81
	1.6.6	SNVD	7	163	65,76	6,22	4,36	0,51	11	168	65,80	6,05	2,67	0,81
	1.6.6	MSC	7	163	65,73	6,34	4,28	0,54	11	173	65,53	6,23	2,75	0,81
	2.12.12	keine	14	167	65,73	6,18	3,10	0,75	7	168	65,57	6,30	2,72	0,82
	2.12.12	SNVD	14	163	65,55	6,35	3,23	0,74	14	171	65,66	6,09	2,71	0,80
	2.12.12	MSC	15	163	65,60	6,34	3,23	0,74	14	170	65,58	6,07	2,65	0,81
	2.24.24	keine	15	167	65,67	6,18	2,61	0,82	15	169	65,63	6,14	2,70	0,81
	2.24.24	SNVD	15	169	65,73	6,20	3,23	0,73	15	171	65,61	6,13	2,66	0,81
	2.24.24	MSC	14	166	65,81	6,15	3,30	0,71	15	174	65,41	6,28	2,86	0,79
PLS	0.0.1	keine	15	166	65,64	6,24	2,57	0,83	14	172	65,43	6,34	2,61	0,83
	0.0.1	SNVD	12	160	65,71	6,34	2,66	0,82	13	168	65,77	6,08	2,46	0,84
	0.0.1	MSC	11	165	65,74	6,25	2,97	0,78	10	171	65,68	6,10	2,69	0,81
	1.6.6	keine	7	159	65,53	6,27	3,28	0,73	13	175	65,51	6,32	2,55	0,84
	1.6.6	SNVD	10	158	65,52	6,42	2,92	0,79	10	166	65,56	6,22	2,40	0,85
	1.6.6	MSC	10	160	65,69	6,41	3,01	0,78	8	175	65,51	6,32	2,76	0,81
	2.12.12	keine	11	156	65,42	6,19	2,77	0,80	12	172	65,64	6,10	2,40	0,85
	2.12.12	SNVD	9	161	65,60	6,37	2,83	0,80	12	170	65,66	6,16	2,20	0,87
	2.12.12	MSC	8	161	65,60	6,37	2,95	0,79	12	170	65,64	6,20	2,29	0,87
	2.24.24	keine	10	168	65,53	6,18	2,56	0,83	14	169	65,67	6,09	2,53	0,83
	2.24.24	SNVD	11	166	65,71	6,24	2,91	0,78	12	168	65,75	6,07	2,44	0,84
	2.24.24	MSC	9	163	65,74	6,24	2,95	0,78	12	171	65,67	6,03	2,70	0,80
MPLS	0.0.1	keine	14	163	65,60	6,27	2,44	0,85	15	171	65,50	6,33	2,44	0,85
	0.0.1	SNVD	12	160	65,73	6,35	2,78	0,81	11	167	65,80	6,06	2,34	0,85
	0.0.1	MSC	11	162	65,67	6,36	2,92	0,79	10	174	65,39	6,40	2,77	0,81
	1.6.6	keine	7	166	65,26	6,76	3,68	0,71	12	173	65,62	6,25	2,56	0,83
	1.6.6	SNVD	8	161	65,78	6,20	2,97	0,77	9	169	65,58	6,25	2,44	0,85
	1.6.6	MSC	9	155	65,71	6,40	2,66	0,83	8	169	65,64	6,07	2,41	0,84
	2.12.12	keine	6	161	65,36	6,69	4,00	0,64	10	170	65,58	6,21	2,33	0,86
	2.12.12	SNVD	8	160	65,86	6,08	2,76	0,79	10	168	65,74	6,17	2,16	0,88
	2.12.12	MSC	5	158	65,88	6,17	3,76	0,63	10	169	65,68	6,15	2,37	0,85
	2.24.24	keine	11	166	65,65	6,18	2,58	0,83	14	170	65,61	6,12	2,54	0,83
	2.24.24	SNVD	11	164	65,99	5,91	2,96	0,75	13	167	65,68	6,22	2,33	0,86
	2.24.24	MSC	11	166	66,00	5,76	3,02	0,73	13	168	65,64	6,10	2,45	0,84

F: Anzahl der Regressionsfaktoren

**Tabelle 35 Kalibrierungsergebnisse für ungetrocknete (UG) und getrocknete (GG) Grassilageproben zur Schätzung des Aschegehaltes in %TM**

Regression				UG						GG					
	Ableitung	Streuungs-korrektur		F	n	$\bar{x}$	SD	SEC	R <sup>2</sup>	F	n	$\bar{x}$	SD	SEC	R <sup>2</sup>
PCR	0.0.1	keine		2	163	10,54	2,53	1,92	0,43	13	171	10,81	2,83	1,33	0,78
	0.0.1	SNVD		8	154	10,67	2,66	1,88	0,50	14	170	10,83	2,85	1,41	0,75
	0.0.1	MSC		7	159	10,65	2,54	1,89	0,45	13	176	10,97	2,98	1,64	0,70
	1.6.6	keine		7	156	10,51	2,52	1,81	0,49	13	172	10,76	2,73	1,44	0,72
	1.6.6	SNVD		6	157	10,60	2,53	1,85	0,46	12	171	10,94	2,95	1,51	0,74
	1.6.6	MSC		6	157	10,60	2,54	1,85	0,47	8	175	10,89	2,91	1,66	0,67
	2.12.12	keine		4	156	10,49	2,53	1,81	0,49	14	168	10,79	2,71	1,26	0,78
	2.12.12	SNVD		8	158	10,64	2,61	1,79	0,53	15	170	10,87	2,86	1,20	0,82
	2.12.12	MSC		6	158	10,61	2,58	1,77	0,53	15	167	10,87	2,88	1,29	0,80
	2.24.24	keine		14	164	10,60	2,60	1,72	0,56	15	175	10,88	2,89	1,49	0,73
	2.24.24	SNVD		14	162	10,66	2,65	1,70	0,59	15	173	10,81	2,80	1,44	0,73
	2.24.24	MSC		15	159	10,58	2,53	1,64	0,58	9	173	10,96	2,96	1,72	0,66
PLS	0.0.1	keine		13	163	10,53	2,54	1,24	0,77	12	167	10,85	2,87	0,93	0,90
	0.0.1	SNVD		12	162	10,67	2,69	1,53	0,68	13	169	10,82	2,79	1,04	0,86
	0.0.1	MSC		14	160	10,73	2,75	1,39	0,74	14	173	10,83	2,88	1,17	0,83
	1.6.6	keine		11	161	10,52	2,53	1,41	0,69	14	163	10,76	2,82	0,82	0,92
	1.6.6	SNVD		10	160	10,60	2,60	1,44	0,69	13	170	10,85	2,86	1,03	0,87
	1.6.6	MSC		11	159	10,66	2,62	1,42	0,71	14	169	10,71	2,76	1,05	0,86
	2.12.12	keine		12	162	10,57	2,59	1,26	0,75	9	167	10,87	2,90	1,14	0,85
	2.12.12	SNVD		14	157	10,52	2,46	1,27	0,73	9	167	10,76	2,73	1,09	0,84
	2.12.12	MSC		3	158	10,63	2,65	1,82	0,53	11	161	10,78	2,84	1,06	0,86
	2.24.24	keine		9	165	10,51	2,49	1,58	0,60	13	170	10,84	2,86	1,29	0,80
	2.24.24	SNVD		10	162	10,66	2,63	1,69	0,59	14	171	10,81	2,76	1,25	0,79
	2.24.24	MSC		4	160	10,66	2,66	1,88	0,50	14	169	10,85	2,86	1,28	0,80
MPLS	0.0.1	keine		13	164	10,54	2,54	1,42	0,69	14	166	10,70	2,75	0,86	0,90
	0.0.1	SNVD		8	160	10,68	2,66	1,64	0,62	15	168	10,75	2,75	0,97	0,87
	0.0.1	MSC		13	158	10,79	2,84	1,46	0,74	14	166	10,61	2,60	1,00	0,85
	1.6.6	keine		10	156	10,46	2,46	1,22	0,75	15	167	10,82	2,88	0,83	0,92
	1.6.6	SNVD		3	159	10,56	2,50	1,76	0,51	14	170	10,83	2,87	0,97	0,89
	1.6.6	MSC		3	159	10,59	2,54	1,82	0,49	12	166	10,77	2,83	1,09	0,85
	2.12.12	keine		14	163	10,53	2,54	1,19	0,78	11	169	10,80	2,80	0,93	0,89
	2.12.12	SNVD		10	159	10,59	2,53	1,45	0,67	9	163	10,62	2,53	0,96	0,86
	2.12.12	MSC		11	159	10,59	2,53	1,44	0,68	12	165	10,77	2,77	0,99	0,87
	2.24.24	keine		8	166	10,58	2,61	1,64	0,61	13	172	10,94	2,93	1,33	0,79
	2.24.24	SNVD		7	162	10,71	2,69	1,68	0,61	14	170	10,70	2,59	1,21	0,78
	2.24.24	MSC		4	162	10,67	2,66	1,82	0,53	14	168	10,81	2,80	1,23	0,81

F: Anzahl der Regressionsfaktoren

**Tabelle 36 Kreuzvalidationsergebnisse für ungetrocknete (UG) und getrocknete (GG) Grassilageproben zur Schätzung des Aschegehaltes in %TM**

Regression	UG								GG					
	Ableitung	Streuungs-korrektur	F	n	$\bar{x}$	SD	SECV	1-VR	F	n	$\bar{x}$	SD	SECV	1-VR
PCR	0.0.1	keine	2	163	10,54	2,53	1,93	0,42	13	171	10,81	2,83	1,38	0,76
	0.0.1	SNVD	8	154	10,67	2,66	1,94	0,47	14	170	10,83	2,85	1,48	0,73
	0.0.1	MSC	7	159	10,65	2,54	1,89	0,44	13	176	10,97	2,98	1,74	0,67
	1.6.6	keine	7	156	10,51	2,52	1,85	0,46	13	172	10,76	2,73	1,61	0,66
	1.6.6	SNVD	6	157	10,60	2,53	1,88	0,45	12	171	10,94	2,95	1,60	0,71
	1.6.6	MSC	6	157	10,60	2,54	1,84	0,47	8	175	10,89	2,91	1,73	0,65
	2.12.12	keine	4	156	10,49	2,53	1,84	0,47	14	168	10,79	2,71	1,32	0,77
	2.12.12	SNVD	8	158	10,64	2,61	1,84	0,50	15	170	10,87	2,86	1,30	0,79
	2.12.12	MSC	6	158	10,61	2,58	1,80	0,51	15	167	10,87	2,88	1,40	0,77
	2.24.24	keine	14	164	10,60	2,60	1,83	0,50	15	175	10,88	2,89	1,63	0,69
	2.24.24	SNVD	14	162	10,66	2,65	1,78	0,55	15	173	10,81	2,80	1,56	0,69
	2.24.24	MSC	15	159	10,58	2,53	1,74	0,53	9	173	10,96	2,96	1,83	0,63
PLS	0.0.1	keine	13	163	10,53	2,54	1,66	0,57	12	167	10,85	2,87	1,03	0,87
	0.0.1	SNVD	12	162	10,67	2,69	1,78	0,57	13	169	10,82	2,79	1,20	0,82
	0.0.1	MSC	14	160	10,73	2,75	1,68	0,62	14	173	10,83	2,88	1,41	0,76
	1.6.6	keine	11	161	10,52	2,53	1,56	0,62	14	163	10,76	2,82	1,01	0,87
	1.6.6	SNVD	10	160	10,60	2,60	1,71	0,57	13	170	10,85	2,86	1,22	0,82
	1.6.6	MSC	11	159	10,66	2,62	1,67	0,59	14	169	10,71	2,76	1,34	0,77
	2.12.12	keine	12	162	10,57	2,59	1,46	0,68	9	167	10,87	2,90	1,25	0,82
	2.12.12	SNVD	14	157	10,52	2,46	1,59	0,58	9	167	10,76	2,73	1,24	0,80
	2.12.12	MSC	3	158	10,63	2,65	1,85	0,51	11	161	10,78	2,84	1,31	0,79
	2.24.24	keine	9	165	10,51	2,49	1,74	0,51	13	170	10,84	2,86	1,48	0,74
	2.24.24	SNVD	10	162	10,66	2,63	1,82	0,53	14	171	10,81	2,76	1,42	0,74
	2.24.24	MSC	4	160	10,66	2,66	1,92	0,48	14	169	10,85	2,86	1,49	0,73
MPLS	0.0.1	keine	13	164	10,54	2,54	1,71	0,55	14	166	10,70	2,75	1,00	0,87
	0.0.1	SNVD	8	160	10,68	2,66	1,79	0,55	15	168	10,75	2,75	1,22	0,81
	0.0.1	MSC	13	158	10,79	2,84	1,75	0,62	14	166	10,61	2,60	1,25	0,77
	1.6.6	keine	10	156	10,46	2,46	1,53	0,61	15	167	10,82	2,88	1,07	0,86
	1.6.6	SNVD	3	159	10,56	2,50	1,87	0,44	14	170	10,83	2,87	1,20	0,83
	1.6.6	MSC	3	159	10,59	2,54	1,86	0,46	12	166	10,77	2,83	1,37	0,77
	2.12.12	keine	14	163	10,53	2,54	1,53	0,64	11	169	10,80	2,80	1,15	0,83
	2.12.12	SNVD	10	159	10,59	2,53	1,74	0,53	9	163	10,62	2,53	1,16	0,79
	2.12.12	MSC	11	159	10,59	2,53	1,75	0,52	12	165	10,77	2,77	1,29	0,78
	2.24.24	keine	8	166	10,58	2,61	1,79	0,53	13	172	10,94	2,93	1,53	0,73
	2.24.24	SNVD	7	162	10,71	2,69	1,81	0,55	14	170	10,70	2,59	1,40	0,71
	2.24.24	MSC	4	162	10,67	2,66	1,88	0,50	14	168	10,81	2,80	1,41	0,75

F: Anzahl der Regressionsfaktoren

**Tabelle 37 Kalibrierungsergebnisse für ungetrocknete (UG) und getrocknete (GG) Grassilageproben zur Schätzung des NEL-Gehaltes in MJ**

Regression				UG					GG						
	Ableitung	Streuungs-korrektur		F	n	$\bar{x}$	SD	SEC	R <sup>2</sup>	F	n	$\bar{x}$	SD	SEC	R <sup>2</sup>
PCR	0.0.1	keine		12	164	6,19	0,55	0,35	0,58	15	170	6,15	0,57	0,22	0,85
	0.0.1	SNVD		9	163	6,20	0,55	0,39	0,51	15	173	6,16	0,57	0,24	0,82
	0.0.1	MSC		9	161	6,19	0,56	0,38	0,55	14	175	6,14	0,58	0,24	0,83
	1.6.6	keine		6	164	6,18	0,56	0,37	0,55	15	171	6,17	0,56	0,22	0,84
	1.6.6	SNVD		7	163	6,18	0,57	0,40	0,51	12	171	6,16	0,57	0,24	0,82
	1.6.6	MSC		7	163	6,18	0,57	0,40	0,52	12	173	6,16	0,56	0,23	0,83
	2.12.12	keine		14	170	6,17	0,56	0,27	0,77	13	169	6,16	0,57	0,23	0,84
	2.12.12	SNVD		14	161	6,15	0,57	0,25	0,81	14	173	6,15	0,57	0,23	0,84
	2.12.12	MSC		13	162	6,16	0,57	0,25	0,80	14	176	6,14	0,58	0,24	0,83
	2.24.24	keine		15	167	6,17	0,56	0,22	0,84	15	170	6,16	0,56	0,23	0,83
	2.24.24	SNVD		13	168	6,17	0,56	0,27	0,76	15	174	6,16	0,57	0,23	0,83
	2.24.24	MSC		14	165	6,18	0,56	0,28	0,74	15	175	6,15	0,57	0,24	0,82
PLS	0.0.1	keine		14	166	6,16	0,56	0,19	0,89	13	172	6,15	0,58	0,20	0,88
	0.0.1	SNVD		13	160	6,18	0,57	0,21	0,86	13	169	6,18	0,55	0,19	0,88
	0.0.1	MSC		12	164	6,18	0,56	0,22	0,85	13	172	6,17	0,55	0,20	0,86
	1.6.6	keine		14	161	6,17	0,56	0,17	0,91	12	175	6,15	0,58	0,20	0,89
	1.6.6	SNVD		10	159	6,16	0,58	0,23	0,84	11	168	6,16	0,56	0,18	0,89
	1.6.6	MSC		10	159	6,17	0,58	0,24	0,83	10	171	6,17	0,56	0,21	0,85
	2.12.12	keine		12	159	6,12	0,62	0,17	0,92	11	172	6,17	0,56	0,19	0,88
	2.12.12	SNVD		9	161	6,17	0,57	0,24	0,82	12	169	6,17	0,56	0,17	0,91
	2.12.12	MSC		9	161	6,16	0,58	0,23	0,83	13	168	6,17	0,55	0,17	0,91
	2.24.24	keine		10	169	6,17	0,56	0,23	0,83	13	168	6,16	0,55	0,21	0,86
	2.24.24	SNVD		8	167	6,17	0,56	0,26	0,79	11	170	6,18	0,55	0,21	0,86
	2.24.24	MSC		9	163	6,18	0,56	0,25	0,81	12	172	6,16	0,55	0,22	0,84
MPLS	0.0.1	keine		14	166	6,18	0,56	0,19	0,88	13	170	6,16	0,56	0,19	0,88
	0.0.1	SNVD		12	164	6,17	0,56	0,22	0,84	12	167	6,16	0,57	0,18	0,90
	0.0.1	MSC		11	160	6,17	0,58	0,24	0,83	11	175	6,14	0,58	0,22	0,86
	1.6.6	keine		14	166	6,15	0,60	0,17	0,92	12	173	6,17	0,55	0,18	0,89
	1.6.6	SNVD		9	161	6,18	0,57	0,23	0,84	12	167	6,18	0,56	0,16	0,92
	1.6.6	MSC		7	157	6,18	0,57	0,23	0,83	8	167	6,17	0,56	0,21	0,86
	2.12.12	keine		6	161	6,14	0,60	0,24	0,84	10	169	6,17	0,55	0,17	0,90
	2.12.12	SNVD		7	159	6,19	0,55	0,23	0,82	9	170	6,17	0,56	0,17	0,90
	2.12.12	MSC		8	161	6,18	0,57	0,23	0,83	8	170	6,17	0,55	0,19	0,89
	2.24.24	keine		11	166	6,16	0,56	0,22	0,84	13	168	6,17	0,56	0,21	0,86
	2.24.24	SNVD		11	164	6,20	0,53	0,24	0,79	13	169	6,18	0,56	0,20	0,88
	2.24.24	MSC		11	165	6,21	0,52	0,24	0,78	14	171	6,16	0,56	0,21	0,86

F: Anzahl der Regressionsfaktoren

**Tabelle 38 Kreuzvalidationsergebnisse für ungetrocknete (UG) und getrocknete (GG) Grassilageproben zur Schätzung des NEL-Gehaltes in MJ**

Regression	UG								GG					
	Ableitung	Streuungs-korrektur	F	n	$\bar{x}$	SD	SECV	1-VR	F	n	$\bar{x}$	SD	SECV	1-VR
PCR	0.0.1	keine	12	164	6,19	0,55	0,37	0,55	15	170	6,15	0,57	0,23	0,83
	0.0.1	SNVD	9	163	6,20	0,55	0,40	0,48	15	173	6,16	0,57	0,26	0,79
	0.0.1	MSC	9	161	6,19	0,56	0,38	0,52	14	175	6,14	0,58	0,26	0,80
	1.6.6	keine	6	164	6,18	0,56	0,38	0,53	15	171	6,17	0,56	0,23	0,82
	1.6.6	SNVD	7	163	6,18	0,57	0,40	0,51	12	171	6,16	0,57	0,26	0,80
	1.6.6	MSC	7	163	6,18	0,57	0,39	0,53	12	173	6,16	0,56	0,25	0,81
	2.12.12	keine	14	170	6,17	0,56	0,29	0,73	13	169	6,16	0,57	0,24	0,82
	2.12.12	SNVD	14	161	6,15	0,57	0,25	0,81	14	173	6,15	0,57	0,25	0,81
	2.12.12	MSC	13	162	6,16	0,57	0,26	0,79	14	176	6,14	0,58	0,26	0,80
	2.24.24	keine	15	167	6,17	0,56	0,23	0,83	15	170	6,16	0,56	0,24	0,82
	2.24.24	SNVD	13	168	6,17	0,56	0,29	0,74	15	174	6,16	0,57	0,25	0,81
	2.24.24	MSC	14	165	6,18	0,56	0,29	0,74	15	175	6,15	0,57	0,26	0,79
PLS	0.0.1	keine	14	166	6,16	0,56	0,22	0,84	13	172	6,15	0,58	0,23	0,84
	0.0.1	SNVD	13	160	6,18	0,57	0,25	0,81	13	169	6,18	0,55	0,22	0,85
	0.0.1	MSC	12	164	6,18	0,56	0,27	0,78	13	172	6,17	0,55	0,23	0,82
	1.6.6	keine	14	161	6,17	0,56	0,21	0,86	12	175	6,15	0,58	0,23	0,85
	1.6.6	SNVD	10	159	6,16	0,58	0,27	0,79	11	168	6,16	0,56	0,21	0,86
	1.6.6	MSC	10	159	6,17	0,58	0,30	0,72	10	171	6,17	0,56	0,24	0,82
	2.12.12	keine	12	159	6,12	0,62	0,27	0,81	11	172	6,17	0,56	0,22	0,84
	2.12.12	SNVD	9	161	6,17	0,57	0,26	0,80	12	169	6,17	0,56	0,20	0,87
	2.12.12	MSC	9	161	6,16	0,58	0,26	0,79	13	168	6,17	0,55	0,19	0,88
	2.24.24	keine	10	169	6,17	0,56	0,24	0,81	13	168	6,16	0,55	0,23	0,83
	2.24.24	SNVD	8	167	6,17	0,56	0,27	0,76	11	170	6,18	0,55	0,23	0,82
	2.24.24	MSC	9	163	6,18	0,56	0,26	0,78	12	172	6,16	0,55	0,24	0,81
MPLS	0.0.1	keine	14	166	6,18	0,56	0,23	0,84	13	170	6,16	0,56	0,22	0,85
	0.0.1	SNVD	12	164	6,17	0,56	0,26	0,79	12	167	6,16	0,57	0,22	0,85
	0.0.1	MSC	11	160	6,17	0,58	0,29	0,74	11	175	6,14	0,58	0,24	0,83
	1.6.6	keine	14	166	6,15	0,60	0,21	0,88	12	173	6,17	0,55	0,21	0,85
	1.6.6	SNVD	9	161	6,18	0,57	0,26	0,80	12	167	6,18	0,56	0,20	0,87
	1.6.6	MSC	7	157	6,18	0,57	0,29	0,75	8	167	6,17	0,56	0,23	0,84
	2.12.12	keine	6	161	6,14	0,60	0,30	0,76	10	169	6,17	0,55	0,21	0,86
	2.12.12	SNVD	7	159	6,19	0,55	0,26	0,78	9	170	6,17	0,56	0,21	0,87
	2.12.12	MSC	8	161	6,18	0,57	0,26	0,78	8	170	6,17	0,55	0,21	0,86
	2.24.24	keine	11	166	6,16	0,56	0,23	0,83	13	168	6,17	0,56	0,23	0,84
	2.24.24	SNVD	11	164	6,20	0,53	0,27	0,74	13	169	6,18	0,56	0,22	0,85
	2.24.24	MSC	11	165	6,21	0,52	0,27	0,73	14	171	6,16	0,56	0,23	0,84

F: Anzahl der Regressionsfaktoren

**Tabelle 39 Kalibrationsergebnisse für ungetrocknete (UG) und getrocknete (GG) Grassilageproben zur Schätzung des pH-Wertes**

Regression				UG					GG						
	Ableitung	Streuungs-korrektur		F	n	$\bar{x}$	SD	SEC	R <sup>2</sup>	F	n	$\bar{x}$	SD	SEC	R <sup>2</sup>
PCR	0.0.1	keine		12	161	4,42	0,41	0,25	0,62	15	169	4,42	0,42	0,24	0,66
	0.0.1	SNVD		12	162	4,43	0,44	0,23	0,72	13	168	4,43	0,42	0,24	0,68
	0.0.1	MSC		13	156	4,42	0,43	0,23	0,73	15	173	4,43	0,42	0,26	0,61
	1.6.6	keine		15	167	4,43	0,41	0,23	0,69	14	169	4,42	0,41	0,23	0,69
	1.6.6	SNVD		14	156	4,43	0,44	0,21	0,76	13	169	4,42	0,41	0,23	0,69
	1.6.6	MSC		15	157	4,42	0,42	0,21	0,76	14	172	4,43	0,42	0,26	0,63
	2.12.12	keine		15	169	4,44	0,43	0,23	0,72	15	167	4,41	0,41	0,22	0,73
	2.12.12	SNVD		11	155	4,42	0,42	0,21	0,75	15	164	4,39	0,38	0,22	0,68
	2.12.12	MSC		11	155	4,42	0,43	0,21	0,75	14	168	4,41	0,41	0,24	0,64
	2.24.24	keine		9	167	4,43	0,43	0,27	0,62	9	172	4,44	0,44	0,28	0,60
	2.24.24	SNVD		11	164	4,43	0,43	0,23	0,71	11	168	4,42	0,41	0,27	0,58
	2.24.24	MSC		12	165	4,43	0,43	0,23	0,71	11	173	4,43	0,43	0,28	0,56
PLS	0.0.1	keine		14	169	4,44	0,43	0,21	0,76	14	167	4,42	0,42	0,19	0,79
	0.0.1	SNVD		15	160	4,42	0,44	0,16	0,87	14	168	4,42	0,40	0,19	0,77
	0.0.1	MSC		11	160	4,42	0,43	0,20	0,79	12	171	4,43	0,42	0,22	0,72
	1.6.6	keine		15	159	4,43	0,42	0,17	0,84	11	171	4,43	0,42	0,20	0,78
	1.6.6	SNVD		15	159	4,42	0,44	0,13	0,91	11	167	4,42	0,40	0,19	0,77
	1.6.6	MSC		13	154	4,41	0,43	0,15	0,87	12	171	4,43	0,42	0,20	0,77
	2.12.12	keine		15	161	4,43	0,44	0,17	0,84	8	168	4,41	0,40	0,19	0,78
	2.12.12	SNVD		8	159	4,43	0,44	0,20	0,78	10	171	4,43	0,42	0,21	0,73
	2.12.12	MSC		5	155	4,41	0,42	0,24	0,67	8	171	4,42	0,42	0,23	0,68
	2.24.24	keine		7	170	4,44	0,43	0,26	0,64	13	167	4,42	0,43	0,23	0,72
	2.24.24	SNVD		6	165	4,42	0,42	0,23	0,69	12	170	4,43	0,43	0,25	0,64
	2.24.24	MSC		6	164	4,42	0,42	0,24	0,69	13	172	4,43	0,43	0,26	0,63
MPLS	0.0.1	keine		13	172	0,43	0,22	0,22	0,75	14	169	4,42	0,42	0,19	0,79
	0.0.1	SNVD		15	162	0,42	0,15	0,15	0,88	12	171	4,43	0,42	0,21	0,74
	0.0.1	MSC		14	161	0,44	0,17	0,17	0,86	11	171	4,42	0,42	0,23	0,70
	1.6.6	keine		7	168	0,46	0,23	0,23	0,75	10	171	4,43	0,42	0,20	0,78
	1.6.6	SNVD		12	153	0,43	0,13	0,13	0,91	11	171	4,43	0,42	0,21	0,76
	1.6.6	MSC		11	157	0,44	0,15	0,15	0,89	13	171	4,42	0,40	0,18	0,79
	2.12.12	keine		7	161	0,46	0,20	0,20	0,82	7	167	4,42	0,42	0,20	0,77
	2.12.12	SNVD		10	159	0,44	0,17	0,17	0,86	14	165	4,41	0,40	0,19	0,78
	2.12.12	MSC		11	159	0,44	0,16	0,16	0,87	6	170	4,42	0,42	0,24	0,67
	2.24.24	keine		8	168	0,43	0,25	0,25	0,65	14	169	4,42	0,43	0,22	0,74
	2.24.24	SNVD		8	164	0,43	0,23	0,23	0,72	14	166	4,41	0,40	0,21	0,72
	2.24.24	MSC		9	163	0,42	0,22	0,22	0,72	14	169	4,42	0,41	0,23	0,69

F: Anzahl der Regressionsfaktoren

**Tabelle 40 Kreuzvalidationsergebnisse für ungetrocknete (UG) und getrocknete (GG) Grassilageproben zur Schätzung des pH-Wertes**

Regression	Ableitung	Streuungs- korrektur	UG				GG							
			F	n	$\bar{x}$	SD	SECV	1-VR	F	n	$\bar{x}$	SD	SECV	1-VR
PCR	0.0.1	keine	12	161	4,42	0,41	0,26	0,60	15	169	4,42	0,42	0,27	0,60
	0.0.1	SNVD	12	162	4,43	0,44	0,24	0,70	13	168	4,43	0,42	0,25	0,65
	0.0.1	MSC	13	156	4,42	0,43	0,24	0,71	15	173	4,43	0,42	0,28	0,55
	1.6.6	keine	15	167	4,43	0,41	0,25	0,63	14	169	4,42	0,41	0,25	0,64
	1.6.6	SNVD	14	156	4,43	0,44	0,23	0,72	13	169	4,42	0,41	0,24	0,66
	1.6.6	MSC	15	157	4,42	0,42	0,22	0,73	14	172	4,43	0,42	0,28	0,57
	2.12.12	keine	15	169	4,44	0,43	0,24	0,68	15	167	4,41	0,41	0,24	0,68
	2.12.12	SNVD	11	155	4,42	0,42	0,23	0,71	15	164	4,39	0,38	0,24	0,62
	2.12.12	MSC	11	155	4,42	0,43	0,22	0,72	14	168	4,41	0,41	0,26	0,61
	2.24.24	keine	9	167	4,43	0,43	0,28	0,59	9	172	4,44	0,44	0,30	0,56
	2.24.24	SNVD	11	164	4,43	0,43	0,25	0,67	11	168	4,42	0,41	0,28	0,55
	2.24.24	MSC	12	165	4,43	0,43	0,24	0,69	11	173	4,43	0,43	0,30	0,51
PLS	0.0.1	keine	14	169	4,44	0,43	0,26	0,64	14	167	4,42	0,42	0,23	0,69
	0.0.1	SNVD	15	160	4,42	0,44	0,21	0,78	14	168	4,42	0,40	0,23	0,69
	0.0.1	MSC	11	160	4,42	0,43	0,22	0,74	12	171	4,43	0,42	0,25	0,66
	1.6.6	keine	15	159	4,43	0,42	0,23	0,71	11	171	4,43	0,42	0,23	0,71
	1.6.6	SNVD	15	159	4,42	0,44	0,18	0,83	11	167	4,42	0,40	0,22	0,72
	1.6.6	MSC	13	154	4,41	0,43	0,19	0,80	12	171	4,43	0,42	0,24	0,68
	2.12.12	keine	15	161	4,43	0,44	0,21	0,76	8	168	4,41	0,40	0,22	0,70
	2.12.12	SNVD	8	159	4,43	0,44	0,25	0,68	10	171	4,43	0,42	0,24	0,67
	2.12.12	MSC	5	155	4,41	0,42	0,26	0,62	8	171	4,42	0,42	0,26	0,60
	2.24.24	keine	7	170	4,44	0,43	0,28	0,57	13	167	4,42	0,43	0,25	0,67
	2.24.24	SNVD	6	165	4,42	0,42	0,25	0,64	12	170	4,43	0,43	0,28	0,57
	2.24.24	MSC	6	164	4,42	0,42	0,24	0,66	13	172	4,43	0,43	0,28	0,56
MPLS	0.0.1	keine	13	172	0,43	0,22	0,27	0,62	14	169	4,42	0,42	0,23	0,70
	0.0.1	SNVD	15	162	0,42	0,15	0,20	0,77	12	171	4,43	0,42	0,24	0,67
	0.0.1	MSC	14	161	0,44	0,17	0,22	0,76	11	171	4,42	0,42	0,26	0,62
	1.6.6	keine	7	168	0,46	0,23	0,26	0,68	10	171	4,43	0,42	0,24	0,69
	1.6.6	SNVD	12	153	0,43	0,13	0,16	0,86	11	171	4,43	0,42	0,24	0,68
	1.6.6	MSC	11	157	0,44	0,15	0,21	0,79	13	171	4,42	0,40	0,23	0,68
	2.12.12	keine	7	161	0,46	0,20	0,22	0,77	7	167	4,42	0,42	0,24	0,69
	2.12.12	SNVD	10	159	0,44	0,17	0,19	0,80	14	165	4,41	0,40	0,22	0,69
	2.12.12	MSC	11	159	0,44	0,16	0,19	0,81	6	170	4,42	0,42	0,26	0,63
	2.24.24	keine	8	168	0,43	0,25	0,28	0,58	14	169	4,42	0,43	0,24	0,69
	2.24.24	SNVD	8	164	0,43	0,23	0,25	0,66	14	166	4,41	0,40	0,23	0,65
	2.24.24	MSC	9	163	0,42	0,22	0,23	0,69	14	169	4,42	0,41	0,26	0,61

F: Anzahl der Regressionsfaktoren

**Tabelle 41 Kalibrierungsergebnisse für ungetrocknete (UG) und getrocknete (GG) Grassilageproben zur Schätzung des NH<sub>3</sub>-N-Gehaltes in %TM**

Regression	Ableitung	Streuungs-korrektur	UG						GG					
			F	n	$\bar{x}$	SD	SEC	R <sup>2</sup>	F	n	$\bar{x}$	SD	SEC	R <sup>2</sup>
PCR	0.0.1	keine	1	162	10,52	4,01	4,01	0,00	1	148	10,68	4,00	4,00	0,00
	0.0.1	SNVD	1	153	10,58	3,90	3,91	-0,01	1	156	10,57	3,94	3,86	0,04
	0.0.1	MSC	1	153	10,58	3,90	3,91	-0,01	1	149	10,59	3,99	3,97	0,01
	1.6.6	keine	1	153	10,52	3,65	3,65	0,00	1	155	10,59	3,99	3,94	0,02
	1.6.6	SNVD	1	156	10,55	3,88	3,89	-0,01	1	156	10,55	3,89	3,80	0,05
	1.6.6	MSC	1	156	10,55	3,88	3,89	-0,01	1	154	10,52	3,97	3,88	0,04
	2.12.12	keine	1	154	10,49	3,67	3,67	0,00	1	151	10,56	3,96	3,92	0,02
	2.12.12	SNVD	1	158	10,44	3,78	3,75	0,01	2	155	10,59	3,97	3,93	0,02
	2.12.12	MSC	1	158	10,44	3,77	3,75	0,01	1	150	10,57	4,00	3,95	0,02
	2.24.24	keine	1	157	10,42	3,67	3,68	-0,01	1	151	10,56	3,96	3,93	0,02
	2.24.24	SNVD	1	156	10,55	3,88	3,89	-0,01	1	151	10,58	3,94	3,88	0,03
	2.24.24	MSC	1	158	10,50	3,88	3,89	-0,01	1	150	10,57	4,00	3,94	0,03
PLS	0.0.1	keine	1	158	10,44	3,64	3,65	0,00	1	147	10,74	3,99	3,99	0,00
	0.0.1	SNVD	1	160	10,59	4,00	3,94	0,03	1	156	10,46	3,84	3,77	0,03
	0.0.1	MSC	1	156	10,50	3,75	3,73	0,01	1	155	10,54	3,94	3,92	0,01
	1.6.6	keine	1	154	10,49	3,67	3,67	0,00	1	149	10,68	3,95	3,90	0,03
	1.6.6	SNVD	1	160	10,49	3,88	3,81	0,03	3	151	10,56	3,84	3,53	0,16
	1.6.6	MSC	1	156	10,50	3,75	3,73	0,01	1	157	10,49	3,92	3,86	0,03
	2.12.12	keine	1	154	10,49	3,67	3,83	-0,01	1	153	10,56	3,98	3,92	0,03
	2.12.12	SNVD	1	159	10,42	3,77	3,74	0,02	1	151	10,45	3,75	3,68	0,04
	2.12.12	MSC	1	157	10,48	3,75	3,72	0,01	1	155	10,44	3,85	3,80	0,02
	2.24.24	keine	1	162	10,34	3,82	3,67	0,00	1	150	10,52	3,99	3,96	0,02
	2.24.24	SNVD	1	162	10,56	3,98	3,92	0,03	1	148	10,60	3,86	3,79	0,04
	2.24.24	MSC	1	158	10,44	3,78	3,74	0,02	1	149	10,56	3,95	3,91	0,02
MPLS	0.0.1	keine	1	159	10,31	3,69	3,69	0,00	1	147	10,74	3,99	3,98	0,00
	0.0.1	SNVD	1	159	10,62	3,99	3,94	0,02	1	152	10,53	3,79	3,73	0,03
	0.0.1	MSC	1	155	10,46	3,81	3,77	0,02	1	148	10,54	3,96	3,90	0,03
	1.6.6	keine	1	151	10,53	3,68	3,67	0,01	1	153	10,74	3,89	3,83	0,03
	1.6.6	SNVD	1	158	10,53	3,89	3,83	0,03	1	151	10,39	3,80	3,74	0,03
	1.6.6	MSC	1	156	10,50	3,75	3,72	0,02	1	155	10,56	3,91	3,80	0,05
	2.12.12	keine	1	151	10,51	3,68	3,66	0,01	1	151	10,66	4,00	3,92	0,04
	2.12.12	SNVD	1	158	10,50	3,89	3,84	0,03	1	147	10,54	3,84	3,75	0,05
	2.12.12	MSC	1	158	10,50	3,89	3,84	0,02	1	159	10,45	3,92	3,81	0,05
	2.24.24	keine	1	152	10,52	3,67	3,66	0,01	1	152	10,61	3,95	3,92	0,02
	2.24.24	SNVD	1	159	10,52	3,91	3,88	0,02	1	149	10,48	3,84	3,72	0,06
	2.24.24	MSC	1	154	10,45	3,81	3,79	0,01	1	155	10,47	3,87	3,81	0,03

F: Anzahl der Regressionsfaktoren



**Tabelle 42 Kreuzvalidationsergebnisse für ungetrocknete (UG) und getrocknete (GG) Grassilageproben zur Schätzung des NH<sub>3</sub>-N-Gehaltes in %TM**

Regression	Ableitung	Streuungs-korrektur	UG						GG					
			F	n	$\bar{x}$	SD	SECV	1-VR	F	n	$\bar{x}$	SD	SECV	1-VR
PCR	0.0.1	keine	1	162	10,52	4,01	4,07	-0,03	1	148	10,68	4,00	4,06	-0,01
	0.0.1	SNVD	1	153	10,58	3,90	3,93	-0,02	1	156	10,57	3,94	3,97	0,00
	0.0.1	MSC	1	153	10,58	3,90	3,92	-0,02	1	149	10,59	3,99	4,04	0,01
	1.6.6	keine	1	153	10,52	3,65	3,68	-0,01	1	155	10,59	3,99	4,02	0,02
	1.6.6	SNVD	1	156	10,55	3,88	3,90	-0,01	1	156	10,55	3,89	3,85	0,03
	1.6.6	MSC	1	156	10,55	3,88	3,88	0,00	1	154	10,52	3,97	3,93	0,04
	2.12.12	keine	1	154	10,49	3,67	3,69	-0,01	1	151	10,56	3,96	3,96	0,02
	2.12.12	SNVD	1	158	10,44	3,78	3,78	0,00	2	155	10,59	3,97	3,98	0,01
	2.12.12	MSC	1	158	10,44	3,77	3,76	0,00	1	150	10,57	4,00	4,02	0,01
	2.24.24	keine	1	157	10,42	3,67	3,70	-0,02	1	151	10,56	3,96	3,97	0,02
	2.24.24	SNVD	1	156	10,55	3,88	3,90	-0,01	1	151	10,58	3,94	3,93	0,02
	2.24.24	MSC	1	158	10,50	3,88	3,90	-0,01	1	150	10,57	4,00	4,01	0,01
PLS	0.0.1	keine	1	158	10,44	3,64	3,69	-0,02	1	147	10,74	3,99	4,09	-0,04
	0.0.1	SNVD	1	160	10,59	4,00	4,00	0,00	1	156	10,46	3,84	3,84	0,01
	0.0.1	MSC	1	156	10,50	3,75	3,81	-0,04	1	155	10,54	3,94	3,98	0,01
	1.6.6	keine	1	154	10,49	3,67	3,68	-0,01	1	149	10,68	3,95	4,01	0,00
	1.6.6	SNVD	1	160	10,49	3,88	3,90	-0,01	3	151	10,56	3,84	3,77	0,05
	1.6.6	MSC	1	156	10,50	3,75	3,81	-0,04	1	157	10,49	3,92	3,97	0,00
	2.12.12	keine	1	154	10,49	3,67	3,67	0,00	1	153	10,56	3,98	4,00	0,02
	2.12.12	SNVD	1	159	10,42	3,77	3,79	-0,01	1	151	10,45	3,75	3,77	0,01
	2.12.12	MSC	1	157	10,48	3,75	3,78	-0,02	1	155	10,44	3,85	3,90	0,00
	2.24.24	keine	1	162	10,34	3,82	3,87	-0,02	1	150	10,52	3,99	4,01	0,01
	2.24.24	SNVD	1	162	10,56	3,98	4,00	-0,01	1	148	10,60	3,86	3,84	0,02
	2.24.24	MSC	1	158	10,44	3,78	3,82	-0,03	1	149	10,56	3,95	4,00	0,01
MPLS	0.0.1	keine	1	159	10,31	3,69	3,75	-0,03	1	147	10,74	3,99	4,09	-0,04
	0.0.1	SNVD	1	159	10,62	3,99	4,04	-0,03	1	152	10,53	3,79	3,82	0,00
	0.0.1	MSC	1	155	10,46	3,81	3,84	-0,02	1	148	10,54	3,96	3,96	0,02
	1.6.6	keine	1	151	10,53	3,68	3,70	-0,01	1	153	10,74	3,89	4,00	-0,03
	1.6.6	SNVD	1	158	10,53	3,89	3,91	-0,01	1	151	10,39	3,80	3,86	-0,01
	1.6.6	MSC	1	156	10,50	3,75	3,85	-0,06	1	155	10,56	3,91	3,94	0,01
	2.12.12	keine	1	151	10,51	3,68	3,69	-0,01	1	151	10,66	4,00	4,05	0,01
	2.12.12	SNVD	1	158	10,50	3,89	3,91	-0,01	1	147	10,54	3,84	3,86	0,00
	2.12.12	MSC	1	158	10,50	3,89	3,94	-0,03	1	159	10,45	3,92	3,92	0,02
	2.24.24	keine	1	152	10,52	3,67	3,68	-0,01	1	152	10,61	3,95	4,02	-0,01
	2.24.24	SNVD	1	159	10,52	3,91	3,99	-0,04	1	149	10,48	3,84	3,82	0,02
	2.24.24	MSC	1	154	10,45	3,81	3,87	-0,04	1	155	10,47	3,87	3,91	0,01

F: Anzahl der Regressionsfaktoren

**Tabelle 43 Kalibrierungsergebnisse für ungetrocknete (UG) und getrocknete (GG) Grassilageproben zur Schätzung des Milchsäuregehaltes in %TM**

Regression				UG					GG						
	Ableitung	Streuungs-korrektur		F	n	$\bar{x}$	SD	SEC	R <sup>2</sup>	F	n	$\bar{x}$	SD	SEC	R <sup>2</sup>
PCR	0.0.1	keine		13	161	2,49	1,43	0,98	0,53	15	163	2,55	1,54	0,78	0,75
	0.0.1	SNVD		15	155	2,43	1,30	0,68	0,73	13	165	2,71	1,68	0,81	0,76
	0.0.1	MSC		15	150	2,43	1,34	0,72	0,71	15	165	2,63	1,65	0,80	0,77
	1.6.6	keine		14	158	2,42	1,34	0,66	0,75	12	161	2,56	1,55	0,72	0,78
	1.6.6	SNVD		14	153	2,42	1,32	0,66	0,75	12	163	2,68	1,60	0,79	0,76
	1.6.6	MSC		14	148	2,37	1,29	0,64	0,76	13	164	2,60	1,59	0,78	0,76
	2.12.12	keine		9	152	2,36	1,31	0,68	0,73	13	164	1,56	1,51	0,73	0,77
	2.12.12	SNVD		11	151	2,43	1,37	0,69	0,74	13	163	2,68	1,60	0,82	0,74
	2.12.12	MSC		14	154	2,42	1,30	0,63	0,77	13	163	2,64	1,56	0,80	0,73
	2.24.24	keine		15	162	2,49	1,38	0,78	0,68	10	166	2,51	1,47	0,89	0,64
	2.24.24	SNVD		14	157	2,46	1,36	0,76	0,68	11	165	2,67	1,61	0,90	0,68
	2.24.24	MSC		15	159	2,46	1,35	0,73	0,71	10	166	2,54	1,48	0,91	0,62
PLS	0.0.1	keine		12	162	2,50	1,45	0,75	0,73	13	164	2,68	1,60	0,73	0,80
	0.0.1	SNVD		15	164	2,66	1,66	0,76	0,79	9	162	2,71	1,69	0,78	0,79
	0.0.1	MSC		14	162	2,63	1,60	0,78	0,76	11	171	2,67	1,68	0,88	0,72
	1.6.6	keine		8	162	2,48	1,47	0,78	0,72	14	166	2,78	1,75	0,68	0,85
	1.6.6	SNVD		8	154	2,48	1,41	0,77	0,70	7	159	2,66	1,57	0,77	0,76
	1.6.6	MSC		10	155	2,42	1,33	0,59	0,80	14	166	2,73	1,72	0,73	0,82
	2.12.12	keine		12	157	2,46	1,34	0,58	0,81	14	162	2,74	1,63	0,66	0,84
	2.12.12	SNVD		9	152	2,38	1,31	0,54	0,83	9	162	2,68	1,53	0,70	0,79
	2.12.12	MSC		10	156	2,42	1,31	0,54	0,83	12	164	2,74	1,71	0,80	0,78
	2.24.24	keine		13	161	2,47	1,33	0,69	0,73	15	161	2,53	1,45	0,73	0,75
	2.24.24	SNVD		9	161	2,45	1,35	0,73	0,70	15	164	2,68	1,68	0,76	0,80
	2.24.24	MSC		10	160	2,47	1,34	0,72	0,71	13	164	2,58	1,48	0,80	0,71
MPLS	0.0.1	keine		15	166	2,63	1,66	0,78	0,78	15	166	2,70	1,67	0,73	0,81
	0.0.1	SNVD		14	160	2,52	1,50	0,74	0,76	9	165	2,69	1,63	0,79	0,77
	0.0.1	MSC		13	160	2,49	1,41	0,65	0,79	14	169	2,76	1,73	0,81	0,78
	1.6.6	keine		14	164	2,57	1,60	0,68	0,82	14	165	2,76	1,69	0,62	0,87
	1.6.6	SNVD		15	161	2,57	1,55	0,59	0,85	15	162	2,77	1,67	0,55	0,89
	1.6.6	MSC		7	155	2,41	1,34	0,61	0,79	12	165	2,70	1,69	0,75	0,80
	2.12.12	keine		15	155	2,46	1,42	0,58	0,83	9	164	2,70	1,65	0,72	0,81
	2.12.12	SNVD		10	156	2,41	1,37	0,58	0,82	11	163	2,81	1,75	0,69	0,84
	2.12.12	MSC		9	154	2,39	1,31	0,53	0,83	10	164	2,84	1,80	0,71	0,84
	2.24.24	keine		10	164	2,44	1,35	0,73	0,70	15	165	2,55	1,47	0,73	0,76
	2.24.24	SNVD		10	158	2,47	1,38	0,73	0,72	14	163	2,65	1,61	0,82	0,74
	2.24.24	MSC		13	158	2,43	1,31	0,66	0,75	14	165	2,59	1,57	0,86	0,70

F: Anzahl der Regressionsfaktoren

**Tabelle 44 Kreuzvalidationsergebnisse für ungetrocknete (UG) und getrocknete (GG) Grassilageproben zur Schätzung des Milchsäuregehaltes in %TM**

Regression	UG								GG					
	Ableitung	Streuungs-korrektur	F	n	$\bar{x}$	SD	SECV	1-VR	F	n	$\bar{x}$	SD	SECV	1-VR
PCR	0.0.1	keine	13	161	2,49	1,43	1,05	0,47	15	163	2,55	1,54	0,86	0,69
	0.0.1	SNVD	15	155	2,43	1,30	0,79	0,63	13	165	2,71	1,68	0,84	0,75
	0.0.1	MSC	15	150	2,43	1,34	0,80	0,65	15	165	2,63	1,65	0,83	0,75
	1.6.6	keine	14	158	2,42	1,34	0,70	0,73	12	161	2,56	1,55	0,75	0,77
	1.6.6	SNVD	14	153	2,42	1,32	0,70	0,72	12	163	2,68	1,60	0,83	0,74
	1.6.6	MSC	14	148	2,37	1,29	0,67	0,73	13	164	2,60	1,59	0,81	0,74
	2.12.12	keine	9	152	2,36	1,31	0,70	0,71	13	164	1,56	1,51	0,80	0,72
	2.12.12	SNVD	11	151	2,43	1,37	0,75	0,70	13	163	2,68	1,60	0,86	0,71
	2.12.12	MSC	14	154	2,42	1,30	0,67	0,74	13	163	2,64	1,56	0,87	0,69
	2.24.24	keine	15	162	2,49	1,38	0,84	0,64	10	166	2,51	1,47	0,93	0,61
	2.24.24	SNVD	14	157	2,46	1,36	0,84	0,62	11	165	2,67	1,61	0,94	0,66
	2.24.24	MSC	15	159	2,46	1,35	0,79	0,66	10	166	2,54	1,48	0,97	0,57
PLS	0.0.1	keine	12	162	2,50	1,45	0,85	0,66	13	164	2,68	1,60	0,84	0,73
	0.0.1	SNVD	15	164	2,66	1,66	0,94	0,68	9	162	2,71	1,69	0,84	0,75
	0.0.1	MSC	14	162	2,63	1,60	0,95	0,65	11	171	2,67	1,68	0,97	0,67
	1.6.6	keine	8	162	2,48	1,47	0,84	0,68	14	166	2,78	1,75	0,85	0,77
	1.6.6	SNVD	8	154	2,48	1,41	0,84	0,65	7	159	2,66	1,57	0,83	0,73
	1.6.6	MSC	10	155	2,42	1,33	0,67	0,75	14	166	2,73	1,72	0,93	0,71
	2.12.12	keine	12	157	2,46	1,34	0,69	0,73	14	162	2,74	1,63	0,79	0,77
	2.12.12	SNVD	9	152	2,38	1,31	0,62	0,78	9	162	2,68	1,53	0,77	0,75
	2.12.12	MSC	10	156	2,42	1,31	0,60	0,79	12	164	2,74	1,71	0,94	0,70
	2.24.24	keine	13	161	2,47	1,33	0,78	0,66	15	161	2,53	1,45	0,80	0,69
	2.24.24	SNVD	9	161	2,45	1,35	0,82	0,64	15	164	2,68	1,68	0,81	0,77
	2.24.24	MSC	10	160	2,47	1,34	0,82	0,63	13	164	2,58	1,48	0,86	0,67
MPLS	0.0.1	keine	15	166	2,63	1,66	0,99	0,65	15	166	2,70	1,67	0,86	0,74
	0.0.1	SNVD	14	160	2,52	1,50	0,92	0,63	9	165	2,69	1,63	0,85	0,73
	0.0.1	MSC	13	160	2,49	1,41	0,79	0,68	14	169	2,76	1,73	0,99	0,68
	1.6.6	keine	14	164	2,57	1,60	0,91	0,67	14	165	2,76	1,69	0,80	0,78
	1.6.6	SNVD	15	161	2,57	1,55	0,78	0,74	15	162	2,77	1,67	0,77	0,79
	1.6.6	MSC	7	155	2,41	1,34	0,72	0,72	12	165	2,70	1,69	0,89	0,73
	2.12.12	keine	15	155	2,46	1,42	0,75	0,72	9	164	2,70	1,65	0,87	0,73
	2.12.12	SNVD	10	156	2,41	1,37	0,67	0,76	11	163	2,81	1,75	0,85	0,76
	2.12.12	MSC	9	154	2,39	1,31	0,61	0,78	10	164	2,84	1,80	0,83	0,79
	2.24.24	keine	10	164	2,44	1,35	0,81	0,64	15	165	2,55	1,47	0,85	0,67
	2.24.24	SNVD	10	158	2,47	1,38	0,84	0,63	14	163	2,65	1,61	0,90	0,69
	2.24.24	MSC	13	158	2,43	1,31	0,76	0,67	14	165	2,59	1,57	0,92	0,66

F: Anzahl der Regressionsfaktoren

**Tabelle 45 Kalibrierungsergebnisse für ungetrocknete (UG) und getrocknete (GG) Grassilageproben zur Schätzung des Buttersäuregehaltes in %TM**

Regression	Ableitung	Streuungs- korrektur	UG						GG					
			F	n	$\bar{x}$	SD	SEC	R <sup>2</sup>	F	n	$\bar{x}$	SD	SEC	R <sup>2</sup>
PCR	0.0.1	keine	14	152	0,18	0,40	0,30	0,42	13	160	0,21	0,44	0,28	0,58
	0.0.1	SNVD	15	150	0,23	0,49	0,32	0,57	13	164	0,25	0,57	0,27	0,77
	0.0.1	MSC	15	146	0,19	0,38	0,25	0,54	12	164	0,22	0,47	0,28	0,64
	1.6.6	keine	15	151	0,20	0,45	0,31	0,54	15	163	0,25	0,56	0,25	0,80
	1.6.6	SNVD	13	147	0,19	0,38	0,26	0,55	14	165	0,24	0,53	0,25	0,78
	1.6.6	MSC	13	144	0,21	0,43	0,29	0,55	14	164	0,24	0,54	0,26	0,76
	2.12.12	keine	12	158	0,23	0,52	0,35	0,55	15	166	0,26	0,58	0,23	0,84
	2.12.12	SNVD	13	152	0,20	0,42	0,29	0,52	15	166	0,24	0,52	0,22	0,82
	2.12.12	MSC	13	146	0,19	0,38	0,27	0,51	15	166	0,22	0,47	0,24	0,75
	2.24.24	keine	12	153	0,17	0,37	0,27	0,46	9	159	0,18	0,36	0,29	0,34
	2.24.24	SNVD	15	156	0,23	0,48	0,32	0,55	13	163	0,24	0,54	0,29	0,71
	2.24.24	MSC	15	153	0,20	0,43	0,28	0,58	10	164	0,20	0,41	0,31	0,46
PLS	0.0.1	keine	15	152	0,23	0,51	0,20	0,84	15	163	0,26	0,57	0,20	0,87
	0.0.1	SNVD	15	152	0,30	0,64	0,24	0,86	13	163	0,26	0,58	0,19	0,90
	0.0.1	MSC	14	156	0,31	0,66	0,27	0,84	15	162	0,20	0,42	0,18	0,82
	1.6.6	keine	13	153	0,26	0,61	0,22	0,86	13	166	0,24	0,53	0,20	0,85
	1.6.6	SNVD	13	152	0,30	0,65	0,27	0,83	13	162	0,21	0,48	0,16	0,88
	1.6.6	MSC	7	153	0,24	0,54	0,31	0,67	15	165	0,24	0,56	0,18	0,90
	2.12.12	keine	12	163	0,25	0,57	0,28	0,77	8	163	0,24	0,50	0,22	0,81
	2.12.12	SNVD	10	150	0,27	0,58	0,31	0,71	13	160	0,20	0,42	0,16	0,86
	2.12.12	MSC	8	154	0,28	0,60	0,35	0,66	9	158	0,16	0,33	0,18	0,72
	2.24.24	keine	8	160	0,21	0,47	0,33	0,52	15	166	0,23	0,50	0,26	0,74
	2.24.24	SNVD	8	154	0,19	0,40	0,28	0,49	15	161	0,24	0,54	0,23	0,82
	2.24.24	MSC	7	153	0,19	0,41	0,29	0,50	14	163	0,22	0,47	0,25	0,71
MPLS	0.0.1	keine	15	151	0,25	0,55	0,22	0,84	15	165	0,27	0,58	0,19	0,90
	0.0.1	SNVD	13	152	0,25	0,54	0,26	0,76	14	159	0,22	0,53	0,16	0,90
	0.0.1	MSC	14	155	0,30	0,65	0,28	0,82	14	165	0,25	0,56	0,21	0,86
	1.6.6	keine	14	155	0,23	0,56	0,18	0,89	10	163	0,23	0,50	0,19	0,85
	1.6.6	SNVD	6	152	0,31	0,67	0,39	0,67	13	160	0,22	0,48	0,15	0,90
	1.6.6	MSC	6	152	0,25	0,56	0,32	0,68	12	163	0,22	0,49	0,20	0,84
	2.12.12	keine	12	157	0,24	0,56	0,24	0,82	11	164	0,24	0,53	0,21	0,85
	2.12.12	SNVD	5	151	0,26	0,57	0,35	0,62	13	163	0,20	0,42	0,17	0,84
	2.12.12	MSC	7	151	0,31	0,68	0,34	0,75	12	158	0,15	0,27	0,15	0,68
	2.24.24	keine	12	161	0,21	0,47	0,32	0,54	14	165	0,23	0,50	0,25	0,75
	2.24.24	SNVD	9	156	0,23	0,49	0,32	0,57	14	162	0,25	0,57	0,23	0,84
	2.24.24	MSC	9	153	0,19	0,38	0,26	0,54	15	162	0,21	0,45	0,23	0,74

F: Anzahl der Regressionsfaktoren

**Tabelle 46 Kreuzvalidationsergebnisse für ungetrocknete (UG) und getrocknete (GG) Grassilageproben zur Schätzung des Buttersäuregehaltes in %TM**

Regression	UG								GG					
	Ableitung	Streuungs-korrektur	F	n	$\bar{x}$	SD	SECV	1-VR	F	n	$\bar{x}$	SD	SECV	1-VR
PCR	0.0.1	keine	14	152	0,18	0,40	0,35	0,26	13	160	0,21	0,44	0,31	0,50
	0.0.1	SNVD	15	150	0,23	0,49	0,35	0,48	13	164	0,25	0,57	0,30	0,73
	0.0.1	MSC	15	146	0,19	0,38	0,29	0,44	12	164	0,22	0,47	0,32	0,54
	1.6.6	keine	15	151	0,20	0,45	0,34	0,45	15	163	0,25	0,56	0,27	0,77
	1.6.6	SNVD	13	147	0,19	0,38	0,27	0,49	14	165	0,24	0,53	0,28	0,73
	1.6.6	MSC	13	144	0,21	0,43	0,31	0,46	14	164	0,24	0,54	0,29	0,70
	2.12.12	keine	12	158	0,23	0,52	0,37	0,50	15	166	0,26	0,58	0,25	0,81
	2.12.12	SNVD	13	152	0,20	0,42	0,31	0,46	15	166	0,24	0,52	0,24	0,78
	2.12.12	MSC	13	146	0,19	0,38	0,29	0,43	15	166	0,22	0,47	0,28	0,65
	2.24.24	keine	12	153	0,17	0,37	0,28	0,42	9	159	0,18	0,36	0,31	0,25
	2.24.24	SNVD	15	156	0,23	0,48	0,36	0,45	13	163	0,24	0,54	0,32	0,65
	2.24.24	MSC	15	153	0,20	0,43	0,30	0,52	10	164	0,20	0,41	0,35	0,31
PLS	0.0.1	keine	15	152	0,23	0,51	0,26	0,75	15	163	0,26	0,57	0,25	0,80
	0.0.1	SNVD	15	152	0,30	0,64	0,30	0,78	13	163	0,26	0,58	0,22	0,86
	0.0.1	MSC	14	156	0,31	0,66	0,33	0,75	15	162	0,20	0,42	0,23	0,72
	1.6.6	keine	13	153	0,26	0,61	0,30	0,76	13	166	0,24	0,53	0,25	0,78
	1.6.6	SNVD	13	152	0,30	0,65	0,36	0,70	13	162	0,21	0,48	0,21	0,81
	1.6.6	MSC	7	153	0,24	0,54	0,36	0,56	15	165	0,24	0,56	0,23	0,84
	2.12.12	keine	12	163	0,25	0,57	0,32	0,69	8	163	0,24	0,50	0,26	0,75
	2.12.12	SNVD	10	150	0,27	0,58	0,38	0,57	13	160	0,20	0,42	0,19	0,79
	2.12.12	MSC	8	154	0,28	0,60	0,39	0,57	9	158	0,16	0,33	0,20	0,65
	2.24.24	keine	8	160	0,21	0,47	0,34	0,47	15	166	0,23	0,50	0,29	0,66
	2.24.24	SNVD	8	154	0,19	0,40	0,31	0,40	15	161	0,24	0,54	0,26	0,77
	2.24.24	MSC	7	153	0,19	0,41	0,33	0,38	14	163	0,22	0,47	0,31	0,59
MPLS	0.0.1	keine	15	151	0,25	0,55	0,28	0,74	15	165	0,27	0,58	0,22	0,85
	0.0.1	SNVD	13	152	0,25	0,54	0,32	0,65	14	159	0,22	0,53	0,21	0,85
	0.0.1	MSC	14	155	0,30	0,65	0,34	0,72	14	165	0,25	0,56	0,25	0,81
	1.6.6	keine	14	155	0,23	0,56	0,25	0,79	10	163	0,23	0,50	0,22	0,80
	1.6.6	SNVD	6	152	0,31	0,67	0,46	0,52	13	160	0,22	0,48	0,21	0,81
	1.6.6	MSC	6	152	0,25	0,56	0,39	0,51	12	163	0,22	0,49	0,24	0,77
	2.12.12	keine	12	157	0,24	0,56	0,30	0,72	11	164	0,24	0,53	0,25	0,79
	2.12.12	SNVD	5	151	0,26	0,57	0,41	0,48	13	163	0,20	0,42	0,20	0,76
	2.12.12	MSC	7	151	0,31	0,68	0,41	0,64	12	158	0,15	0,27	0,20	0,45
	2.24.24	keine	12	161	0,21	0,47	0,35	0,45	14	165	0,23	0,50	0,29	0,67
	2.24.24	SNVD	9	156	0,23	0,49	0,37	0,44	14	162	0,25	0,57	0,28	0,77
	2.24.24	MSC	9	153	0,19	0,38	0,30	0,38	15	162	0,21	0,45	0,28	0,62

F: Anzahl der Regressionsfaktoren

**Tabelle 47 Kalibrierungsergebnisse für ungetrocknete (UG) und getrocknete (GG) Grassilageproben zur Schätzung des Essigsäuregehaltes in %TM**

Regression	UG								GG					
	Ableitung	Streuungs-korrektur	F	n	$\bar{x}$	SD	SEC	R <sup>2</sup>	F	n	$\bar{x}$	SD	SEC	R <sup>2</sup>
PCR	0.0.1	keine	5	154	0,69	0,45	0,39	0,26	10	162	0,77	0,57	0,45	0,38
	0.0.1	SNVD	6	151	0,70	0,47	0,38	0,34	15	159	0,76	0,55	0,38	0,51
	0.0.1	MSC	11	147	0,68	0,43	0,34	0,37	9	161	0,76	0,55	0,41	0,43
	1.6.6	keine	14	154	0,68	0,44	0,35	0,37	13	164	0,77	0,57	0,39	0,53
	1.6.6	SNVD	13	145	0,71	0,47	0,36	0,43	12	160	0,76	0,55	0,39	0,50
	1.6.6	MSC	14	148	0,70	0,47	0,37	0,38	12	163	0,76	0,56	0,40	0,49
	2.12.12	keine	14	157	0,70	0,47	0,34	0,49	11	162	0,74	0,52	0,39	0,44
	2.12.12	SNVD	14	152	0,72	0,50	0,36	0,49	11	161	0,75	0,54	0,37	0,53
	2.12.12	MSC	14	152	0,72	0,50	0,37	0,44	11	163	0,75	0,54	0,38	0,51
	2.24.24	keine	12	157	0,69	0,45	0,34	0,42	13	160	0,75	0,54	0,43	0,35
	2.24.24	SNVD	12	154	0,71	0,48	0,38	0,36	13	163	0,76	0,55	0,43	0,38
	2.24.24	MSC	12	152	0,70	0,47	0,37	0,39	15	161	0,75	0,53	0,40	0,44
PLS	0.0.1	keine	14	156	0,74	0,55	0,29	0,72	15	162	0,78	0,59	0,30	0,74
	0.0.1	SNVD	13	155	0,75	0,54	0,32	0,66	14	160	0,76	0,56	0,30	0,71
	0.0.1	MSC	10	156	0,74	0,53	0,36	0,55	15	163	0,77	0,59	0,28	0,77
	1.6.6	keine	14	153	0,71	0,52	0,29	0,68	14	162	0,78	0,59	0,28	0,77
	1.6.6	SNVD	8	153	0,72	0,50	0,35	0,52	13	161	0,78	0,59	0,28	0,78
	1.6.6	MSC	8	154	0,72	0,50	0,34	0,54	15	160	0,75	0,54	0,26	0,77
	2.12.12	keine	9	151	0,71	0,50	0,32	0,60	13	159	0,75	0,55	0,30	0,69
	2.12.12	SNVD	9	149	0,72	0,49	0,33	0,57	12	161	0,76	0,55	0,30	0,71
	2.12.12	MSC	7	149	0,68	0,45	0,31	0,52	14	164	0,77	0,58	0,30	0,72
	2.24.24	keine	13	157	0,71	0,49	0,34	0,53	15	163	0,76	0,56	0,34	0,63
	2.24.24	SNVD	14	154	0,72	0,51	0,34	0,54	14	162	0,77	0,59	0,36	0,63
	2.24.24	MSC	14	157	0,73	0,51	0,35	0,54	15	165	0,79	0,60	0,35	0,66
MPLS	0.0.1	keine	12	160	0,73	0,54	0,34	0,61	12	160	0,73	0,54	0,34	0,34
	0.0.1	SNVD	10	151	0,71	0,50	0,31	0,61	10	151	0,71	0,50	0,31	0,31
	0.0.1	MSC	15	155	0,74	0,54	0,31	0,67	15	155	0,74	0,54	0,31	0,31
	1.6.6	keine	11	155	0,72	0,53	0,32	0,62	11	155	0,72	0,53	0,32	0,32
	1.6.6	SNVD	5	149	0,70	0,49	0,36	0,45	5	149	0,70	0,49	0,36	0,36
	1.6.6	MSC	10	152	0,75	0,54	0,31	0,65	10	152	0,75	0,54	0,31	0,31
	2.12.12	keine	10	152	0,72	0,52	0,31	0,63	10	152	0,72	0,52	0,31	0,31
	2.12.12	SNVD	7	147	0,71	0,49	0,32	0,58	7	147	0,71	0,49	0,32	0,32
	2.12.12	MSC	7	149	0,71	0,49	0,32	0,57	7	149	0,71	0,49	0,32	0,32
	2.24.24	keine	15	159	0,72	0,51	0,34	0,57	15	159	0,72	0,51	0,34	0,34
	2.24.24	SNVD	14	155	0,72	0,51	0,34	0,55	14	155	0,72	0,51	0,34	0,34
	2.24.24	MSC	15	153	0,71	0,51	0,33	0,59	15	153	0,71	0,51	0,33	0,33

F: Anzahl der Regressionsfaktoren

**Tabelle 48 Kreuzvalidationsergebnisse für ungetrocknete (UG) und getrocknete (GG) Grassilageproben zur Schätzung des Essigsäuregehaltes in %TM**

Regression	UG								GG					
	Ableitung	Streuungs-korrektur	F	n	$\bar{x}$	SD	SECV	1-VR	F	n	$\bar{x}$	SD	SECV	1-VR
PCR	0.0.1	keine	5	154	0,69	0,45	0,40	0,21	10	162	0,77	0,57	0,47	0,32
	0.0.1	SNVD	6	151	0,70	0,47	0,40	0,29	15	159	0,76	0,55	0,42	0,42
	0.0.1	MSC	11	147	0,68	0,43	0,35	0,34	9	161	0,76	0,55	0,43	0,38
	1.6.6	keine	14	154	0,68	0,44	0,37	0,29	13	164	0,77	0,57	0,42	0,46
	1.6.6	SNVD	13	145	0,71	0,47	0,38	0,35	12	160	0,76	0,55	0,42	0,43
	1.6.6	MSC	14	148	0,70	0,47	0,37	0,36	12	163	0,76	0,56	0,42	0,44
	2.12.12	keine	14	157	0,70	0,47	0,37	0,40	11	162	0,74	0,52	0,41	0,39
	2.12.12	SNVD	14	152	0,72	0,50	0,38	0,43	11	161	0,75	0,54	0,39	0,48
	2.12.12	MSC	14	152	0,72	0,50	0,39	0,38	11	163	0,75	0,54	0,40	0,46
	2.24.24	keine	12	157	0,69	0,45	0,36	0,36	13	160	0,75	0,54	0,46	0,28
	2.24.24	SNVD	12	154	0,71	0,48	0,40	0,29	13	163	0,76	0,55	0,46	0,30
	2.24.24	MSC	12	152	0,70	0,47	0,38	0,36	15	161	0,75	0,53	0,42	0,38
PLS	0.0.1	keine	14	156	0,74	0,55	0,35	0,59	15	162	0,78	0,59	0,37	0,61
	0.0.1	SNVD	13	155	0,75	0,54	0,38	0,51	14	160	0,76	0,56	0,37	0,57
	0.0.1	MSC	10	156	0,74	0,53	0,40	0,43	15	163	0,77	0,59	0,34	0,65
	1.6.6	keine	14	153	0,71	0,52	0,38	0,45	14	162	0,78	0,59	0,34	0,66
	1.6.6	SNVD	8	153	0,72	0,50	0,40	0,38	13	161	0,78	0,59	0,34	0,68
	1.6.6	MSC	8	154	0,72	0,50	0,39	0,39	15	160	0,75	0,54	0,32	0,65
	2.12.12	keine	9	151	0,71	0,50	0,37	0,44	13	159	0,75	0,55	0,35	0,59
	2.12.12	SNVD	9	149	0,72	0,49	0,37	0,43	12	161	0,76	0,55	0,35	0,60
	2.12.12	MSC	7	149	0,68	0,45	0,35	0,38	14	164	0,77	0,58	0,35	0,63
	2.24.24	keine	13	157	0,71	0,49	0,38	0,39	15	163	0,76	0,56	0,39	0,53
	2.24.24	SNVD	14	154	0,72	0,51	0,38	0,44	14	162	0,77	0,59	0,40	0,53
	2.24.24	MSC	14	157	0,73	0,51	0,40	0,40	15	165	0,79	0,60	0,42	0,51
MPLS	0.0.1	keine	12	160	0,73	0,54	0,41	0,44	12	160	0,73	0,54	0,61	0,54
	0.0.1	SNVD	10	151	0,71	0,50	0,36	0,49	10	151	0,71	0,50	0,61	0,50
	0.0.1	MSC	15	155	0,74	0,54	0,40	0,46	15	155	0,74	0,54	0,67	0,54
	1.6.6	keine	11	155	0,72	0,53	0,39	0,44	11	155	0,72	0,53	0,62	0,53
	1.6.6	SNVD	5	149	0,70	0,49	0,39	0,34	5	149	0,70	0,49	0,45	0,49
	1.6.6	MSC	10	152	0,75	0,54	0,40	0,45	10	152	0,75	0,54	0,65	0,54
	2.12.12	keine	10	152	0,72	0,52	0,36	0,51	10	152	0,72	0,52	0,63	0,52
	2.12.12	SNVD	7	147	0,71	0,49	0,37	0,45	7	147	0,71	0,49	0,58	0,49
	2.12.12	MSC	7	149	0,71	0,49	0,38	0,41	7	149	0,71	0,49	0,57	0,49
	2.24.24	keine	15	159	0,72	0,51	0,37	0,47	15	159	0,72	0,51	0,57	0,51
	2.24.24	SNVD	14	155	0,72	0,51	0,37	0,46	14	155	0,72	0,51	0,55	0,51
	2.24.24	MSC	15	153	0,71	0,51	0,38	0,45	15	153	0,71	0,51	0,59	0,51

F: Anzahl der Regressionsfaktoren

**Tabelle 49 Kalibrierungsergebnisse für ungetrocknete (UG) und getrocknete (GG) Grassilageproben zur Schätzung des Ethanolgehaltes in %TM**

Regression	Ableitung	Streuungs- korrektur	UG							GG						
			F	n	$\bar{x}$	SD	SEC	R <sup>2</sup>	F	n	$\bar{x}$	SD	SEC	R <sup>2</sup>		
PCR	0.0.1	keine	12	151	0,25	0,19	0,18	0,18	1	154	0,22	0,12	0,12	-0,01		
	0.0.1	SNVD	15	152	0,28	0,26	0,20	0,44	8	158	0,25	0,20	0,16	0,33		
	0.0.1	MSC	15	148	0,27	0,24	0,19	0,38	9	160	0,24	0,17	0,15	0,22		
	1.6.6	keine	15	156	0,27	0,25	0,18	0,45	15	161	0,25	0,19	0,14	0,43		
	1.6.6	SNVD	13	150	0,27	0,22	0,19	0,30	7	158	0,24	0,17	0,15	0,25		
	1.6.6	MSC	14	147	0,27	0,23	0,19	0,32	14	160	0,24	0,19	0,14	0,42		
	2.12.12	keine	11	156	0,26	0,22	0,18	0,33	13	162	0,24	0,17	0,14	0,32		
	2.12.12	SNVD	11	149	0,27	0,22	0,19	0,26	13	161	0,25	0,20	0,15	0,46		
	2.12.12	MSC	13	147	0,27	0,23	0,19	0,30	13	164	0,25	0,20	0,16	0,38		
	2.24.24	keine	13	157	0,27	0,24	0,19	0,37	1	158	0,23	0,14	0,14	-0,01		
	2.24.24	SNVD	13	154	0,25	0,19	0,16	0,31	1	161	0,23	0,16	0,16	0,00		
	2.24.24	MSC	12	154	0,25	0,21	0,18	0,21	1	160	0,23	0,14	0,14	-0,01		
PLS	0.0.1	keine	14	160	0,30	0,30	0,15	0,75	11	157	0,23	0,15	0,12	0,30		
	0.0.1	SNVD	13	158	0,31	0,33	0,17	0,75	13	157	0,26	0,22	0,13	0,65		
	0.0.1	MSC	12	156	0,29	0,28	0,18	0,60	14	161	0,26	0,22	0,13	0,65		
	1.6.6	keine	15	161	0,29	0,28	0,14	0,75	10	164	0,26	0,21	0,15	0,52		
	1.6.6	SNVD	8	156	0,28	0,27	0,18	0,54	15	157	0,24	0,17	0,11	0,61		
	1.6.6	MSC	8	156	0,29	0,28	0,19	0,53	10	157	0,24	0,17	0,12	0,50		
	2.12.12	keine	13	161	0,28	0,27	0,16	0,63	6	164	0,27	0,24	0,17	0,52		
	2.12.12	SNVD	10	151	0,28	0,25	0,17	0,52	13	161	0,27	0,24	0,15	0,62		
	2.12.12	MSC	6	153	0,28	0,26	0,19	0,47	13	159	0,24	0,17	0,12	0,51		
	2.24.24	keine	8	159	0,26	0,21	0,16	0,40	2	160	0,23	0,15	0,14	0,02		
	2.24.24	SNVD	7	151	0,25	0,20	0,17	0,33	3	161	0,24	0,18	0,17	0,18		
	2.24.24	MSC	7	153	0,26	0,22	0,17	0,36	1	156	0,22	0,11	0,11	0,01		
MPLS	0.0.1	keine	15	160	0,28	0,28	0,14	0,75	1	152	0,23	0,15	0,12	0,01		
	0.0.1	SNVD	12	158	0,30	0,31	0,18	0,66	13	155	0,26	0,22	0,13	0,54		
	0.0.1	MSC	12	158	0,29	0,28	0,17	0,64	14	158	0,26	0,22	0,12	0,72		
	1.6.6	keine	13	158	0,30	0,30	0,15	0,75	13	164	0,26	0,21	0,17	0,60		
	1.6.6	SNVD	7	153	0,28	0,26	0,20	0,45	9	155	0,24	0,17	0,12	0,57		
	1.6.6	MSC	8	153	0,28	0,27	0,19	0,52	12	161	0,24	0,17	0,15	0,56		
	2.12.12	keine	11	159	0,28	0,26	0,16	0,61	3	159	0,27	0,24	0,15	0,23		
	2.12.12	SNVD	9	153	0,28	0,26	0,17	0,54	6	157	0,27	0,24	0,13	0,49		
	2.12.12	MSC	7	154	0,29	0,28	0,19	0,52	7	159	0,24	0,17	0,13	0,48		
	2.24.24	keine	6	163	0,27	0,26	0,20	0,38	1	157	0,23	0,15	0,11	0,01		
	2.24.24	SNVD	10	152	0,25	0,20	0,16	0,33	1	152	0,24	0,18	0,11	0,02		
	2.24.24	MSC	8	153	0,26	0,22	0,19	0,32	1	145	0,22	0,11	0,12	0,02		

F: Anzahl der Regressionsfaktoren



**Tabelle 50 Kreuzvalidationsergebnisse für ungetrocknete (UG) und getrocknete (GG) Grassilageproben zur Schätzung des Ethanolgehaltes in %TM**

Regression	UG								GG					
	Ableitung	Streuungs-korrektur	F	n	$\bar{x}$	SD	SECV	1-VR	F	n	$\bar{x}$	SD	SECV	1-VR
PCR	0.0.1	keine	12	151	0,25	0,19	0,18	0,14	1	154	0,22	0,12	0,12	-0,01
	0.0.1	SNVD	15	152	0,28	0,26	0,20	0,41	8	158	0,25	0,20	0,18	0,24
	0.0.1	MSC	15	148	0,27	0,24	0,21	0,30	9	160	0,24	0,17	0,15	0,16
	1.6.6	keine	15	156	0,27	0,25	0,19	0,42	15	161	0,25	0,19	0,15	0,35
	1.6.6	SNVD	13	150	0,27	0,22	0,19	0,24	7	158	0,24	0,17	0,15	0,20
	1.6.6	MSC	14	147	0,27	0,23	0,19	0,31	14	160	0,24	0,19	0,16	0,30
	2.12.12	keine	11	156	0,26	0,22	0,19	0,25	13	162	0,24	0,17	0,15	0,22
	2.12.12	SNVD	11	149	0,27	0,22	0,20	0,18	13	161	0,25	0,20	0,16	0,35
	2.12.12	MSC	13	147	0,27	0,23	0,20	0,24	13	164	0,25	0,20	0,17	0,27
	2.24.24	keine	13	157	0,27	0,24	0,20	0,32	1	158	0,23	0,14	0,14	-0,01
	2.24.24	SNVD	13	154	0,25	0,19	0,16	0,27	1	161	0,23	0,16	0,16	-0,01
	2.24.24	MSC	12	154	0,25	0,21	0,18	0,22	1	160	0,23	0,14	0,14	-0,01
PLS	0.0.1	keine	14	160	0,30	0,30	0,18	0,63	11	157	0,23	0,15	0,14	0,13
	0.0.1	SNVD	13	158	0,31	0,33	0,19	0,66	13	157	0,26	0,22	0,16	0,48
	0.0.1	MSC	12	156	0,29	0,28	0,21	0,44	14	161	0,26	0,22	0,15	0,51
	1.6.6	keine	15	161	0,29	0,28	0,18	0,58	10	164	0,26	0,21	0,17	0,36
	1.6.6	SNVD	8	156	0,28	0,27	0,20	0,46	15	157	0,24	0,17	0,13	0,40
	1.6.6	MSC	8	156	0,29	0,28	0,20	0,48	10	157	0,24	0,17	0,13	0,39
	2.12.12	keine	13	161	0,28	0,27	0,19	0,48	6	164	0,27	0,24	0,19	0,38
	2.12.12	SNVD	10	151	0,28	0,25	0,19	0,44	13	161	0,27	0,24	0,18	0,45
	2.12.12	MSC	6	153	0,28	0,26	0,20	0,41	13	159	0,24	0,17	0,14	0,35
	2.24.24	keine	8	159	0,26	0,21	0,18	0,30	2	160	0,23	0,15	0,15	-0,02
	2.24.24	SNVD	7	151	0,25	0,20	0,18	0,25	3	161	0,24	0,18	0,17	0,10
	2.24.24	MSC	7	153	0,26	0,22	0,18	0,32	1	156	0,22	0,11	0,11	-0,01
MPLS	0.0.1	keine	15	160	0,28	0,28	0,18	0,60	1	152	0,23	0,15	0,12	-0,01
	0.0.1	SNVD	12	158	0,30	0,31	0,21	0,54	13	155	0,26	0,22	0,17	0,22
	0.0.1	MSC	12	158	0,29	0,28	0,21	0,45	14	158	0,26	0,22	0,14	0,60
	1.6.6	keine	13	158	0,30	0,30	0,19	0,59	13	164	0,26	0,21	0,21	0,40
	1.6.6	SNVD	7	153	0,28	0,26	0,22	0,29	9	155	0,24	0,17	0,15	0,33
	1.6.6	MSC	8	153	0,28	0,27	0,19	0,48	12	161	0,24	0,17	0,18	0,35
	2.12.12	keine	11	159	0,28	0,26	0,19	0,47	3	159	0,27	0,24	0,16	0,10
	2.12.12	SNVD	9	153	0,28	0,26	0,19	0,43	6	157	0,27	0,24	0,16	0,28
	2.12.12	MSC	7	154	0,29	0,28	0,21	0,45	7	159	0,24	0,17	0,15	0,33
	2.24.24	keine	6	163	0,27	0,26	0,22	0,29	1	157	0,23	0,15	0,12	0,00
	2.24.24	SNVD	10	152	0,25	0,20	0,18	0,21	1	152	0,24	0,18	0,12	-0,02
	2.24.24	MSC	8	153	0,26	0,22	0,20	0,23	1	145	0,22	0,11	0,12	-0,03

F: Anzahl der Regressionsfaktoren

**Tabelle 51 Kalibrierungsergebnisse für ungetrocknete (UG) und getrocknete (GG) Grassilageproben zur Schätzung des Propionsäuregehaltes in %TM**

Regression	Ableitung	Streuungs- korrektur	UG						GG					
			F	n	$\bar{x}$	SD	SEC	R <sup>2</sup>	F	n	$\bar{x}$	SD	SEC	R <sup>2</sup>
PCR	0.0.1	keine	14	150	0,02	0,06	0,04	0,54	10	162	0,04	0,10	0,07	0,51
	0.0.1	SNVD	7	152	0,03	0,07	0,06	0,29	12	156	0,04	0,09	0,06	0,59
	0.0.1	MSC	8	149	0,03	0,07	0,06	0,28	10	160	0,04	0,09	0,06	0,59
	1.6.6	keine	15	158	0,04	0,09	0,06	0,58	11	161	0,04	0,11	0,07	0,66
	1.6.6	SNVD	12	151	0,03	0,08	0,06	0,40	10	155	0,03	0,09	0,05	0,64
	1.6.6	MSC	14	143	0,03	0,07	0,05	0,49	11	163	0,04	0,11	0,06	0,69
	2.12.12	keine	15	159	0,03	0,09	0,06	0,56	15	161	0,04	0,11	0,06	0,71
	2.12.12	SNVD	13	156	0,04	0,09	0,06	0,49	6	160	0,03	0,09	0,06	0,57
	2.12.12	MSC	13	150	0,04	0,09	0,06	0,50	15	160	0,04	0,11	0,05	0,74
	2.24.24	keine	11	157	0,03	0,07	0,05	0,53	8	160	0,04	0,10	0,07	0,50
	2.24.24	SNVD	10	156	0,03	0,08	0,07	0,39	9	159	0,04	0,09	0,06	0,57
	2.24.24	MSC	10	155	0,03	0,08	0,06	0,43	9	160	0,04	0,09	0,07	0,48
PLS	0.0.1	keine	13	158	0,04	0,09	0,05	0,72	13	158	0,04	0,11	0,05	0,78
	0.0.1	SNVD	13	153	0,04	0,10	0,05	0,70	13	153	0,03	0,09	0,04	0,78
	0.0.1	MSC	13	155	0,04	0,10	0,06	0,69	14	156	0,04	0,10	0,04	0,81
	1.6.6	keine	9	150	0,04	0,09	0,05	0,68	12	156	0,04	0,11	0,05	0,80
	1.6.6	SNVD	9	153	0,04	0,10	0,06	0,63	12	154	0,03	0,09	0,04	0,81
	1.6.6	MSC	8	156	0,04	0,09	0,06	0,59	8	154	0,03	0,08	0,05	0,66
	2.12.12	keine	9	153	0,03	0,09	0,05	0,64	11	156	0,03	0,09	0,05	0,70
	2.12.12	SNVD	8	150	0,03	0,08	0,06	0,57	10	157	0,03	0,09	0,04	0,75
	2.12.12	MSC	7	154	0,04	0,09	0,06	0,55	9	155	0,03	0,10	0,05	0,75
	2.24.24	keine	14	157	0,03	0,09	0,05	0,60	15	159	0,04	0,11	0,06	0,73
	2.24.24	SNVD	7	154	0,03	0,08	0,06	0,42	14	159	0,04	0,11	0,05	0,77
	2.24.24	MSC	13	157	0,04	0,09	0,06	0,55	14	161	0,04	0,11	0,06	0,70
MPLS	0.0.1	keine	13	155	0,03	0,09	0,05	0,65	12	159	0,04	0,11	0,05	0,76
	0.0.1	SNVD	10	154	0,04	0,10	0,06	0,66	13	155	0,04	0,12	0,04	0,87
	0.0.1	MSC	10	155	0,03	0,08	0,05	0,60	14	155	0,03	0,10	0,04	0,85
	1.6.6	keine	8	151	0,03	0,08	0,05	0,62	7	154	0,03	0,09	0,05	0,65
	1.6.6	SNVD	8	152	0,04	0,10	0,06	0,64	12	151	0,03	0,08	0,04	0,80
	1.6.6	MSC	8	154	0,04	0,09	0,06	0,58	10	151	0,03	0,08	0,04	0,75
	2.12.12	keine	7	156	0,04	0,10	0,06	0,66	7	157	0,03	0,09	0,05	0,61
	2.12.12	SNVD	7	153	0,04	0,10	0,06	0,59	11	151	0,02	0,06	0,04	0,63
	2.12.12	MSC	6	148	0,04	0,10	0,06	0,61	8	156	0,03	0,07	0,05	0,61
	2.24.24	keine	9	158	0,03	0,09	0,06	0,57	14	159	0,04	0,11	0,06	0,74
	2.24.24	SNVD	14	153	0,03	0,08	0,06	0,57	15	156	0,04	0,11	0,04	0,83
	2.24.24	MSC	10	153	0,03	0,08	0,06	0,51	14	161	0,04	0,12	0,06	0,77

F: Anzahl der Regressionsfaktoren

**Tabelle 52 Kreuzvalidationsergebnisse für ungetrocknete (UG) und getrocknete (GG) Grassilageproben zur Schätzung des Propionsäuregehaltes in %TM**

Regression	UG								GG					
	Ableitung	Streuungs-korrektur	F	n	$\bar{x}$	SD	SECV	1-VR	F	n	$\bar{x}$	SD	SECV	1-VR
PCR	0.0.1	keine	14	150	0,02	0,06	0,05	0,46	10	162	0,04	0,10	0,07	0,47
	0.0.1	SNVD	7	152	0,03	0,07	0,06	0,21	12	156	0,04	0,09	0,06	0,54
	0.0.1	MSC	8	149	0,03	0,07	0,06	0,22	10	160	0,04	0,09	0,06	0,56
	1.6.6	keine	15	158	0,04	0,09	0,06	0,53	11	161	0,04	0,11	0,07	0,59
	1.6.6	SNVD	12	151	0,03	0,08	0,07	0,33	10	155	0,03	0,09	0,06	0,60
	1.6.6	MSC	14	143	0,03	0,07	0,06	0,41	11	163	0,04	0,11	0,07	0,64
	2.12.12	keine	15	159	0,03	0,09	0,06	0,48	15	161	0,04	0,11	0,07	0,61
	2.12.12	SNVD	13	156	0,04	0,09	0,07	0,41	6	160	0,03	0,09	0,06	0,53
	2.12.12	MSC	13	150	0,04	0,09	0,07	0,41	15	160	0,04	0,11	0,06	0,69
	2.24.24	keine	11	157	0,03	0,07	0,06	0,43	8	160	0,04	0,10	0,07	0,47
	2.24.24	SNVD	10	156	0,03	0,08	0,07	0,30	9	159	0,04	0,09	0,06	0,53
	2.24.24	MSC	10	155	0,03	0,08	0,06	0,35	9	160	0,04	0,09	0,07	0,45
PLS	0.0.1	keine	13	158	0,04	0,09	0,06	0,59	13	158	0,04	0,11	0,06	0,69
	0.0.1	SNVD	13	153	0,04	0,10	0,07	0,55	13	153	0,03	0,09	0,05	0,66
	0.0.1	MSC	13	155	0,04	0,10	0,07	0,47	14	156	0,04	0,10	0,05	0,71
	1.6.6	keine	9	150	0,04	0,09	0,06	0,56	12	156	0,04	0,11	0,06	0,71
	1.6.6	SNVD	9	153	0,04	0,10	0,07	0,49	12	154	0,03	0,09	0,05	0,71
	1.6.6	MSC	8	156	0,04	0,09	0,07	0,48	8	154	0,03	0,08	0,05	0,59
	2.12.12	keine	9	153	0,03	0,09	0,06	0,54	11	156	0,03	0,09	0,06	0,62
	2.12.12	SNVD	8	150	0,03	0,08	0,06	0,43	10	157	0,03	0,09	0,05	0,66
	2.12.12	MSC	7	154	0,04	0,09	0,07	0,46	9	155	0,03	0,10	0,05	0,68
	2.24.24	keine	14	157	0,03	0,09	0,06	0,49	15	159	0,04	0,11	0,07	0,62
	2.24.24	SNVD	7	154	0,03	0,08	0,07	0,27	14	159	0,04	0,11	0,06	0,69
	2.24.24	MSC	13	157	0,04	0,09	0,07	0,46	14	161	0,04	0,11	0,07	0,64
MPLS	0.0.1	keine	13	155	0,03	0,09	0,06	0,50	12	159	0,04	0,11	0,06	0,66
	0.0.1	SNVD	10	154	0,04	0,10	0,07	0,51	13	155	0,04	0,12	0,05	0,82
	0.0.1	MSC	10	155	0,03	0,08	0,06	0,41	14	155	0,03	0,10	0,05	0,77
	1.6.6	keine	8	151	0,03	0,08	0,06	0,47	7	154	0,03	0,09	0,06	0,58
	1.6.6	SNVD	8	152	0,04	0,10	0,07	0,50	12	151	0,03	0,08	0,04	0,70
	1.6.6	MSC	8	154	0,04	0,09	0,07	0,43	10	151	0,03	0,08	0,05	0,63
	2.12.12	keine	7	156	0,04	0,10	0,06	0,57	7	157	0,03	0,09	0,06	0,50
	2.12.12	SNVD	7	153	0,04	0,10	0,07	0,44	11	151	0,02	0,06	0,05	0,41
	2.12.12	MSC	6	148	0,04	0,10	0,07	0,50	8	156	0,03	0,07	0,05	0,48
	2.24.24	keine	9	158	0,03	0,09	0,06	0,46	14	159	0,04	0,11	0,07	0,64
	2.24.24	SNVD	14	153	0,03	0,08	0,07	0,41	15	156	0,04	0,11	0,06	0,74
	2.24.24	MSC	10	153	0,03	0,08	0,06	0,37	14	161	0,04	0,12	0,07	0,71

F: Anzahl der Regressionsfaktoren

**Tabelle 53 Kalibrierungsergebnisse für ungetrocknete (UG) und getrocknete (GG) Grassilageproben zur Schätzung der DLG-Punkte**

Regression				UG					GG						
	Ableitung	Streuungs-korrektur		F	n	$\bar{x}$	SD	SEC	R <sup>2</sup>	F	n	$\bar{x}$	SD	SEC	R <sup>2</sup>
PCR	0.0.1	keine		14	166	74,13	22,41	13,89	0,62	4	167	75,91	18,63	15,83	0,28
	0.0.1	SNVD		15	160	73,98	23,07	13,63	0,65	13	166	75,14	20,90	13,28	0,60
	0.0.1	MSC		15	158	73,70	23,12	13,57	0,66	7	164	75,41	20,15	15,70	0,39
	1.6.6	keine		15	170	73,40	23,37	12,36	0,72	7	163	76,55	18,33	14,27	0,39
	1.6.6	SNVD		15	159	73,98	23,20	11,59	0,75	12	163	75,98	19,92	13,42	0,55
	1.6.6	MSC		10	156	73,80	22,86	13,52	0,65	9	165	75,69	19,96	14,58	0,47
	2.12.12	keine		12	164	74,14	22,91	12,90	0,68	15	171	73,92	21,96	13,69	0,61
	2.12.12	SNVD		11	157	74,24	23,41	12,52	0,71	15	166	75,14	20,90	12,00	0,67
	2.12.12	MSC		12	155	73,80	23,81	12,14	0,74	15	165	75,47	20,26	12,20	0,64
	2.24.24	keine		11	168	73,96	22,93	13,24	0,67	7	166	75,37	19,56	15,70	0,36
	2.24.24	SNVD		11	168	74,23	22,75	14,65	0,59	12	163	76,70	18,00	13,90	0,40
	2.24.24	MSC		11	164	74,66	22,69	13,44	0,65	10	164	76,11	19,07	13,76	0,48
PLS	0.0.1	keine		13	169	73,82	23,06	11,40	0,76	15	169	74,37	21,75	11,43	0,72
	0.0.1	SNVD		14	163	73,15	24,29	10,00	0,83	14	168	74,47	21,11	11,28	0,71
	0.0.1	MSC		12	160	74,49	22,62	10,59	0,78	12	167	74,87	20,66	12,19	0,65
	1.6.6	keine		9	165	72,84	23,75	11,40	0,77	11	171	73,92	21,96	11,82	0,71
	1.6.6	SNVD		12	162	72,94	23,85	9,64	0,84	12	164	75,74	19,64	10,62	0,71
	1.6.6	MSC		9	166	73,32	23,75	11,03	0,78	11	166	75,33	19,88	11,11	0,69
	2.12.12	keine		11	161	73,23	23,88	10,28	0,81	9	169	73,92	22,08	11,72	0,72
	2.12.12	SNVD		14	159	73,82	24,32	9,62	0,84	9	161	76,42	18,75	10,47	0,69
	2.12.12	MSC		13	156	73,70	23,91	9,31	0,85	10	164	75,83	19,09	11,17	0,66
	2.24.24	keine		8	168	73,45	23,20	12,83	0,69	14	165	74,13	21,85	13,61	0,61
	2.24.24	SNVD		12	166	74,88	21,71	12,20	0,68	5	163	76,45	18,47	13,67	0,45
	2.24.24	MSC		15	160	74,29	22,70	11,04	0,76	6	165	75,56	20,12	14,45	0,48
MPLS	0.0.1	keine		10	166	73,81	23,16	11,97	0,73	14	169	73,96	22,11	12,00	0,71
	0.0.1	SNVD		12	160	73,41	23,74	10,22	0,81	15	170	74,21	21,16	11,60	0,70
	0.0.1	MSC		15	162	74,08	22,95	9,50	0,83	14	169	74,56	21,15	12,27	0,66
	1.6.6	keine		8	165	73,30	23,58	11,21	0,77	11	168	74,37	21,82	11,54	0,72
	1.6.6	SNVD		7	158	74,53	22,59	10,04	0,80	11	163	76,18	18,55	10,94	0,65
	1.6.6	MSC		8	160	72,82	24,41	11,02	0,80	13	165	76,05	18,70	11,27	0,64
	2.12.12	keine		8	165	73,64	23,13	10,62	0,79	8	171	73,92	21,96	12,46	0,68
	2.12.12	SNVD		10	157	73,70	23,75	9,39	0,84	9	163	75,60	19,63	10,76	0,70
	2.12.12	MSC		7	156	73,66	24,34	10,17	0,83	9	166	75,64	19,54	11,49	0,65
	2.24.24	keine		11	168	73,71	22,93	12,56	0,70	12	168	73,96	21,74	14,27	0,57
	2.24.24	SNVD		15	163	74,77	21,88	11,37	0,73	12	163	74,96	21,00	13,00	0,62
	2.24.24	MSC		14	162	74,94	21,83	11,31	0,73	4	164	76,37	18,45	13,91	0,43

F: Anzahl der Regressionsfaktoren

**Tabelle 54 Kreuzvalidationsergebnisse für ungetrocknete (UG) und getrocknete (GG) Grassilageproben zur Schätzung der DLG-Punkte**

Regression	UG								GG					
	Ableitung	Streuungs-korrektur	F	n	$\bar{x}$	SD	SECV	1-VR	F	n	$\bar{x}$	SD	SECV	1-VR
PCR	0.0.1	keine	14	166	74,13	22,41	14,46	0,58	4	167	75,91	18,63	16,43	0,22
	0.0.1	SNVD	15	160	73,98	23,07	14,47	0,61	13	166	75,14	20,90	14,26	0,53
	0.0.1	MSC	15	158	73,70	23,12	14,44	0,61	7	164	75,41	20,15	16,22	0,35
	1.6.6	keine	15	170	73,40	23,37	12,91	0,70	7	163	76,55	18,33	14,74	0,35
	1.6.6	SNVD	15	159	73,98	23,20	12,64	0,70	12	163	75,98	19,92	14,13	0,50
	1.6.6	MSC	10	156	73,80	22,86	13,88	0,63	9	165	75,69	19,96	15,04	0,43
	2.12.12	keine	12	164	74,14	22,91	13,60	0,65	15	171	73,92	21,96	14,57	0,56
	2.12.12	SNVD	11	157	74,24	23,41	13,67	0,66	15	166	75,14	20,90	12,87	0,62
	2.12.12	MSC	12	155	73,80	23,81	12,58	0,72	15	165	75,47	20,26	13,35	0,56
	2.24.24	keine	11	168	73,96	22,93	13,67	0,65	7	166	75,37	19,56	16,29	0,30
	2.24.24	SNVD	11	168	74,23	22,75	15,77	0,52	12	163	76,70	18,00	14,39	0,36
	2.24.24	MSC	11	164	74,66	22,69	14,08	0,62	10	164	76,11	19,07	14,53	0,42
PLS	0.0.1	keine	13	169	73,82	23,06	13,24	0,67	15	169	74,37	21,75	13,34	0,62
	0.0.1	SNVD	14	163	73,15	24,29	12,38	0,74	14	168	74,47	21,11	13,12	0,61
	0.0.1	MSC	12	160	74,49	22,62	12,28	0,71	12	167	74,87	20,66	13,72	0,56
	1.6.6	keine	9	165	72,84	23,75	12,57	0,72	11	171	73,92	21,96	13,74	0,61
	1.6.6	SNVD	12	162	72,94	23,85	12,01	0,75	12	164	75,74	19,64	12,27	0,61
	1.6.6	MSC	9	166	73,32	23,75	12,13	0,74	11	166	75,33	19,88	12,87	0,58
	2.12.12	keine	11	161	73,23	23,88	11,63	0,76	9	169	73,92	22,08	12,80	0,66
	2.12.12	SNVD	14	159	73,82	24,32	12,06	0,75	9	161	76,42	18,75	11,37	0,63
	2.12.12	MSC	13	156	73,70	23,91	12,69	0,72	10	164	75,83	19,09	12,50	0,57
	2.24.24	keine	8	168	73,45	23,20	13,97	0,64	14	165	74,13	21,85	14,90	0,54
	2.24.24	SNVD	12	166	74,88	21,71	13,90	0,59	5	163	76,45	18,47	14,55	0,38
	2.24.24	MSC	15	160	74,29	22,70	11,86	0,73	6	165	75,56	20,12	15,22	0,43
MPLS	0.0.1	keine	10	166	73,81	23,16	12,71	0,70	14	169	73,96	22,11	13,65	0,62
	0.0.1	SNVD	12	160	73,41	23,74	11,42	0,77	15	170	74,21	21,16	14,08	0,56
	0.0.1	MSC	15	162	74,08	22,95	11,86	0,73	14	169	74,56	21,15	14,48	0,53
	1.6.6	keine	8	165	73,30	23,58	12,60	0,72	11	168	74,37	21,82	12,78	0,66
	1.6.6	SNVD	7	158	74,53	22,59	11,01	0,76	11	163	76,18	18,55	12,89	0,52
	1.6.6	MSC	8	160	72,82	24,41	12,66	0,73	13	165	76,05	18,70	13,40	0,48
	2.12.12	keine	8	165	73,64	23,13	12,11	0,73	8	171	73,92	21,96	13,78	0,61
	2.12.12	SNVD	10	157	73,70	23,75	10,52	0,80	9	163	75,60	19,63	12,39	0,60
	2.12.12	MSC	7	156	73,66	24,34	11,17	0,79	9	166	75,64	19,54	12,98	0,56
	2.24.24	keine	11	168	73,71	22,93	13,97	0,63	12	168	73,96	21,74	15,37	0,50
	2.24.24	SNVD	15	163	74,77	21,88	12,36	0,68	12	163	74,96	21,00	14,41	0,53
	2.24.24	MSC	14	162	74,94	21,83	12,55	0,67	4	164	76,37	18,45	14,69	0,36

F: Anzahl der Regressionsfaktoren

## A.2 Validationsergebnisse

**Tabelle 55** Validationsergebnisse für ungetrocknete Grassilageproben zur Schätzung der Trockenmasse (% FM)

Regression	Ableitung	Streuungs- korrektur	UG					
			SEP	bias	SEP(C)	slope	R <sup>2</sup>	RPD
PCR	0.0.1	keine	4,26	-1,35	4,07	0,99	0,80	2,11
	0.0.1	SNVD	2,65	-2,23	1,44	1,03	0,98	3,40
	0.0.1	MSC	3,06	-2,68	1,50	0,99	0,97	2,93
	1.6.6	keine	3,36	-2,33	2,44	1,13	0,94	2,68
	1.6.6	SNVD	3,11	-2,64	1,66	1,05	0,97	2,88
	1.6.6	MSC	2,75	-2,25	1,59	1,05	0,97	3,27
	2.12.12	keine	2,94	-2,10	2,08	1,11	0,96	3,06
	2.12.12	SNVD	2,43	-1,98	1,43	1,03	0,98	3,69
	2.12.12	MSC	2,70	-2,25	1,50	1,02	0,97	3,33
	2.24.24	keine	3,29	-2,50	2,16	1,08	0,95	2,73
	2.24.24	SNVD	3,32	-2,57	2,12	0,94	0,95	2,71
	2.24.24	MSC	2,03	-1,42	1,46	1,03	0,97	4,43
PLS	0.0.1	keine	2,80	-2,04	1,93	1,11	0,96	3,21
	0.0.1	SNVD	1,75	-0,69	1,62	0,96	0,97	5,15
	0.0.1	MSC	1,49	-0,45	1,43	0,96	0,98	6,05
	1.6.6	keine	2,75	-2,28	1,56	1,10	0,98	3,26
	1.6.6	SNVD	2,48	-1,85	1,67	0,94	0,97	3,62
	1.6.6	MSC	2,93	-2,33	1,79	0,93	0,97	3,06
	2.12.12	keine	2,92	-2,10	2,05	1,12	0,96	3,07
	2.12.12	SNVD	2,65	-2,19	1,49	0,97	0,97	3,39
	2.12.12	MSC	2,58	-2,07	1,55	0,96	0,97	3,48
	2.24.24	keine	2,76	-2,05	1,87	1,09	0,96	3,25
	2.24.24	SNVD	2,71	-2,11	1,72	0,98	0,96	3,31
	2.24.24	MSC	2,32	-1,70	1,59	1,00	0,97	3,87
MPLS	0.0.1	keine	2,99	-1,68	2,49	1,11	0,93	3,00
	0.0.1	SNVD	1,70	-0,60	1,60	0,98	0,97	5,29
	0.0.1	MSC	1,75	-0,50	1,69	0,97	0,97	5,13
	1.6.6	keine	3,42	-3,07	1,52	1,12	0,98	2,63
	1.6.6	SNVD	2,16	-1,58	1,48	1,00	0,97	4,16
	1.6.6	MSC	2,16	-1,52	1,56	0,99	0,97	4,15
	2.12.12	keine	3,11	-2,39	2,01	1,12	0,96	2,89
	2.12.12	SNVD	2,51	-2,09	1,42	1,00	0,98	3,57
	2.12.12	MSC	2,60	-2,17	1,44	0,99	0,97	3,46
	2.24.24	keine	2,84	-2,20	1,80	1,09	0,97	3,16
	2.24.24	SNVD	2,74	-2,00	1,89	0,97	0,96	3,28
	2.24.24	MSC	2,00	-1,26	1,56	1,02	0,97	4,50

**Tabelle 56** Validationsergebnisse für ungetrocknete (UG) und getrocknete (GG) Grassilageproben zur Schätzung des Rohproteingehaltes (% TM)

Regression	UG								GG					
	Ableitung	Streuungs-korrektur	SEP	bias	SEP(C)	slope	R <sup>2</sup>	RPD	SEP	bias	SEP(C)	slope	R <sup>2</sup>	RPD
PCR	0.0.1	keine	6,41	5,49	3,34	0,21	0,07	0,37	1,84	-0,53	1,78	0,82	0,46	1,29
	0.0.1	SNVD	5,69	4,88	2,95	0,27	0,09	0,42	2,06	0,40	2,03	0,74	0,31	1,16
	0.0.1	MSC	6,27	5,30	3,37	0,20	0,07	0,38	2,01	0,07	2,02	0,70	0,34	1,19
	1.6.6	keine	6,39	5,41	3,43	0,23	0,10	0,37	2,03	-0,64	1,95	0,70	0,41	1,17
	1.6.6	SNVD	5,11	4,14	3,02	0,29	0,13	0,47	2,10	-0,06	2,11	0,65	0,30	1,13
	1.6.6	MSC	5,80	4,70	3,43	0,22	0,09	0,41	2,06	-0,21	2,07	0,65	0,35	1,15
	2.12.12	keine	2,12	1,00	1,88	0,79	0,40	1,12	1,74	0,37	1,72	1,00	0,48	1,36
	2.12.12	SNVD	2,23	0,47	2,20	0,63	0,23	1,07	2,00	0,25	2,00	0,72	0,35	1,19
	2.12.12	MSC	2,29	0,62	2,22	0,62	0,21	1,04	2,07	0,05	2,08	0,65	0,34	1,15
	2.24.24	keine	2,66	1,92	1,86	0,78	0,42	0,89	1,81	-0,27	1,80	0,76	0,47	1,32
	2.24.24	SNVD	2,24	1,11	1,96	0,71	0,39	1,06	1,99	0,56	1,92	0,74	0,40	1,20
	2.24.24	MSC	3,12	2,12	2,30	0,53	0,30	0,76	1,87	0,05	1,88	0,75	0,42	1,27
PLS	0.0.1	keine	3,04	0,99	2,90	0,37	0,25	0,78	1,95	1,48	1,29	1,06	0,71	1,22
	0.0.1	SNVD	3,11	1,40	2,80	0,37	0,21	0,77	2,21	1,85	1,21	1,12	0,75	1,08
	0.0.1	MSC	2,64	1,21	2,36	0,51	0,27	0,90	2,33	1,98	1,23	1,05	0,73	1,02
	1.6.6	keine	5,02	3,18	3,91	0,24	0,19	0,47	2,02	1,64	1,18	0,94	0,76	1,18
	1.6.6	SNVD	4,22	3,00	2,99	0,33	0,19	0,56	2,24	1,93	1,14	0,95	0,78	1,06
	1.6.6	MSC	4,12	2,84	3,01	0,33	0,19	0,58	2,16	1,85	1,13	1,05	0,78	1,10
	2.12.12	keine	3,41	2,32	2,52	0,46	0,30	0,70	1,51	1,16	0,98	0,91	0,84	1,57
	2.12.12	SNVD	2,75	1,89	2,02	0,67	0,37	0,87	1,58	1,23	0,99	0,94	0,83	1,51
	2.12.12	MSC	3,06	1,98	2,36	0,51	0,30	0,78	1,61	1,28	0,99	0,98	0,83	1,47
	2.24.24	keine	2,54	1,63	1,96	0,72	0,38	0,94	1,77	-0,13	1,77	0,81	0,47	1,35
	2.24.24	SNVD	2,83	1,57	2,37	0,50	0,31	0,84	1,92	0,44	1,88	0,82	0,39	1,24
	2.24.24	MSC	3,36	2,39	2,38	0,50	0,28	0,71	1,97	0,29	1,97	0,73	0,37	1,21
MPLS	0.0.1	keine	2,86	0,80	2,77	0,39	0,25	0,83	1,56	1,12	1,09	0,93	0,80	1,53
	0.0.1	SNVD	3,34	1,00	3,21	0,29	0,17	0,71	2,08	1,80	1,05	1,03	0,81	1,14
	0.0.1	MSC	2,71	1,14	2,48	0,47	0,29	0,88	2,00	1,63	1,17	1,07	0,76	1,19
	1.6.6	keine	3,72	2,22	3,02	0,36	0,28	0,64	1,61	1,21	1,06	1,00	0,80	1,48
	1.6.6	SNVD	5,16	3,79	3,54	0,26	0,17	0,46	1,94	1,68	0,97	1,00	0,84	1,23
	1.6.6	MSC	4,41	3,36	2,88	0,36	0,21	0,54	2,07	1,83	0,99	0,93	0,83	1,15
	2.12.12	keine	2,50	-0,12	2,51	0,46	0,33	0,95	1,18	0,42	1,11	0,91	0,79	2,02
	2.12.12	SNVD	2,12	1,27	1,71	1,00	0,49	1,12	1,46	0,86	1,19	0,92	0,76	1,63
	2.12.12	MSC	2,45	1,36	2,05	0,66	0,35	0,97	1,47	0,84	1,22	0,89	0,75	1,62
	2.24.24	keine	2,30	0,87	2,14	0,59	0,35	1,04	1,67	0,25	1,66	0,96	0,51	1,43
	2.24.24	SNVD	2,57	1,04	2,36	0,51	0,31	0,93	1,67	0,57	1,58	0,96	0,56	1,43
	2.24.24	MSC	2,89	1,56	2,45	0,48	0,28	0,82	1,92	0,32	1,91	0,78	0,39	1,24

**Tabelle 57** Validationsergebnisse für ungetrocknete (UG) und getrocknete (GG) Grassilageproben zur Schätzung des WSC-Gehaltes (% TM)

Regression	Ableitung	Streuungs- korrektur	UG						GG					
			SEP	bias	SEP(C)	slope	R <sup>2</sup>	RPD	SEP	bias	SEP(C)	slope	R <sup>2</sup>	RPD
PCR	0.0.1	keine	3,89	-2,20	3,24	0,28	0,38	0,46	2,64	-2,11	1,60	0,54	0,72	0,68
	0.0.1	SNVD	2,33	-1,24	1,99	0,46	0,63	0,77	2,41	-2,04	1,28	0,64	0,73	0,75
	0.0.1	MSC	3,35	-1,77	2,88	0,34	0,59	0,54	2,41	-1,86	1,54	0,56	0,71	0,75
	1.6.6	keine	2,45	-1,16	2,17	0,42	0,53	0,74	1,73	-1,15	1,30	0,61	0,82	1,04
	1.6.6	SNVD	1,48	-0,73	1,29	0,65	0,69	1,22	2,03	-1,49	1,39	0,60	0,75	0,89
	1.6.6	MSC	1,80	-0,96	1,53	0,56	0,71	1,00	1,92	-1,41	1,31	0,62	0,74	0,94
	2.12.12	keine	1,24	-0,55	1,12	0,68	0,79	1,45	1,71	-0,90	1,46	0,57	0,82	1,06
	2.12.12	SNVD	1,21	-0,45	1,14	0,68	0,77	1,48	1,82	-1,25	1,33	0,61	0,77	0,99
	2.12.12	MSC	1,30	-0,36	1,26	0,64	0,76	1,39	1,96	-1,34	1,45	0,58	0,76	0,92
	2.24.24	keine	1,65	-0,95	1,36	0,61	0,75	1,09	2,30	-1,78	1,46	0,57	0,75	0,78
	2.24.24	SNVD	1,64	-0,80	1,44	0,58	0,73	1,10	2,23	-1,76	1,38	0,60	0,73	0,81
	2.24.24	MSC	2,35	-1,67	1,67	0,53	0,68	0,77	2,53	-2,02	1,53	0,56	0,71	0,71
PLS	0.0.1	keine	2,15	-1,41	1,63	0,54	0,63	0,84	1,72	-0,71	1,58	0,54	0,82	1,05
	0.0.1	SNVD	2,41	-2,08	1,23	0,65	0,76	0,75	2,63	-2,20	1,47	0,58	0,69	0,68
	0.0.1	MSC	2,53	-1,75	1,84	0,49	0,69	0,71	1,98	-1,30	1,51	0,57	0,72	0,91
	1.6.6	keine	1,86	-1,06	1,54	0,57	0,65	0,97	1,91	-1,15	1,53	0,55	0,83	0,94
	1.6.6	SNVD	2,16	-1,07	1,90	0,48	0,70	0,83	2,11	-1,68	1,28	0,63	0,77	0,85
	1.6.6	MSC	2,00	-1,19	1,62	0,54	0,72	0,90	1,79	-1,20	1,35	0,61	0,76	1,00
	2.12.12	keine	1,27	-0,04	1,28	0,63	0,75	1,42	1,75	-1,11	1,36	0,59	0,85	1,03
	2.12.12	SNVD	1,00	-0,34	0,94	0,76	0,81	1,81	2,43	-1,92	1,51	0,56	0,75	0,74
	2.12.12	MSC	1,21	-0,12	1,21	0,64	0,79	1,49	1,83	-1,20	1,39	0,59	0,78	0,98
	2.24.24	keine	1,49	-0,62	1,37	0,60	0,75	1,21	2,19	-1,70	1,38	0,59	0,78	0,82
	2.24.24	SNVD	2,78	-1,60	2,29	0,41	0,59	0,65	2,42	-2,05	1,30	0,64	0,72	0,74
	2.24.24	MSC	2,24	-1,24	1,89	0,48	0,67	0,80	2,36	-1,98	1,29	0,64	0,72	0,76
MPLS	0.0.1	keine	1,89	-1,47	1,21	0,65	0,77	0,95	1,60	-0,83	1,39	0,58	0,84	1,12
	0.0.1	SNVD	1,81	-1,14	1,41	0,59	0,78	1,00	2,32	-1,60	1,70	0,52	0,70	0,78
	0.0.1	MSC	2,60	-1,74	1,95	0,47	0,69	0,69	1,80	-1,12	1,42	0,59	0,74	1,00
	1.6.6	keine	1,33	-0,65	1,17	0,66	0,78	1,35	1,93	-1,38	1,36	0,59	0,86	0,93
	1.6.6	SNVD	1,42	-0,57	1,31	0,62	0,77	1,27	2,36	-1,80	1,53	0,56	0,72	0,76
	1.6.6	MSC	1,80	-0,91	1,57	0,55	0,75	1,00	2,26	-1,66	1,54	0,56	0,74	0,80
	2.12.12	keine	1,41	0,27	1,39	0,60	0,71	1,28	1,77	-1,01	1,48	0,56	0,82	1,01
	2.12.12	SNVD	1,29	0,19	1,29	0,62	0,78	1,40	2,72	-2,27	1,51	0,57	0,70	0,66
	2.12.12	MSC	1,39	-0,56	1,29	0,63	0,76	1,29	3,06	-2,52	1,76	0,51	0,67	0,59
	2.24.24	keine	1,65	-0,04	1,67	0,53	0,66	1,09	1,99	-1,53	1,28	0,62	0,81	0,91
	2.24.24	SNVD	1,52	-0,42	1,48	0,58	0,72	1,18	2,05	-1,59	1,30	0,63	0,73	0,88
	2.24.24	MSC	1,39	0,19	1,39	0,60	0,74	1,30	2,00	-1,50	1,33	0,62	0,74	0,90



**Tabelle 58** Validationsergebnisse für ungetrocknete (UG) und getrocknete (GG) Grassilageproben zur Schätzung des Rohfasergehaltes (% TM)

Regression	UG								GG					
	Ableitung	Streuungs-korrektur	SEP	bias	SEP(C)	slope	R <sup>2</sup>	RPD	SEP	bias	SEP(C)	slope	R <sup>2</sup>	RPD
PCR	0.0.1	keine	2,56	-1,95	1,67	0,71	0,51	0,86	2,13	1,59	1,43	0,81	0,61	1,03
	0.0.1	SNVD	4,35	-2,90	3,27	0,24	0,13	0,51	1,17	0,21	1,17	0,99	0,72	1,87
	0.0.1	MSC	4,84	-3,38	3,49	0,22	0,13	0,45	1,45	0,86	1,17	0,94	0,72	1,52
	1.6.6	keine	2,25	-1,02	2,02	0,57	0,37	0,98	1,41	0,23	1,41	0,82	0,62	1,56
	1.6.6	SNVD	2,42	-0,52	2,38	0,42	0,18	0,91	0,99	0,21	0,97	1,02	0,80	2,23
	1.6.6	MSC	2,42	-1,27	2,08	0,56	0,31	0,91	1,11	0,48	1,01	0,98	0,79	1,98
	2.12.12	keine	1,99	0,41	1,97	0,62	0,32	1,10	1,17	-0,31	1,14	0,89	0,74	1,88
	2.12.12	SNVD	2,10	0,91	1,91	0,63	0,38	1,05	0,79	-0,30	0,73	1,02	0,89	2,79
	2.12.12	MSC	1,91	0,77	1,76	0,71	0,43	1,15	0,85	-0,13	0,85	1,02	0,85	2,59
	2.24.24	keine	1,46	-0,36	1,43	0,84	0,60	1,51	1,41	0,23	1,41	0,76	0,66	1,56
	2.24.24	SNVD	2,24	0,12	2,25	0,48	0,32	0,98	1,17	0,08	1,18	0,91	0,72	1,88
	2.24.24	MSC	3,02	-0,70	2,97	0,30	0,19	0,73	1,25	0,18	1,25	0,87	0,69	1,76
PLS	0.0.1	keine	2,23	1,89	1,18	0,91	0,72	0,99	1,34	-0,79	1,09	0,77	0,83	1,65
	0.0.1	SNVD	2,47	1,82	1,69	0,74	0,46	0,89	1,16	-0,88	0,75	0,97	0,88	1,90
	0.0.1	MSC	2,34	1,66	1,66	0,71	0,52	0,94	1,23	-0,82	0,92	0,95	0,83	1,80
	1.6.6	keine	1,80	-0,25	1,80	0,61	0,56	1,22	1,43	-1,14	0,86	0,84	0,88	1,54
	1.6.6	SNVD	1,42	0,61	1,29	1,09	0,66	1,55	0,95	-0,60	0,75	0,97	0,89	2,31
	1.6.6	MSC	1,44	0,32	1,41	0,96	0,59	1,53	0,96	-0,62	0,74	0,96	0,89	2,30
	2.12.12	keine	1,41	0,67	1,24	0,87	0,70	1,56	0,88	-0,22	0,86	0,89	0,86	2,49
	2.12.12	SNVD	1,62	0,74	1,45	0,94	0,57	1,36	0,78	-0,29	0,73	1,04	0,89	2,82
	2.12.12	MSC	1,42	0,33	1,39	0,93	0,61	1,55	0,80	-0,40	0,70	0,97	0,90	2,76
	2.24.24	keine	1,31	-0,34	1,28	0,91	0,67	1,67	1,23	-0,19	1,23	0,82	0,73	1,78
	2.24.24	SNVD	1,71	0,45	1,66	0,76	0,48	1,29	0,86	-0,16	0,85	1,03	0,85	2,57
	2.24.24	MSC	1,79	0,36	1,77	0,68	0,46	1,23	0,83	-0,11	0,83	0,96	0,86	2,65
MPLS	0.0.1	keine	1,44	0,72	1,25	0,82	0,71	1,53	1,43	-1,00	1,03	0,79	0,84	1,53
	0.0.1	SNVD	1,66	0,75	1,49	0,81	0,57	1,33	1,02	-0,62	0,81	0,99	0,86	2,17
	0.0.1	MSC	2,00	1,17	1,63	0,73	0,52	1,10	1,28	-1,02	0,78	0,93	0,88	1,71
	1.6.6	keine	1,54	0,39	1,50	0,73	0,62	1,43	1,79	-1,39	1,14	0,81	0,77	1,23
	1.6.6	SNVD	1,29	-0,16	1,29	0,92	0,66	1,71	1,11	-0,90	0,67	1,02	0,91	1,98
	1.6.6	MSC	1,85	-0,49	1,80	0,67	0,44	1,19	1,48	-1,31	0,69	0,98	0,90	1,49
	2.12.12	keine	1,59	1,03	1,22	0,90	0,71	1,39	0,91	-0,40	0,82	0,89	0,88	2,43
	2.12.12	SNVD	1,71	0,70	1,58	0,72	0,57	1,29	0,95	-0,37	0,89	1,07	0,84	2,31
	2.12.12	MSC	1,33	0,40	1,29	0,94	0,66	1,65	0,89	-0,36	0,82	1,01	0,86	2,47
	2.24.24	keine	1,23	-0,10	1,24	0,86	0,70	1,78	1,41	-0,75	1,21	0,78	0,76	1,56
	2.24.24	SNVD	1,84	1,16	1,45	0,89	0,58	1,20	0,99	-0,32	0,95	1,06	0,82	2,22
	2.24.24	MSC	1,45	0,65	1,30	0,95	0,65	1,52	0,95	-0,33	0,89	1,00	0,84	2,33

**Tabelle 59** Validationsergebnisse für ungetrocknete (UG) und getrocknete (GG) Grassilageproben zur Schätzung des ADF-Gehaltes (% TM)

Regression	UG								GG					
	Ableitung	Streuungs-korrektur	SEP	bias	SEP(C)	slope	R <sup>2</sup>	RPD	SEP	bias	SEP(C)	slope	R <sup>2</sup>	RPD
PCR	0.0.1	keine	4,48	-3,48	2,85	0,45	0,31	0,60	1,77	0,93	1,52	0,85	0,70	1,51
	0.0.1	SNVD	4,28	-3,75	2,08	0,73	0,46	0,62	1,45	-0,54	1,36	1,03	0,74	1,84
	0.0.1	MSC	4,77	-4,29	2,10	0,69	0,47	0,56	1,48	0,45	1,42	0,99	0,72	1,81
	1.6.6	keine	3,71	-2,48	2,78	0,47	0,28	0,72	1,65	0,27	1,64	0,80	0,66	1,62
	1.6.6	SNVD	3,07	-2,26	2,10	0,71	0,46	0,87	1,56	-0,46	1,50	0,99	0,68	1,71
	1.6.6	MSC	3,23	-2,42	2,16	0,67	0,45	0,83	1,56	-0,19	1,56	0,91	0,66	1,71
	2.12.12	keine	2,76	-0,94	2,62	0,52	0,32	0,97	1,81	-0,66	1,70	0,76	0,67	1,48
	2.12.12	SNVD	3,37	-0,19	3,40	0,33	0,21	0,79	1,61	-0,69	1,47	0,92	0,70	1,66
	2.12.12	MSC	3,25	-0,21	3,27	0,36	0,22	0,82	1,57	-0,67	1,43	0,93	0,72	1,70
	2.24.24	keine	2,59	-1,83	1,85	0,77	0,57	1,03	1,53	0,42	1,48	0,81	0,74	1,75
	2.24.24	SNVD	2,12	-1,21	1,75	0,88	0,58	1,26	1,30	-0,36	1,26	0,94	0,78	2,05
	2.24.24	MSC	2,92	-2,13	2,01	0,74	0,49	0,92	1,34	-0,36	1,30	0,92	0,77	1,99
PLS	0.0.1	keine	2,47	1,21	2,17	0,68	0,44	1,08	2,60	-1,92	1,77	0,71	0,68	1,03
	0.0.1	SNVD	2,96	1,26	2,70	0,49	0,31	0,90	1,66	-1,04	1,30	0,88	0,78	1,61
	0.0.1	MSC	3,13	1,00	2,99	0,42	0,26	0,85	1,89	-1,24	1,44	0,85	0,73	1,41
	1.6.6	keine	1,83	-1,12	1,46	0,89	0,71	1,46	1,93	-0,97	1,68	0,72	0,71	1,39
	1.6.6	SNVD	2,13	-1,00	1,89	0,78	0,54	1,26	1,58	-1,14	1,10	0,93	0,83	1,69
	1.6.6	MSC	2,18	-0,92	1,99	0,74	0,50	1,23	1,39	-0,86	1,11	0,92	0,84	1,92
	2.12.12	keine	1,98	-0,66	1,88	0,76	0,56	1,35	1,77	-0,89	1,54	0,78	0,73	1,51
	2.12.12	SNVD	3,09	-0,52	3,07	0,40	0,25	0,86	1,86	-1,41	1,22	0,88	0,81	1,44
	2.12.12	MSC	2,97	-0,14	3,00	0,41	0,25	0,90	1,63	-1,03	1,27	0,92	0,78	1,64
	2.24.24	keine	2,31	-1,46	1,81	0,79	0,58	1,16	1,61	0,50	1,55	0,82	0,70	1,65
	2.24.24	SNVD	1,91	-0,76	1,76	0,88	0,57	1,40	1,32	-0,11	1,32	0,98	0,75	2,03
	2.24.24	MSC	1,93	-0,85	1,74	0,89	0,58	1,39	1,51	0,01	1,52	0,90	0,68	1,77
MPLS	0.0.1	keine	3,46	1,90	2,91	0,42	0,21	0,77	2,75	-2,13	1,75	0,71	0,68	0,97
	0.0.1	SNVD	2,51	1,32	2,15	0,69	0,45	1,07	1,42	-0,82	1,17	0,90	0,82	1,88
	0.0.1	MSC	2,62	1,38	2,24	0,65	0,41	1,02	1,43	-0,80	1,20	0,89	0,81	1,86
	1.6.6	keine	1,86	-0,61	1,77	0,79	0,60	1,44	1,90	-1,31	1,39	0,79	0,78	1,40
	1.6.6	SNVD	2,28	-0,42	2,26	0,63	0,42	1,17	1,32	-0,60	1,18	0,92	0,81	2,02
	1.6.6	MSC	2,24	-1,67	1,50	1,01	0,69	1,19	1,85	-1,22	1,41	0,89	0,73	1,44
	2.12.12	keine	2,16	-1,36	1,69	0,83	0,62	1,24	1,89	-1,16	1,51	0,78	0,74	1,41
	2.12.12	SNVD	2,59	-0,26	2,60	0,52	0,35	1,03	1,68	-1,12	1,26	0,93	0,78	1,59
	2.12.12	MSC	2,79	-0,58	2,75	0,48	0,31	0,96	1,67	-1,03	1,33	0,89	0,76	1,60
	2.24.24	keine	1,98	-0,62	1,89	0,77	0,55	1,35	1,46	-0,23	1,45	0,81	0,74	1,83
	2.24.24	SNVD	1,96	-0,38	1,93	0,80	0,51	1,37	1,42	-0,57	1,31	0,92	0,76	1,88
	2.24.24	MSC	2,52	-0,44	2,50	0,55	0,35	1,06	1,50	-0,16	1,51	0,87	0,70	1,78

**Tabelle 60** Validationsergebnisse für ungetrocknete (UG) und getrocknete (GG) Grassilageproben zur Schätzung des NDF-Gehaltes (% TM)

Regression	Ableitung	Streuungs- korrektur	UG						GG					
			SEP	bias	SEP(C)	slope	R <sup>2</sup>	RPD	SEP	bias	SEP(C)	slope	R <sup>2</sup>	RPD
PCR	0.0.1	keine	4,68	4,68	4,68	4,68	0,61	0,74	3,62	2,98	2,07	0,75	0,73	0,96
	0.0.1	SNVD	9,07	9,07	9,07	9,07	0,16	0,38	2,43	1,72	1,73	0,90	0,76	1,44
	0.0.1	MSC	7,07	7,07	7,07	7,07	0,23	0,49	3,23	2,64	1,88	0,82	0,75	1,08
	1.6.6	keine	3,24	3,24	3,24	3,24	0,51	1,07	2,25	1,39	1,79	0,75	0,83	1,54
	1.6.6	SNVD	2,87	2,87	2,87	2,87	0,50	1,21	2,35	1,23	2,02	0,82	0,70	1,48
	1.6.6	MSC	4,18	4,18	4,18	4,18	0,47	0,83	2,61	1,75	1,95	0,80	0,73	1,33
	2.12.12	keine	3,21	3,21	3,21	3,21	0,32	1,08	1,98	0,59	1,91	0,76	0,78	1,75
	2.12.12	SNVD	4,15	4,15	4,15	4,15	0,24	0,84	2,39	0,96	2,21	0,78	0,65	1,46
	2.12.12	MSC	3,37	3,37	3,37	3,37	0,34	1,03	2,42	0,98	2,23	0,76	0,65	1,44
	2.24.24	keine	2,38	2,38	2,38	2,38	0,62	1,47	2,90	2,31	1,78	0,76	0,82	1,20
	2.24.24	SNVD	2,96	2,96	2,96	2,96	0,50	1,18	2,52	1,84	1,74	0,83	0,78	1,38
	2.24.24	MSC	3,12	3,12	3,12	3,12	0,44	1,12	2,53	1,84	1,75	0,82	0,78	1,38
PLS	0.0.1	keine	2,35	1,15	2,07	0,82	0,68	1,48	1,90	0,76	1,76	0,74	0,85	1,83
	0.0.1	SNVD	2,94	1,54	2,53	0,73	0,55	1,18	1,70	0,64	1,59	0,87	0,81	2,05
	0.0.1	MSC	2,81	1,50	2,39	0,79	0,57	1,24	1,56	0,28	1,54	0,82	0,84	2,24
	1.6.6	keine	2,60	-0,38	2,59	0,65	0,64	1,34	2,11	0,86	1,94	0,72	0,82	1,65
	1.6.6	SNVD	2,27	0,66	2,19	0,89	0,61	1,53	1,78	0,01	1,79	0,81	0,78	1,96
	1.6.6	MSC	2,40	-0,79	2,29	0,80	0,61	1,45	2,44	1,64	1,82	0,82	0,76	1,43
	2.12.12	keine	2,32	0,00	2,34	0,74	0,62	1,50	2,04	0,45	2,00	0,71	0,81	1,71
	2.12.12	SNVD	3,65	0,83	3,59	0,48	0,31	0,95	1,79	0,53	1,72	0,84	0,79	1,95
	2.12.12	MSC	3,53	1,77	3,08	0,60	0,39	0,99	2,26	0,60	2,20	0,75	0,68	1,54
	2.24.24	keine	2,63	0,79	2,53	0,73	0,55	1,32	2,72	1,82	2,04	0,72	0,78	1,28
	2.24.24	SNVD	3,19	1,80	2,66	0,72	0,49	1,09	2,70	1,93	1,91	0,80	0,74	1,29
	2.24.24	MSC	3,69	0,02	3,72	0,46	0,37	0,94	2,85	2,09	1,96	0,78	0,75	1,22
MPLS	0.0.1	keine	2,28	0,28	2,28	0,73	0,66	1,53	2,24	1,03	2,01	0,71	0,80	1,55
	0.0.1	SNVD	4,60	-0,23	4,63	0,35	0,33	0,76	1,77	0,15	1,78	0,78	0,80	1,97
	0.0.1	MSC	2,90	1,55	2,47	0,71	0,59	1,20	1,96	0,87	1,77	0,82	0,78	1,77
	1.6.6	keine	3,20	-0,54	3,18	0,54	0,55	1,09	2,24	0,26	2,24	0,67	0,77	1,56
	1.6.6	SNVD	2,74	-0,36	2,74	0,66	0,51	1,27	2,04	1,36	1,54	0,87	0,82	1,70
	1.6.6	MSC	2,19	0,57	2,14	0,85	0,64	1,59	2,36	1,35	1,95	0,80	0,73	1,48
	2.12.12	keine	5,06	3,59	3,61	0,48	0,36	0,69	2,09	0,89	1,91	0,72	0,82	1,66
	2.12.12	SNVD	3,76	1,76	3,35	0,53	0,35	0,93	2,21	0,75	2,10	0,76	0,71	1,57
	2.12.12	MSC	3,46	2,53	2,38	0,79	0,57	1,01	2,04	0,49	1,99	0,76	0,75	1,71
	2.24.24	keine	2,71	1,32	2,38	0,77	0,58	1,29	2,04	1,35	1,55	0,79	0,86	1,70
	2.24.24	SNVD	3,66	2,46	2,74	0,69	0,48	0,95	2,93	2,18	1,97	0,79	0,73	1,19
	2.24.24	MSC	2,92	0,39	2,91	0,62	0,48	1,19	2,67	2,03	1,75	0,80	0,80	1,30

**Tabelle 61** Validationsergebnisse für ungetrocknete (UG) und getrocknete (GG) Grassilageproben zur Schätzung der Verdaulichkeit (ELOS) (% TM)

Regression	UG								GG					
	Ableitung	Streuungs-korrektur	SEP	bias	SEP(C)	slope	R <sup>2</sup>	RPD	SEP	bias	SEP(C)	slope	R <sup>2</sup>	RPD
PCR	0.0.1	keine	6,87	4,49	5,24	0,27	0,11	0,59	2,80	-1,34	2,48	0,79	0,67	1,44
	0.0.1	SNVD	7,88	6,57	4,39	0,43	0,25	0,51	2,88	1,58	2,43	1,01	0,63	1,40
	0.0.1	MSC	8,75	7,57	4,41	0,43	0,28	0,46	2,34	0,10	2,36	0,96	0,66	1,72
	1.6.6	keine	6,45	5,39	3,57	0,66	0,29	0,62	2,31	0,09	2,33	0,87	0,68	1,74
	1.6.6	SNVD	5,93	3,83	4,57	0,35	0,11	0,68	2,26	0,89	2,10	1,08	0,73	1,78
	1.6.6	MSC	5,63	3,99	4,00	0,50	0,20	0,71	2,22	0,48	2,18	1,00	0,71	1,81
	2.12.12	keine	4,82	0,63	4,82	0,37	0,22	0,83	2,35	-0,22	2,36	0,83	0,69	1,71
	2.12.12	SNVD	4,02	0,92	3,94	0,52	0,30	1,00	2,25	1,33	1,83	1,08	0,80	1,79
	2.12.12	MSC	4,15	0,69	4,13	0,48	0,26	0,97	2,46	1,56	1,92	1,02	0,77	1,64
	2.24.24	keine	2,91	0,33	2,91	0,76	0,53	1,38	2,77	0,57	2,73	0,75	0,61	1,45
	2.24.24	SNVD	3,22	1,32	2,96	0,77	0,50	1,25	2,28	1,18	1,96	0,99	0,76	1,77
	2.24.24	MSC	3,35	1,86	2,81	0,80	0,54	1,20	2,63	1,33	2,29	0,93	0,68	1,53
PLS	0.0.1	keine	3,48	-1,58	3,13	0,68	0,51	1,15	3,38	2,25	2,55	0,75	0,67	1,19
	0.0.1	SNVD	5,83	-3,30	4,85	0,36	0,21	0,69	3,95	3,13	2,43	0,80	0,68	1,02
	0.0.1	MSC	7,47	-4,41	6,08	0,22	0,11	0,54	2,05	0,29	2,04	1,03	0,74	1,97
	1.6.6	keine	4,66	1,87	4,31	0,45	0,30	0,86	3,25	1,79	2,73	0,70	0,66	1,24
	1.6.6	SNVD	3,34	2,20	2,54	0,90	0,61	1,20	3,61	2,82	2,28	0,94	0,68	1,11
	1.6.6	MSC	3,29	1,33	3,03	0,75	0,48	1,22	2,19	0,40	2,17	0,98	0,71	1,84
	2.12.12	keine	3,18	1,93	2,55	0,81	0,63	1,26	2,67	0,68	2,60	0,69	0,74	1,51
	2.12.12	SNVD	3,29	1,49	2,96	0,77	0,50	1,22	2,93	1,68	2,42	0,75	0,72	1,37
	2.12.12	MSC	3,54	1,36	3,30	0,68	0,42	1,13	3,87	2,53	2,95	0,66	0,63	1,04
	2.24.24	keine	3,10	0,80	3,02	0,74	0,49	1,30	2,82	1,07	2,63	0,73	0,66	1,43
	2.24.24	SNVD	3,38	-0,32	3,39	0,64	0,42	1,19	1,95	0,92	1,73	1,01	0,81	2,06
	2.24.24	MSC	3,19	0,94	3,08	0,69	0,52	1,26	2,22	1,12	1,93	0,97	0,77	1,81
MPLS	0.0.1	keine	3,55	-1,93	3,01	0,70	0,54	1,13	4,10	2,92	2,90	0,67	0,63	0,98
	0.0.1	SNVD	2,70	-1,25	2,42	0,90	0,65	1,49	3,36	2,36	2,41	0,90	0,65	1,20
	0.0.1	MSC	5,06	-3,01	4,10	0,48	0,29	0,80	2,52	1,28	2,19	0,96	0,71	1,60
	1.6.6	keine	6,50	4,74	4,48	0,44	0,42	0,62	3,63	2,37	2,77	0,68	0,67	1,11
	1.6.6	SNVD	2,88	1,26	2,61	0,82	0,61	1,40	3,32	2,67	1,99	0,93	0,76	1,21
	1.6.6	MSC	2,80	1,51	2,38	0,91	0,66	1,44	3,19	2,29	2,24	0,87	0,71	1,26
	2.12.12	keine	2,53	0,57	2,49	0,81	0,65	1,59	3,60	1,65	3,23	0,61	0,62	1,12
	2.12.12	SNVD	2,75	1,16	2,52	0,83	0,63	1,46	2,88	1,72	2,32	0,78	0,72	1,40
	2.12.12	MSC	3,87	2,45	3,02	0,72	0,52	1,04	3,19	1,76	2,69	0,72	0,65	1,26
	2.24.24	keine	2,95	0,32	2,96	0,74	0,52	1,36	3,10	1,36	2,81	0,70	0,63	1,30
	2.24.24	SNVD	3,21	0,43	3,21	0,69	0,46	1,25	2,42	1,29	2,07	0,85	0,76	1,66
	2.24.24	MSC	3,36	0,54	3,34	0,65	0,43	1,20	2,74	1,68	2,18	0,85	0,73	1,47

**Tabelle 62 Validationsergebnisse für ungetrocknete (UG) und getrocknete (GG)  
Grassilageproben zur Schätzung des Aschegehaltes (% TM)**

Regression	UG								GG					
	Ableitung	Streuungs- korrektur	SEP	bias	SEP(C)	slope	R <sup>2</sup>	RPD	SEP	bias	SEP(C)	slope	R <sup>2</sup>	RPD
PCR	0.0.1	keine	3,41	-2,54	2,30	0,64	0,26	0,74	2,62	-2,04	1,65	0,98	0,58	0,97
	0.0.1	SNVD	2,70	-1,15	2,46	0,55	0,18	0,94	1,77	-0,82	1,58	1,02	0,61	1,43
	0.0.1	MSC	2,83	-0,65	2,78	0,38	0,13	0,89	1,66	-0,46	1,61	0,99	0,60	1,53
	1.6.6	keine	2,48	-1,15	2,22	0,74	0,27	1,02	1,85	-0,32	1,83	0,97	0,48	1,37
	1.6.6	SNVD	2,58	-1,28	2,26	0,83	0,21	0,98	1,69	-0,74	1,53	1,02	0,64	1,50
	1.6.6	MSC	2,54	-1,16	2,28	0,82	0,20	1,00	2,00	-1,02	1,73	1,12	0,54	1,27
	2.12.12	keine	2,59	-1,53	2,10	0,86	0,32	0,98	2,05	-0,54	1,99	0,84	0,40	1,24
	2.12.12	SNVD	2,61	-1,33	2,26	0,72	0,24	0,97	2,07	-1,02	1,81	0,87	0,50	1,22
	2.12.12	MSC	2,67	-1,34	2,32	0,64	0,23	0,95	2,01	-1,01	1,75	0,88	0,53	1,26
	2.24.24	keine	2,65	-1,57	2,15	0,69	0,35	0,95	1,84	-0,48	1,79	0,97	0,50	1,38
	2.24.24	SNVD	2,97	-2,07	2,15	0,75	0,32	0,85	1,94	-0,80	1,78	0,99	0,51	1,30
	2.24.24	MSC	3,17	-2,20	2,30	0,64	0,26	0,80	1,90	-0,55	1,83	1,09	0,48	1,34
PLS	0.0.1	keine	3,21	-1,79	2,69	0,44	0,23	0,79	2,05	-1,42	1,49	0,99	0,65	1,23
	0.0.1	SNVD	3,10	-1,87	2,49	0,52	0,23	0,82	1,61	-0,35	1,58	1,01	0,61	1,57
	0.0.1	MSC	2,65	-1,35	2,30	0,62	0,27	0,95	1,56	-0,19	1,57	0,87	0,63	1,62
	1.6.6	keine	3,98	-3,04	2,59	0,48	0,29	0,64	1,41	-0,18	1,41	0,95	0,69	1,79
	1.6.6	SNVD	3,46	-2,55	2,36	0,57	0,29	0,73	1,45	-0,54	1,35	1,04	0,72	1,75
	1.6.6	MSC	4,05	-2,92	2,83	0,40	0,19	0,63	1,41	-0,73	1,22	1,02	0,77	1,80
	2.12.12	keine	4,45	-3,57	2,68	0,45	0,25	0,57	1,89	-0,55	1,82	0,84	0,50	1,34
	2.12.12	SNVD	2,99	-1,84	2,38	0,58	0,24	0,85	1,88	-0,95	1,63	0,99	0,58	1,35
	2.12.12	MSC	2,94	-1,89	2,27	0,72	0,23	0,86	1,63	-0,94	1,34	0,95	0,72	1,56
	2.24.24	keine	2,65	-1,63	2,11	0,70	0,37	0,95	2,04	-0,39	2,02	0,74	0,42	1,24
	2.24.24	SNVD	2,83	-1,95	2,07	0,79	0,36	0,89	1,69	-0,48	1,63	0,97	0,58	1,50
	2.24.24	MSC	2,81	-0,99	2,65	0,44	0,16	0,90	1,62	-0,48	1,56	0,93	0,62	1,56
MPLS	0.0.1	keine	2,81	-1,37	2,47	0,52	0,26	0,90	2,55	-2,14	1,40	1,00	0,70	0,99
	0.0.1	SNVD	3,48	-2,55	2,39	0,58	0,22	0,73	1,36	-0,38	1,32	1,04	0,73	1,86
	0.0.1	MSC	2,85	-1,55	2,41	0,57	0,23	0,89	1,54	-0,28	1,53	1,01	0,63	1,64
	1.6.6	keine	3,17	-2,16	2,35	0,57	0,33	0,80	1,37	-0,01	1,38	0,93	0,71	1,85
	1.6.6	SNVD	2,70	-1,56	2,22	0,86	0,24	0,94	1,33	-0,40	1,28	0,99	0,74	1,90
	1.6.6	MSC	2,58	-1,23	2,29	0,76	0,21	0,98	1,65	-1,09	1,25	0,97	0,76	1,54
	2.12.12	keine	3,72	-2,84	2,43	0,54	0,27	0,68	1,50	-0,32	1,48	1,00	0,66	1,69
	2.12.12	SNVD	2,75	-1,82	2,08	0,79	0,35	0,92	1,80	-0,84	1,61	0,92	0,60	1,41
	2.12.12	MSC	2,83	-1,89	2,12	0,74	0,34	0,90	1,95	-1,20	1,54	0,81	0,66	1,30
	2.24.24	keine	2,68	-1,58	2,18	0,65	0,37	0,95	1,95	-0,10	1,97	0,77	0,44	1,30
	2.24.24	SNVD	2,71	-1,75	2,09	0,77	0,35	0,93	1,93	-0,89	1,72	0,93	0,54	1,31
	2.24.24	MSC	2,83	-0,88	2,71	0,42	0,16	0,90	1,64	-0,53	1,57	0,95	0,62	1,54

**Tabelle 63** Validationsergebnisse für ungetrocknete (UG) und getrocknete (GG)  
Grassilageproben zur Schätzung des Energiegehaltes (MJ)

Regression	Ableitung	Streuungs- korrektur	UG						GG					
			SEP	bias	SEP(C)	slope	R <sup>2</sup>	RPD	SEP	bias	SEP(C)	slope	R <sup>2</sup>	RPD
PCR	0.0.1	keine	0,66	0,48	0,45	0,32	0,12	0,58	0,27	-0,14	0,23	0,77	0,68	1,41
	0.0.1	SNVD	0,81	0,70	0,42	0,42	0,26	0,47	0,27	0,16	0,23	1,02	0,64	1,39
	0.0.1	MSC	0,84	0,73	0,40	0,44	0,27	0,46	0,22	0,05	0,22	1,00	0,66	1,70
	1.6.6	keine	0,62	0,53	0,34	0,65	0,27	0,61	0,22	0,07	0,21	0,90	0,71	1,77
	1.6.6	SNVD	0,58	0,37	0,45	0,30	0,09	0,66	0,21	0,08	0,20	1,10	0,73	1,78
	1.6.6	MSC	0,54	0,39	0,37	0,51	0,19	0,71	0,20	0,05	0,20	1,03	0,72	1,88
	2.12.12	keine	0,42	0,13	0,40	0,45	0,26	0,91	0,22	0,06	0,21	0,85	0,70	1,73
	2.12.12	SNVD	0,38	0,10	0,37	0,51	0,28	0,99	0,21	0,14	0,17	1,06	0,80	1,78
	2.12.12	MSC	0,37	0,12	0,35	0,57	0,33	1,04	0,21	0,13	0,17	1,02	0,80	1,81
	2.24.24	keine	0,26	0,04	0,26	0,79	0,57	1,47	0,25	0,06	0,25	0,76	0,62	1,50
	2.24.24	SNVD	0,41	0,28	0,30	0,68	0,49	0,93	0,22	0,13	0,19	1,00	0,76	1,71
	2.24.24	MSC	0,34	0,23	0,26	0,83	0,56	1,11	0,25	0,13	0,21	0,96	0,70	1,55
PLS	0.0.1	keine	0,39	-0,15	0,36	0,52	0,34	0,97	0,24	0,12	0,21	0,80	0,74	1,61
	0.0.1	SNVD	0,53	-0,32	0,43	0,39	0,22	0,71	0,37	0,30	0,22	0,83	0,70	1,02
	0.0.1	MSC	0,46	-0,25	0,40	0,45	0,24	0,82	0,27	0,20	0,19	0,95	0,75	1,40
	1.6.6	keine	0,27	0,15	0,22	0,80	0,70	1,43	0,30	0,20	0,23	0,76	0,71	1,27
	1.6.6	SNVD	0,37	0,30	0,22	0,95	0,64	1,02	0,37	0,31	0,20	0,91	0,73	1,04
	1.6.6	MSC	0,33	0,24	0,24	0,92	0,61	1,14	0,24	0,14	0,20	0,94	0,72	1,58
	2.12.12	keine	0,36	0,27	0,25	0,78	0,62	1,05	0,27	0,12	0,25	0,68	0,73	1,39
	2.12.12	SNVD	0,32	0,17	0,27	0,80	0,51	1,19	0,28	0,19	0,21	0,79	0,75	1,35
	2.12.12	MSC	0,33	0,19	0,27	0,81	0,49	1,16	0,31	0,21	0,23	0,73	0,71	1,22
	2.24.24	keine	0,28	0,09	0,27	0,80	0,52	1,36	0,26	0,10	0,24	0,73	0,67	1,46
	2.24.24	SNVD	0,33	0,18	0,27	0,73	0,55	1,17	0,18	0,07	0,17	0,95	0,80	2,12
	2.24.24	MSC	0,32	0,16	0,28	0,72	0,54	1,19	0,21	0,11	0,18	0,97	0,78	1,82
MPLS	0.0.1	keine	0,49	-0,17	0,46	0,35	0,20	0,78	0,28	0,18	0,22	0,77	0,71	1,35
	0.0.1	SNVD	0,28	-0,15	0,24	0,90	0,59	1,35	0,37	0,30	0,23	0,82	0,66	1,02
	0.0.1	MSC	0,25	-0,03	0,25	0,81	0,57	1,50	0,26	0,17	0,20	0,96	0,71	1,46
	1.6.6	keine	0,31	0,18	0,25	0,71	0,67	1,24	0,33	0,23	0,24	0,71	0,69	1,14
	1.6.6	SNVD	0,30	0,18	0,24	0,85	0,63	1,28	0,30	0,23	0,19	0,81	0,77	1,27
	1.6.6	MSC	0,30	0,20	0,22	0,92	0,67	1,28	0,27	0,18	0,20	0,89	0,74	1,42
	2.12.12	keine	0,25	0,11	0,23	0,84	0,66	1,54	0,31	0,17	0,26	0,66	0,71	1,23
	2.12.12	SNVD	0,29	0,17	0,23	0,88	0,64	1,33	0,26	0,18	0,19	0,84	0,76	1,45
	2.12.12	MSC	0,28	0,16	0,23	0,87	0,62	1,35	0,27	0,17	0,21	0,83	0,73	1,42
	2.24.24	keine	0,27	0,06	0,27	0,78	0,54	1,41	0,25	0,08	0,24	0,74	0,68	1,53
	2.24.24	SNVD	0,31	0,11	0,29	0,72	0,49	1,25	0,23	0,14	0,18	0,88	0,78	1,66
	2.24.24	MSC	0,30	0,11	0,29	0,73	0,49	1,25	0,30	0,19	0,23	0,81	0,67	1,28

**Tabelle 64** Validationsergebnisse für ungetrocknete (UG) und getrocknete (GG)  
Grassilageproben zur Schätzung des pH-Wertes

Regression			UG						GG					
			SEP	bias	SEP(C)	slope	R <sup>2</sup>	RPD	SEP	bias	SEP(C)	slope	R <sup>2</sup>	RPD
Ableitung	Streuungs-	korrektur												
PCR	0.0.1	keine	0,54	0,25	0,48	1,10	0,30	1,07	0,40	0,23	0,34	1,65	0,78	1,44
	0.0.1	SNVD	0,48	0,23	0,42	1,02	0,47	1,22	0,37	0,13	0,36	1,61	0,72	1,55
	0.0.1	MSC	0,49	0,23	0,44	0,96	0,42	1,18	0,39	0,17	0,36	1,51	0,69	1,48
	1.6.6	keine	0,51	0,32	0,40	1,23	0,53	1,13	0,38	0,14	0,36	1,57	0,70	1,52
	1.6.6	SNVD	0,55	0,35	0,42	1,05	0,46	1,06	0,37	0,12	0,35	1,60	0,74	1,58
	1.6.6	MSC	0,65	0,45	0,48	0,81	0,31	0,89	0,39	0,17	0,35	1,47	0,70	1,50
	2.12.12	keine	0,46	0,27	0,37	1,32	0,61	1,26	0,37	0,11	0,35	1,09	0,63	1,58
	2.12.12	SNVD	0,59	0,35	0,48	0,85	0,33	0,99	0,37	0,12	0,36	1,39	0,67	1,55
	2.12.12	MSC	0,59	0,36	0,47	0,85	0,33	0,98	0,38	0,15	0,35	1,60	0,73	1,53
	2.24.24	keine	0,66	0,40	0,53	0,70	0,18	0,88	0,42	0,22	0,36	1,56	0,70	1,37
	2.24.24	SNVD	0,55	0,33	0,45	0,94	0,39	1,05	0,45	0,19	0,41	1,62	0,57	1,29
	2.24.24	MSC	0,54	0,35	0,42	1,08	0,47	1,07	0,44	0,20	0,39	1,66	0,63	1,32
PLS	0.0.1	keine	0,66	0,44	0,49	0,76	0,29	0,88	0,40	0,12	0,39	1,04	0,55	1,45
	0.0.1	SNVD	0,55	0,37	0,42	1,10	0,47	1,05	0,38	0,04	0,39	1,17	0,56	1,51
	0.0.1	MSC	0,55	0,37	0,41	1,16	0,51	1,06	0,33	0,01	0,34	1,26	0,69	1,74
	1.6.6	keine	0,39	0,21	0,33	1,39	0,73	1,50	0,33	0,04	0,33	1,25	0,70	1,77
	1.6.6	SNVD	0,51	0,35	0,38	1,10	0,57	1,13	0,36	0,06	0,35	1,29	0,65	1,62
	1.6.6	MSC	0,41	0,23	0,34	1,32	0,69	1,42	0,32	0,04	0,32	1,22	0,71	1,80
	2.12.12	keine	0,35	0,10	0,34	1,08	0,66	1,66	0,39	0,07	0,39	1,00	0,55	1,48
	2.12.12	SNVD	0,46	0,25	0,39	1,06	0,54	1,26	0,35	0,12	0,34	1,26	0,69	1,64
	2.12.12	MSC	0,75	0,50	0,56	0,58	0,15	0,78	0,34	0,11	0,33	1,42	0,74	1,69
	2.24.24	keine	0,58	0,35	0,46	0,92	0,36	1,00	0,50	0,15	0,48	0,79	0,33	1,17
	2.24.24	SNVD	0,58	0,37	0,46	0,97	0,37	0,99	0,43	0,14	0,41	1,40	0,52	1,34
	2.24.24	MSC	0,58	0,36	0,45	1,01	0,38	1,01	0,43	0,16	0,40	1,25	0,54	1,36
MPLS	0.0.1	keine	0,39	0,26	0,29	1,43	0,83	1,51	0,48	0,27	0,40	1,06	0,51	1,21
	0.0.1	SNVD	0,73	0,56	0,48	0,84	0,32	0,79	0,39	0,11	0,37	1,33	0,61	1,50
	0.0.1	MSC	0,48	0,32	0,37	1,21	0,61	1,20	0,36	0,11	0,35	1,33	0,67	1,59
	1.6.6	keine	0,36	0,09	0,35	1,34	0,67	1,62	0,33	0,02	0,33	1,14	0,68	1,77
	1.6.6	SNVD	0,42	0,26	0,33	1,25	0,70	1,39	0,32	0,04	0,31	1,17	0,72	1,84
	1.6.6	MSC	0,51	0,33	0,38	1,30	0,58	1,15	0,40	0,13	0,38	1,23	0,59	1,46
	2.12.12	keine	0,45	0,17	0,42	0,95	0,47	1,30	0,39	0,08	0,38	1,02	0,56	1,49
	2.12.12	SNVD	0,37	0,10	0,36	0,92	0,61	1,56	0,48	0,29	0,38	1,11	0,57	1,22
	2.12.12	MSC	0,39	0,16	0,36	0,97	0,61	1,49	0,36	0,12	0,34	1,56	0,74	1,62
	2.24.24	keine	0,57	0,30	0,49	0,76	0,30	1,01	0,42	0,09	0,41	1,06	0,49	1,40
	2.24.24	SNVD	0,57	0,33	0,46	0,90	0,36	1,02	0,41	0,08	0,40	1,16	0,53	1,43
	2.24.24	MSC	0,46	0,26	0,39	1,09	0,55	1,26	0,40	0,07	0,40	1,18	0,53	1,45

**Tabelle 65 Validationsergebnisse für ungetrocknete (UG) und getrocknete (GG) Grassilageproben zur Schätzung des NH<sub>3</sub>-N-Gehaltes (% TN)**

Regression	UG								GG					
	Ableitung	Streuungs-korrektur	SEP	bias	SEP(C)	slope	R <sup>2</sup>	RPD	SEP	bias	SEP(C)	slope	R <sup>2</sup>	RPD
PCR	0.0.1	keine	10,06	5,78	8,30	18,63	0,27	0,84	10,10	5,70	8,41	2,87	0,01	0,83
	0.0.1	SNVD	10,17	5,86	8,38	30,67	0,17	0,83	10,57	6,18	8,65	-4,13	0,10	0,80
	0.0.1	MSC	10,20	5,89	8,40	53,13	0,16	0,83	10,09	5,85	8,29	4,67	0,08	0,84
	1.6.6	keine	9,93	5,67	8,21	10,93	0,28	0,85	10,16	6,05	8,23	3,96	0,10	0,83
	1.6.6	SNVD	10,29	5,96	8,45	-27,48	0,09	0,82	10,51	6,18	8,57	-2,77	0,04	0,80
	1.6.6	MSC	10,27	5,96	8,43	143,24	0,12	0,82	10,35	6,04	8,48	-0,66	0,00	0,81
	2.12.12	keine	10,02	5,77	8,26	13,90	0,28	0,84	10,10	6,07	8,15	5,18	0,19	0,83
	2.12.12	SNVD	9,87	5,68	8,14	7,32	0,26	0,85	10,32	6,13	8,37	2,35	0,02	0,82
	2.12.12	MSC	9,85	5,66	8,12	7,05	0,27	0,86	10,54	6,15	8,63	-6,12	0,14	0,80
	2.24.24	keine	10,24	6,00	8,37	41,23	0,28	0,82	10,17	6,09	8,21	4,50	0,13	0,83
	2.24.24	SNVD	10,28	5,96	8,45	-35,67	0,11	0,82	10,60	6,24	8,64	-4,84	0,11	0,80
	2.24.24	MSC	10,27	5,99	8,41	66,15	0,12	0,82	10,53	6,14	8,63	-5,13	0,12	0,80
PLS	0.0.1	keine	10,15	5,90	8,33	23,01	0,27	0,83	10,08	5,69	8,39	3,94	0,02	0,84
	0.0.1	SNVD	9,53	5,19	8,06	4,55	0,21	0,88	10,30	6,07	8,39	1,53	0,01	0,82
	0.0.1	MSC	9,90	5,55	8,27	6,86	0,13	0,85	10,19	5,97	8,32	4,93	0,07	0,83
	1.6.6	keine	10,01	5,76	8,25	13,44	0,28	0,84	10,15	6,02	8,24	4,01	0,10	0,83
	1.6.6	SNVD	9,59	5,39	8,00	4,49	0,25	0,88	9,37	5,06	7,95	2,82	0,19	0,90
	1.6.6	MSC	9,94	5,65	8,25	8,24	0,18	0,85	10,31	6,00	8,45	-0,29	0,00	0,82
	2.12.12	keine	9,98	5,74	8,24	12,23	0,28	0,84	10,12	6,11	8,14	5,18	0,19	0,83
	2.12.12	SNVD	9,78	5,62	8,08	6,10	0,27	0,86	10,49	6,20	8,53	-2,07	0,02	0,80
	2.12.12	MSC	9,89	5,66	8,17	7,99	0,25	0,85	10,41	6,08	8,53	-4,45	0,05	0,81
	2.24.24	keine	10,27	6,06	8,36	35,95	0,28	0,82	10,24	6,19	8,23	4,03	0,11	0,82
	2.24.24	SNVD	9,56	5,33	8,00	4,15	0,23	0,88	10,54	6,18	8,62	-3,63	0,07	0,80
	2.24.24	MSC	9,94	5,69	8,22	6,70	0,17	0,85	10,44	6,05	8,57	-5,17	0,08	0,81
MPLS	0.0.1	keine	10,11	5,90	8,28	14,41	0,26	0,83	10,10	5,74	8,38	3,95	0,03	0,84
	0.0.1	SNVD	9,58	5,24	8,09	4,90	0,22	0,88	10,22	5,97	8,36	2,11	0,02	0,82
	0.0.1	MSC	9,66	5,32	8,13	5,09	0,19	0,87	10,16	5,95	8,30	3,15	0,05	0,83
	1.6.6	keine	9,81	5,55	8,16	8,20	0,27	0,86	10,41	6,13	8,49	-1,12	0,01	0,81
	1.6.6	SNVD	9,67	5,45	8,05	4,29	0,21	0,87	10,18	5,96	8,32	3,59	0,05	0,83
	1.6.6	MSC	9,87	5,55	8,23	5,98	0,15	0,85	10,20	5,97	8,35	1,69	0,02	0,83
	2.12.12	keine	9,77	5,52	8,13	7,48	0,28	0,86	10,46	6,37	8,36	1,18	0,02	0,81
	2.12.12	SNVD	9,60	5,41	8,00	4,50	0,25	0,88	10,16	5,97	8,29	2,67	0,05	0,83
	2.12.12	MSC	9,68	5,49	8,04	5,14	0,25	0,87	10,17	5,85	8,39	1,28	0,01	0,83
	2.24.24	keine	9,81	5,55	8,15	8,23	0,28	0,86	10,39	6,25	8,37	1,66	0,02	0,81
	2.24.24	SNVD	9,70	5,39	8,13	4,79	0,18	0,87	10,25	5,99	8,39	1,25	0,01	0,82
	2.24.24	MSC	9,93	5,69	8,21	6,62	0,18	0,85	10,23	5,88	8,44	-0,09	0,00	0,82



**Tabelle 66** Validationsergebnisse für ungetrocknete (UG) und getrocknete (GG) Grassilageproben zur Schätzung des Milchsäuregehaltes (% TM)

Regression			UG						GG					
			SEP	bias	SEP(C)	slope	R <sup>2</sup>	RPD	SEP	bias	SEP(C)	slope	R <sup>2</sup>	RPD
Ableitung	Streuungs-	korrektur												
PCR	0.0.1	keine	5,25	4,06	3,36	1,58	0,24	0,72	4,69	3,50	3,15	2,71	0,50	0,80
	0.0.1	SNVD	4,61	3,08	3,45	2,38	0,24	0,82	4,69	3,56	3,07	2,14	0,47	0,80
	0.0.1	MSC	4,63	3,17	3,41	2,34	0,27	0,81	4,41	3,24	3,01	2,30	0,53	0,86
	1.6.6	keine	4,81	3,20	3,63	1,02	0,07	0,78	4,47	3,30	3,05	2,21	0,50	0,84
	1.6.6	SNVD	4,65	2,87	3,69	0,72	0,05	0,81	4,55	3,39	3,06	1,85	0,43	0,83
	1.6.6	MSC	4,68	2,98	3,64	0,92	0,07	0,81	4,38	3,23	2,99	2,32	0,55	0,86
	2.12.12	keine	4,80	3,38	3,44	1,78	0,21	0,79	4,75	3,44	3,31	1,61	0,27	0,79
	2.12.12	SNVD	4,66	3,20	3,42	1,76	0,22	0,81	4,56	3,32	3,15	1,97	0,40	0,83
	2.12.12	MSC	4,74	3,12	3,60	1,09	0,09	0,80	4,48	3,31	3,05	2,03	0,46	0,84
	2.24.24	keine	5,04	3,78	3,36	2,70	0,34	0,75	4,76	3,40	3,36	2,19	0,29	0,79
	2.24.24	SNVD	4,76	3,28	3,48	1,88	0,19	0,79	4,95	3,64	3,39	1,69	0,23	0,76
	2.24.24	MSC	4,91	3,72	3,23	3,74	0,57	0,77	4,80	3,42	3,39	1,87	0,24	0,79
PLS	0.0.1	keine	4,97	3,53	3,53	1,37	0,13	0,76	4,89	3,70	3,23	1,49	0,30	0,77
	0.0.1	SNVD	3,95	0,89	3,88	0,33	0,02	0,95	4,68	3,48	3,15	2,09	0,41	0,81
	0.0.1	MSC	4,18	1,90	3,75	0,53	0,04	0,90	4,45	3,21	3,10	1,93	0,42	0,85
	1.6.6	keine	4,72	3,27	3,44	1,78	0,21	0,80	5,69	4,56	3,44	0,86	0,17	0,66
	1.6.6	SNVD	4,50	3,08	3,31	2,60	0,37	0,84	4,55	3,42	3,02	1,97	0,47	0,83
	1.6.6	MSC	4,79	3,03	3,74	0,57	0,04	0,79	5,36	4,14	3,43	0,87	0,18	0,70
	2.12.12	keine	5,28	3,89	3,60	0,92	0,09	0,71	5,67	4,42	3,57	0,71	0,12	0,67
	2.12.12	SNVD	4,95	3,39	3,64	0,91	0,07	0,76	4,84	3,57	3,29	1,50	0,27	0,78
	2.12.12	MSC	5,01	3,47	3,64	0,96	0,07	0,75	5,47	4,24	3,49	0,88	0,15	0,69
	2.24.24	keine	5,23	4,00	3,40	2,23	0,27	0,72	4,87	3,57	3,35	1,43	0,23	0,77
	2.24.24	SNVD	4,83	3,59	3,27	3,55	0,51	0,78	4,90	3,67	3,28	1,47	0,27	0,77
	2.24.24	MSC	4,95	3,79	3,22	3,72	0,58	0,76	4,95	3,44	3,59	0,83	0,10	0,76
MPLS	0.0.1	keine	3,64	1,21	3,47	0,97	0,15	1,03	4,55	3,25	3,21	1,43	0,30	0,83
	0.0.1	SNVD	3,93	1,13	3,79	0,46	0,03	0,96	4,63	3,44	3,13	1,85	0,40	0,81
	0.0.1	MSC	4,91	3,60	3,36	2,65	0,34	0,77	4,87	3,57	3,35	1,08	0,21	0,77
	1.6.6	keine	4,23	2,89	3,10	2,16	0,45	0,89	5,49	4,46	3,24	1,14	0,26	0,69
	1.6.6	SNVD	4,31	2,68	3,41	1,36	0,20	0,87	5,17	4,02	3,28	1,27	0,26	0,73
	1.6.6	MSC	4,87	3,46	3,45	1,62	0,19	0,77	5,16	3,86	3,46	0,95	0,16	0,73
	2.12.12	keine	5,25	4,00	3,43	1,33	0,18	0,72	5,20	3,92	3,44	0,98	0,17	0,73
	2.12.12	SNVD	5,09	3,74	3,48	1,56	0,17	0,74	5,09	3,91	3,28	1,20	0,25	0,74
	2.12.12	MSC	4,94	3,56	3,45	1,95	0,21	0,76	5,31	3,98	3,54	0,78	0,13	0,71
	2.24.24	keine	5,05	3,80	3,36	2,42	0,31	0,75	4,86	3,46	3,44	1,17	0,17	0,78
	2.24.24	SNVD	4,82	3,35	3,49	1,59	0,17	0,78	4,87	3,44	3,47	1,08	0,15	0,77
	2.24.24	MSC	4,89	3,58	3,36	2,96	0,37	0,77	4,66	3,24	3,38	1,33	0,21	0,81

**Tabelle 67** Validationsergebnisse für ungetrocknete (UG) und getrocknete (GG) Grassilageproben zur Schätzung des Buttersäuregehaltes (% TM)

Regression			UG						GG					
			SEP	bias	SEP(C)	slope	R <sup>2</sup>	RPD	SEP	bias	SEP(C)	slope	R <sup>2</sup>	RPD
Ableitung	Streuungs-	korrektur												
PCR	0.0.1	keine	1,40	0,58	1,29	1,55	0,23	1,03	1,73	1,03	1,40	0,98	0,06	0,83
	0.0.1	SNVD	1,42	0,56	1,32	1,28	0,17	1,01	1,55	0,86	1,30	1,89	0,23	0,93
	0.0.1	MSC	1,50	0,65	1,36	1,15	0,11	0,96	1,64	0,95	1,35	1,51	0,14	0,88
	1.6.6	keine	1,38	0,72	1,19	2,13	0,45	1,05	1,50	0,68	1,35	1,22	0,13	0,96
	1.6.6	SNVD	1,53	0,82	1,30	2,91	0,33	0,94	1,48	0,76	1,28	2,00	0,28	0,97
	1.6.6	MSC	1,47	0,73	1,29	2,37	0,30	0,98	1,48	0,75	1,29	1,80	0,25	0,97
	2.12.12	keine	1,22	0,54	1,10	2,24	0,60	1,18	1,35	0,54	1,25	1,43	0,28	1,07
	2.12.12	SNVD	1,53	0,92	1,24	2,18	0,37	0,94	1,40	0,65	1,25	1,81	0,31	1,03
	2.12.12	MSC	1,56	0,94	1,26	2,49	0,37	0,92	1,41	0,64	1,27	1,92	0,30	1,02
	2.24.24	keine	1,55	0,91	1,26	2,42	0,36	0,93	1,70	1,02	1,37	2,60	0,15	0,85
	2.24.24	SNVD	1,41	0,68	1,25	1,98	0,33	1,02	1,61	0,91	1,35	1,58	0,15	0,89
	2.24.24	MSC	1,42	0,52	1,33	1,13	0,15	1,02	1,63	0,94	1,34	2,58	0,21	0,88
PLS	0.0.1	keine	1,29	-0,51	1,19	0,92	0,32	1,12	1,41	0,72	1,23	1,14	0,28	1,02
	0.0.1	SNVD	1,67	-0,86	1,45	0,49	0,12	0,86	1,35	0,58	1,23	1,47	0,30	1,07
	0.0.1	MSC	1,60	-0,78	1,41	0,55	0,14	0,90	1,39	0,65	1,23	1,66	0,32	1,04
	1.6.6	keine	1,06	0,09	1,06	1,32	0,48	1,36	1,31	0,52	1,21	1,18	0,30	1,10
	1.6.6	SNVD	1,45	-0,11	1,46	0,48	0,13	0,99	1,34	0,59	1,21	1,73	0,36	1,08
	1.6.6	MSC	1,33	0,45	1,26	1,35	0,25	1,09	1,33	0,61	1,19	1,40	0,35	1,09
	2.12.12	keine	1,09	0,40	1,03	1,89	0,63	1,32	1,31	0,52	1,21	1,59	0,34	1,10
	2.12.12	SNVD	1,19	0,27	1,17	1,49	0,39	1,21	1,33	0,66	1,17	2,01	0,46	1,08
	2.12.12	MSC	1,18	0,41	1,12	2,06	0,54	1,22	1,43	0,73	1,24	2,17	0,36	1,01
	2.24.24	keine	1,42	0,76	1,21	1,89	0,38	1,02	1,56	0,88	1,30	1,49	0,21	0,92
	2.24.24	SNVD	1,50	0,83	1,26	2,80	0,40	0,96	1,61	0,90	1,35	1,58	0,15	0,90
	2.24.24	MSC	1,47	0,74	1,28	2,73	0,35	0,98	1,57	0,87	1,32	1,77	0,20	0,92
MPLS	0.0.1	keine	1,46	-0,59	1,35	0,58	0,25	0,98	1,35	0,59	1,23	1,23	0,28	1,07
	0.0.1	SNVD	1,24	-0,25	1,22	1,07	0,28	1,16	1,40	0,59	1,28	1,36	0,23	1,03
	0.0.1	MSC	1,85	-1,00	1,57	0,37	0,10	0,78	1,36	0,61	1,23	1,44	0,31	1,06
	1.6.6	keine	1,17	0,51	1,06	1,98	0,60	1,23	1,35	0,54	1,25	1,30	0,27	1,07
	1.6.6	SNVD	1,20	0,32	1,17	1,79	0,43	1,20	1,31	0,59	1,18	1,63	0,38	1,10
	1.6.6	MSC	1,28	0,26	1,27	1,10	0,23	1,13	1,29	0,52	1,19	1,56	0,37	1,12
	2.12.12	keine	1,11	0,45	1,02	1,63	0,58	1,30	1,39	0,69	1,22	1,33	0,30	1,03
	2.12.12	SNVD	1,25	0,56	1,13	2,22	0,55	1,15	1,35	0,69	1,17	1,84	0,43	1,07
	2.12.12	MSC	1,19	0,40	1,13	1,57	0,44	1,21	1,41	0,81	1,16	2,58	0,56	1,02
	2.24.24	keine	1,28	0,58	1,15	2,00	0,49	1,13	1,52	0,81	1,30	1,53	0,21	0,94
	2.24.24	SNVD	1,34	0,45	1,27	1,32	0,24	1,08	1,58	0,86	1,34	1,37	0,15	0,91
	2.24.24	MSC	1,45	0,56	1,35	1,05	0,12	0,99	1,49	0,79	1,27	2,16	0,31	0,97

**Tabelle 68** Validationsergebnisse für ungetrocknete (UG) und getrocknete (GG) Grassilageproben zur Schätzung des Essigsäuregehaltes (% TM)

Regression	UG								GG					
	Ableitung	Streuungs-korrektur	SEP	bias	SEP(C)	slope	R <sup>2</sup>	RPD	SEP	bias	SEP(C)	slope	R <sup>2</sup>	RPD
PCR	0.0.1	keine	1,22	0,85	0,88	2,62	0,40	0,83	1,12	0,52	1,00	0,57	0,06	0,91
	0.0.1	SNVD	1,64	1,28	1,04	0,47	0,13	0,62	1,16	0,71	0,93	0,98	0,16	0,88
	0.0.1	MSC	1,39	1,01	0,96	0,69	0,13	0,73	1,15	0,69	0,92	1,25	0,18	0,89
	1.6.6	keine	1,49	1,12	0,99	0,56	0,14	0,69	1,06	0,44	0,98	0,68	0,09	0,96
	1.6.6	SNVD	1,49	1,08	1,03	0,47	0,10	0,69	1,11	0,55	0,97	0,74	0,09	0,92
	1.6.6	MSC	1,51	1,10	1,04	0,45	0,10	0,67	1,09	0,49	0,98	0,67	0,09	0,94
	2.12.12	keine	1,30	0,90	0,95	0,85	0,13	0,78	1,10	0,55	0,96	0,73	0,13	0,93
	2.12.12	SNVD	1,30	0,86	0,99	0,62	0,09	0,78	1,09	0,54	0,96	0,76	0,12	0,93
	2.12.12	MSC	1,36	0,94	0,99	0,60	0,10	0,75	1,11	0,53	0,98	0,66	0,09	0,92
	2.24.24	keine	1,38	0,99	0,97	0,82	0,10	0,74	1,24	0,77	0,98	0,74	0,08	0,82
	2.24.24	SNVD	1,44	1,05	0,99	0,57	0,11	0,71	1,20	0,78	0,93	1,21	0,18	0,85
	2.24.24	MSC	1,53	1,15	1,03	0,48	0,12	0,67	1,25	0,78	0,99	0,67	0,06	0,81
PLS	0.0.1	keine	1,08	-0,34	1,03	0,48	0,12	0,95	1,16	0,62	0,99	0,56	0,12	0,88
	0.0.1	SNVD	0,98	0,16	0,97	0,70	0,11	1,05	1,18	0,72	0,94	0,75	0,17	0,87
	0.0.1	MSC	1,28	0,73	1,06	0,28	0,02	0,80	1,17	0,70	0,94	0,72	0,18	0,87
	1.6.6	keine	1,09	0,21	1,07	0,28	0,02	0,94	1,24	0,82	0,94	0,69	0,18	0,82
	1.6.6	SNVD	1,35	0,88	1,03	0,48	0,08	0,76	1,23	0,84	0,91	0,77	0,22	0,83
	1.6.6	MSC	1,36	0,90	1,03	0,47	0,08	0,75	1,29	0,90	0,94	0,71	0,18	0,79
	2.12.12	keine	1,19	0,70	0,97	0,76	0,09	0,86	1,17	0,74	0,92	0,87	0,19	0,87
	2.12.12	SNVD	1,23	0,77	0,97	0,77	0,11	0,83	1,23	0,85	0,90	1,07	0,23	0,83
	2.12.12	MSC	1,29	0,86	0,98	0,67	0,10	0,79	1,36	1,01	0,92	0,81	0,20	0,75
	2.24.24	keine	1,27	0,85	0,95	0,82	0,13	0,80	1,11	0,66	0,90	0,96	0,21	0,92
	2.24.24	SNVD	1,22	0,81	0,92	1,19	0,19	0,83	1,14	0,74	0,87	0,93	0,26	0,89
	2.24.24	MSC	1,22	0,83	0,90	1,25	0,22	0,83	1,05	0,62	0,86	0,99	0,29	0,97
MPLS	0.0.1	keine	1,02	0,26	1,00	0,58	0,09	1,00	1,20	0,74	0,96	0,76	0,12	0,85
	0.0.1	SNVD	1,17	0,62	1,00	0,66	0,05	0,87	1,18	0,70	0,95	0,72	0,14	0,87
	0.0.1	MSC	1,18	-0,18	1,18	0,02	0,00	0,86	1,23	0,72	1,00	0,54	0,09	0,83
	1.6.6	keine	1,14	0,60	0,98	0,71	0,09	0,89	1,30	0,83	1,01	0,54	0,08	0,79
	1.6.6	SNVD	1,25	0,80	0,97	0,89	0,10	0,82	1,28	0,90	0,92	0,83	0,19	0,80
	1.6.6	MSC	1,14	0,55	1,01	0,52	0,04	0,89	1,24	0,76	0,99	0,59	0,10	0,82
	2.12.12	keine	1,07	0,48	0,97	0,75	0,10	0,95	1,23	0,66	1,05	0,40	0,05	0,83
	2.12.12	SNVD	1,22	0,71	1,01	0,57	0,04	0,83	1,16	0,65	0,97	0,75	0,11	0,88
	2.12.12	MSC	1,24	0,73	1,01	0,56	0,04	0,82	1,51	1,13	1,01	0,51	0,08	0,68
	2.24.24	keine	1,08	0,50	0,97	0,75	0,11	0,94	1,08	0,55	0,94	0,92	0,14	0,94
	2.24.24	SNVD	1,29	0,92	0,91	1,23	0,21	0,79	1,20	0,78	0,92	1,02	0,19	0,85
	2.24.24	MSC	1,18	0,50	1,07	0,23	0,01	0,87	1,19	0,74	0,93	0,97	0,16	0,86

**Tabelle 69** Validationsergebnisse für ungetrocknete (UG) und getrocknete (GG)  
Grassilageproben zur Schätzung des Propionsäuregehaltes (% TM)

Regression	UG								GG					
	Ableitung	Streuungs- korrektur	SEP	bias	SEP(C)	slope	R <sup>2</sup>	RPD	SEP	bias	SEP(C)	slope	R <sup>2</sup>	RPD
PCR	0.0.1	keine	0,87	0,51	0,71	7,85	0,40	0,85	0,87	0,50	0,72	3,94	0,14	0,85
	0.0.1	SNVD	0,89	0,52	0,73	9,28	0,20	0,83	0,87	0,50	0,71	4,70	0,24	0,86
	0.0.1	MSC	0,90	0,53	0,73	9,08	0,21	0,83	0,88	0,51	0,72	4,03	0,16	0,84
	1.6.6	keine	0,86	0,51	0,70	3,21	0,22	0,86	0,85	0,48	0,71	3,19	0,16	0,87
	1.6.6	SNVD	0,88	0,52	0,72	8,77	0,33	0,84	0,86	0,49	0,71	5,72	0,30	0,86
	1.6.6	MSC	0,89	0,54	0,71	5,74	0,29	0,84	0,85	0,47	0,71	3,83	0,21	0,87
	2.12.12	keine	0,85	0,50	0,69	6,10	0,45	0,87	0,81	0,45	0,69	3,30	0,30	0,91
	2.12.12	SNVD	0,86	0,51	0,70	5,31	0,33	0,86	0,87	0,50	0,72	5,58	0,23	0,85
	2.12.12	MSC	0,88	0,53	0,70	3,70	0,23	0,84	0,84	0,47	0,70	3,92	0,26	0,88
	2.24.24	keine	0,86	0,51	0,71	5,11	0,28	0,86	0,88	0,52	0,71	4,41	0,21	0,85
	2.24.24	SNVD	0,89	0,53	0,72	4,14	0,14	0,83	0,87	0,51	0,71	4,97	0,22	0,85
	2.24.24	MSC	0,90	0,54	0,72	3,71	0,13	0,83	0,90	0,53	0,73	2,73	0,05	0,82
PLS	0.0.1	keine	0,80	0,42	0,69	6,20	0,51	0,93	0,80	0,44	0,68	3,79	0,39	0,93
	0.0.1	SNVD	0,78	0,37	0,69	5,68	0,45	0,95	0,83	0,47	0,69	4,70	0,39	0,89
	0.0.1	MSC	0,79	0,40	0,69	7,11	0,56	0,94	0,81	0,46	0,68	4,64	0,43	0,91
	1.6.6	keine	0,83	0,47	0,68	5,90	0,51	0,90	0,81	0,46	0,67	3,83	0,41	0,92
	1.6.6	SNVD	0,83	0,47	0,69	7,80	0,60	0,89	0,83	0,48	0,69	4,89	0,41	0,89
	1.6.6	MSC	0,85	0,50	0,70	5,96	0,40	0,87	0,86	0,49	0,71	4,21	0,20	0,86
	2.12.12	keine	0,83	0,47	0,68	5,87	0,52	0,90	0,82	0,47	0,68	4,10	0,37	0,90
	2.12.12	SNVD	0,86	0,51	0,70	4,97	0,33	0,86	0,83	0,47	0,69	4,91	0,39	0,89
	2.12.12	MSC	0,86	0,51	0,70	3,97	0,27	0,86	0,85	0,48	0,71	3,62	0,20	0,87
	2.24.24	keine	0,85	0,50	0,69	6,06	0,44	0,87	0,87	0,51	0,71	3,08	0,18	0,85
	2.24.24	SNVD	0,88	0,53	0,71	5,76	0,26	0,84	0,88	0,53	0,72	2,98	0,14	0,84
	2.24.24	MSC	0,84	0,48	0,69	8,09	0,59	0,89	0,87	0,51	0,71	3,00	0,17	0,85
MPLS	0.0.1	keine	0,79	0,41	0,68	6,13	0,56	0,94	0,81	0,43	0,69	3,95	0,32	0,91
	0.0.1	SNVD	0,80	0,42	0,68	7,28	0,61	0,93	0,82	0,46	0,68	4,58	0,42	0,91
	0.0.1	MSC	0,84	0,46	0,70	7,13	0,40	0,89	0,82	0,46	0,68	3,95	0,38	0,90
	1.6.6	keine	0,82	0,46	0,68	5,69	0,50	0,90	0,85	0,48	0,71	3,11	0,17	0,87
	1.6.6	SNVD	0,82	0,46	0,69	7,47	0,60	0,90	0,84	0,49	0,69	5,37	0,46	0,88
	1.6.6	MSC	0,82	0,45	0,69	8,19	0,63	0,90	0,84	0,48	0,69	4,06	0,31	0,89
	2.12.12	keine	0,81	0,45	0,68	5,60	0,52	0,91	0,84	0,49	0,69	4,92	0,41	0,88
	2.12.12	SNVD	0,84	0,49	0,69	6,38	0,51	0,88	0,88	0,53	0,71	5,77	0,31	0,84
	2.12.12	MSC	0,84	0,49	0,69	7,04	0,57	0,88	0,86	0,50	0,71	4,11	0,23	0,86
	2.24.24	keine	0,86	0,51	0,70	4,02	0,28	0,86	0,85	0,48	0,70	3,02	0,19	0,87
	2.24.24	SNVD	0,84	0,49	0,70	9,55	0,63	0,88	0,88	0,52	0,71	2,79	0,14	0,84
	2.24.24	MSC	0,86	0,51	0,70	7,43	0,47	0,86	0,86	0,49	0,71	2,85	0,16	0,86

**Tabelle 70** Validationsergebnisse für ungetrocknete (UG) und getrocknete (GG)  
Grassilageproben zur Schätzung des Ethanolgehaltes (% TM)

Regression	UG								GG					
	Ableitung	Streuungs- korrektur	SEP	bias	SEP(C)	slope	R <sup>2</sup>	RPD	SEP	bias	SEP(C)	slope	R <sup>2</sup>	RPD
PCR	0.0.1	keine	1,26	1,07	0,67	-32,92	0,00	0,53	1,26	1,29	1,07	0,67	0,00	0,53
	0.0.1	SNVD	1,19	1,00	0,65	1,25	0,05	0,56	1,19	1,29	1,00	0,65	0,05	0,56
	0.0.1	MSC	1,21	1,02	0,66	1,05	0,02	0,55	1,21	1,29	1,02	0,66	0,02	0,55
	1.6.6	keine	1,07	0,88	0,62	1,53	0,17	0,63	1,07	1,29	0,88	0,62	0,17	0,63
	1.6.6	SNVD	1,18	0,99	0,65	1,52	0,05	0,57	1,18	1,29	0,99	0,65	0,05	0,57
	1.6.6	MSC	1,12	0,93	0,63	1,86	0,16	0,60	1,12	1,29	0,93	0,63	0,16	0,60
	2.12.12	keine	1,11	0,92	0,62	1,87	0,18	0,61	1,11	1,29	0,92	0,62	0,18	0,61
	2.12.12	SNVD	1,08	0,90	0,61	1,70	0,21	0,62	1,08	1,29	0,90	0,61	0,21	0,62
	2.12.12	MSC	1,09	0,91	0,59	2,39	0,32	0,62	1,09	1,29	0,91	0,59	0,32	0,62
	2.24.24	keine	1,25	1,06	0,67	-27,26	0,04	0,53	1,25	1,29	1,06	0,67	0,04	0,53
	2.24.24	SNVD	1,25	1,06	0,67	-75,88	0,17	0,53	1,25	1,29	1,06	0,67	0,17	0,53
	2.24.24	MSC	1,26	1,07	0,67	-102,78	0,10	0,53	1,26	1,29	1,07	0,67	0,10	0,53
PLS	0.0.1	keine	1,16	0,98	0,62	2,96	0,24	0,58	1,16	1,29	0,98	0,62	0,24	0,58
	0.0.1	SNVD	1,03	0,85	0,57	1,58	0,31	0,65	1,03	1,29	0,85	0,57	0,31	0,65
	0.0.1	MSC	0,99	0,81	0,58	1,46	0,27	0,67	0,99	1,29	0,81	0,58	0,27	0,67
	1.6.6	keine	1,00	0,83	0,57	1,94	0,37	0,67	1,00	1,29	0,83	0,57	0,37	0,67
	1.6.6	SNVD	1,10	0,95	0,57	2,17	0,39	0,61	1,10	1,29	0,95	0,57	0,39	0,61
	1.6.6	MSC	1,07	0,89	0,60	2,16	0,28	0,63	1,07	1,29	0,89	0,60	0,28	0,63
	2.12.12	keine	1,01	0,82	0,60	1,42	0,22	0,66	1,01	1,29	0,82	0,60	0,22	0,66
	2.12.12	SNVD	1,04	0,87	0,58	1,22	0,27	0,64	1,04	1,29	0,87	0,58	0,27	0,64
	2.12.12	MSC	1,08	0,92	0,57	1,86	0,35	0,62	1,08	1,29	0,92	0,57	0,35	0,62
	2.24.24	keine	1,26	1,07	0,67	1,07	0,00	0,53	1,26	1,29	1,07	0,67	0,00	0,53
	2.24.24	SNVD	1,26	1,06	0,68	-0,57	0,00	0,53	1,26	1,29	1,06	0,68	0,00	0,53
	2.24.24	MSC	1,26	1,08	0,67	-26,79	0,07	0,53	1,26	1,29	1,08	0,67	0,07	0,53
MPLS	0.0.1	keine	1,25	1,06	0,67	-5,81	0,02	0,54	1,25	1,29	1,06	0,67	0,02	0,54
	0.0.1	SNVD	1,07	0,92	0,57	2,29	0,42	0,62	1,07	1,29	0,92	0,57	0,42	0,62
	0.0.1	MSC	1,00	0,81	0,59	1,26	0,23	0,67	1,00	1,29	0,81	0,59	0,23	0,67
	1.6.6	keine	1,02	0,89	0,51	1,73	0,50	0,65	1,02	1,29	0,89	0,51	0,50	0,65
	1.6.6	SNVD	1,08	0,90	0,60	1,34	0,20	0,62	1,08	1,29	0,90	0,60	0,20	0,62
	1.6.6	MSC	1,02	0,85	0,55	2,58	0,50	0,66	1,02	1,29	0,85	0,55	0,50	0,66
	2.12.12	keine	1,20	1,01	0,65	1,61	0,07	0,56	1,20	1,29	1,01	0,65	0,07	0,56
	2.12.12	SNVD	1,13	0,95	0,61	1,76	0,20	0,59	1,13	1,29	0,95	0,61	0,20	0,59
	2.12.12	MSC	1,13	0,95	0,62	1,62	0,17	0,59	1,13	1,29	0,95	0,62	0,17	0,59
	2.24.24	keine	1,26	1,07	0,67	-0,38	0,00	0,53	1,26	1,29	1,07	0,67	0,00	0,53
	2.24.24	SNVD	1,26	1,07	0,67	33,95	0,18	0,53	1,26	1,29	1,07	0,67	0,18	0,53
	2.24.24	MSC	1,26	1,07	0,67	11,70	0,04	0,53	1,26	1,29	1,07	0,67	0,04	0,53

**Tabelle 71** Validationsergebnisse für ungetrocknete (UG) und getrocknete (GG) Grassilageproben zur Schätzung der DLG-Punkte

Regression			UG						GG					
			SEP	bias	SEP(C)	slope	R <sup>2</sup>	RPD	SEP	bias	SEP(C)	slope	R <sup>2</sup>	RPD
Ableitung	Streuungs-	korrektur												
PCR	0.0.1	keine	30,82	8,53	29,87	0,55	0,32	1,02	45,48	-33,87	30,61	0,94	0,06	0,69
	0.0.1	SNVD	27,79	-0,10	28,02	0,66	0,29	1,13	29,98	-19,15	23,26	1,95	0,60	1,05
	0.0.1	MSC	27,12	-0,02	27,35	0,70	0,30	1,16	36,96	-25,86	26,63	1,88	0,37	0,85
	1.6.6	keine	18,17	-0,96	18,29	1,08	0,67	1,74	38,92	-27,64	27,62	1,98	0,31	0,81
	1.6.6	SNVD	22,39	-3,89	22,24	0,95	0,50	1,41	31,02	-20,71	23,30	2,01	0,61	1,02
	1.6.6	MSC	29,83	1,25	30,06	0,57	0,21	1,06	34,11	-23,10	25,31	1,81	0,44	0,92
	2.12.12	keine	22,08	-5,29	21,62	1,00	0,53	1,43	20,79	-9,32	18,74	1,41	0,71	1,52
	2.12.12	SNVD	30,43	-17,53	25,09	0,81	0,39	1,04	23,97	-13,99	19,63	1,66	0,73	1,32
	2.12.12	MSC	27,91	-14,70	23,92	0,84	0,44	1,13	26,22	-15,66	21,21	1,78	0,68	1,20
	2.24.24	keine	25,94	-8,79	24,61	0,81	0,41	1,22	39,49	-26,03	29,95	1,09	0,10	0,80
	2.24.24	SNVD	24,12	-10,45	21,92	1,31	0,55	1,31	38,84	-26,15	28,96	1,61	0,18	0,81
	2.24.24	MSC	23,26	-8,57	21,81	1,22	0,54	1,36	35,20	-22,78	27,07	1,70	0,32	0,90
PLS	0.0.1	keine	17,47	0,61	17,61	1,15	0,70	1,80	18,83	-4,14	18,53	1,12	0,66	1,67
	0.0.1	SNVD	21,40	4,09	21,18	0,92	0,55	1,47	19,23	-6,16	18,37	1,40	0,72	1,64
	0.0.1	MSC	18,14	-4,22	17,79	1,29	0,72	1,74	19,21	-5,18	18,66	1,55	0,74	1,64
	1.6.6	keine	18,45	0,97	18,58	0,98	0,65	1,71	17,49	-4,10	17,15	1,14	0,72	1,80
	1.6.6	SNVD	18,53	-0,91	18,66	1,08	0,65	1,70	18,57	-6,51	17,54	1,53	0,78	1,70
	1.6.6	MSC	19,58	-3,21	19,48	1,14	0,63	1,61	18,30	-5,08	17,73	1,44	0,75	1,72
	2.12.12	keine	17,72	-6,95	16,44	1,09	0,73	1,78	18,42	-7,59	16,92	1,09	0,72	1,71
	2.12.12	SNVD	20,48	-11,70	16,95	1,21	0,73	1,54	23,15	-12,77	19,47	1,85	0,79	1,36
	2.12.12	MSC	19,01	-10,59	15,92	1,29	0,78	1,66	19,55	-8,51	17,75	1,42	0,75	1,61
	2.24.24	keine	26,03	-6,36	25,45	0,74	0,40	1,21	30,20	-20,08	22,74	1,05	0,48	1,04
	2.24.24	SNVD	24,92	-0,12	25,13	0,77	0,40	1,27	37,19	-24,09	28,57	1,56	0,21	0,85
	2.24.24	MSC	21,09	1,80	21,20	0,96	0,55	1,49	34,69	-22,21	26,87	1,57	0,32	0,91
MPLS	0.0.1	keine	24,81	13,19	21,19	0,87	0,56	1,27	18,35	-1,50	18,44	1,10	0,66	1,72
	0.0.1	SNVD	23,20	7,91	21,99	0,87	0,53	1,36	18,48	1,12	18,60	1,21	0,67	1,71
	0.0.1	MSC	22,75	1,62	22,88	0,83	0,49	1,39	18,20	-3,59	17,99	1,36	0,72	1,73
	1.6.6	keine	21,09	5,34	20,58	0,87	0,59	1,50	20,01	-8,47	18,28	1,09	0,67	1,58
	1.6.6	SNVD	20,43	-8,96	18,52	1,26	0,68	1,54	18,79	-6,35	17,84	1,40	0,74	1,68
	1.6.6	MSC	19,41	-0,82	19,55	0,99	0,62	1,62	19,33	-6,57	18,34	1,20	0,68	1,63
	2.12.12	keine	18,17	-7,11	16,86	1,04	0,72	1,74	19,97	-10,54	17,11	1,20	0,73	1,58
	2.12.12	SNVD	17,84	-7,33	16,40	1,29	0,77	1,77	22,23	-12,09	18,81	1,46	0,72	1,42
	2.12.12	MSC	18,89	-8,99	16,76	1,22	0,74	1,67	20,03	-9,92	17,55	1,30	0,73	1,57
	2.24.24	keine	22,96	-6,07	22,33	0,89	0,51	1,37	29,55	-20,85	21,12	1,51	0,62	1,07
	2.24.24	SNVD	25,96	4,04	25,86	0,71	0,39	1,21	31,59	-21,76	23,10	1,85	0,59	1,00
	2.24.24	MSC	21,48	-2,92	21,46	0,99	0,54	1,47	37,05	-25,08	27,50	1,78	0,30	0,85

## **LEBENS LAUF**

### **Persönliche Daten**

Name: H el ene Francine Marie Gibaud  
Geboren: 18 Juni 1974 in Saumur / Frankreich  
Familienstand: verheiratet  
Email: gibaud@komagri.com

### **Schulbildung in Frankreich**

1980 – 1985 Grundschole in Sainte-Gemme-la-Plaine  
1985 – 1989 Coll ege Beaussire in Lu on  
1989 – 1993 Gymnasium François Rabelais  
Schulabschluss: Abitur D (naturwissenschaftlich)

### **Studium in Deutschland**

1993 – 1999 Christian-Albrechts-Universität zu Kiel  
Studiengang: Agrarwissenschaften Fachrichtung Tierproduktion  
Abschluss: Diplom- Agrar- Ingenieurin

02.1995 – 03.1995 Praktikum in Frankreich in der Bergerie Nationale (Centre d’enseignement zootechnique)

05.1995 – 10.1995 Wissenschaftliche Hilfskraft im Auftrag der Norddeutschen Pflanzenzucht H.G. Lembke K.G. am Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung der Universität Kiel

07.1996 – 10.1996 Praktikum in einem landwirtschaftlichen Betrieb in Meimersdorf (S-H)

07.1997 – 08.1997 Praktikum in einem landwirtschaftlichen Betrieb in Neufeld (S-H)

06.1999 – 08.1999 Praktikum bei der Viehzentrale Südwest GmbH in Bitburg und Stuttgart

### **Berufstätigkeit**

Seit 04/2000 Gründung des Unternehmens KomAgri mit den folgenden Dienstleistungen:  
Fach bersetzung, Fachdolmetschen  
Lektorat, Redaktion von Presseartikeln und Reportagen für die Fachpresse (auf Französisch und auf Deutsch)  
Organisation und Begleitung von Fachreisen nach Frankreich  
Vermittlung und Organisation im Zuchttierhandel zwischen Frankreich und Deutschland

03.2003 – 06.2005 Forschungstätigkeit als wissenschaftliche Mitarbeiterin am Institut für Pflanzenbau und Grünlandwirtschaft der Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft in Braunschweig

## DANKSAGUNG

Mein besonderer Dank gilt Herrn Prof. Jörg Michael Greef für die Bereitstellung des Forschungsthemas und seine unermüdlichen Anregungen.

Für die Unterstützung und die fachliche Betreuung dieser Arbeit möchte ich mich herzlich bei Herrn Dr. Christian Paul bedanken.

Ebenso bedanke ich mich bei Herrn Prof. Johannes Isselstein für die Übernahme des Referates und seine stets freundliche Unterstützung.

Herrn Prof. Dr. Hansjörg Abel danke ich für die bereitwillige Übernahme des Koreferates.

Herrn Manfred Sommer der AgFuKo von der Landwirtschaftskammer Niedersachsen danke ich für die Bereitstellung des Spektrometers und seine verlässliche Begleitung dieses Projektes.

Ich habe sehr profitiert von der außerordentlich harmonischen Zusammenarbeit mit Frau Dr. Barbara Ruser der Fa. Pioneer Hi-bred GmbH in Buxtehude. Ihr richte ich einen besonderen Dank für ihre vertrauensvolle Zusammenarbeit und ihre Ermutigungen. Die Messtage haben dank ihrer engagierten Labormannschaft allesamt im Zeichen reibungsloser Teamarbeit gestanden.

Vielen Dank an die NIRS-Abteilung des Instituts für Pflanzenbau und Grünlandwirtschaft der FAL: Herrn Dr. Christian Paul, Frau Sabine Kaiser und Herrn Christian Pfitzner und nicht zuletzt an Frau Merle Alex für ihre geduldigen Erklärungen und tatkräftige Unterstützung beim Navigieren durchs Zahlendickicht.

Vielfältige Hilfe wurde mir von Herrn Dr. Günther Pahlow zuteil. Ich danke u.a. dafür, dass ich jederzeit aus seinem Wissen über die Grassilagequalität und die Probenaufbereitung schöpfen durfte. Darüber hinaus danke ich für die wertvolle Mitarbeit seiner Assistentinnen Frau Claudia Wilkes und Frau Janine Gutberlett an diesem Projekt.

Natürlich war das Engagement von Herrn Dirk Hillegeist und von seinem Team einzigartig und immer motivierend, wenn es hieß, wir sind überlastet, aber diese Proben analysieren wir doch jetzt!

Mein Dank gilt Herrn Dierk-Dieter Strauss vom Rechenzentrum der FAL für seine Unterstützung bei den statistischen Analysen mit SAS® und Dr. Pierre Dardenne (CRAGx, Gembloux) sowie Dr. Heinrich Prüfer (SensoLogic, Norderstedt) für Ihre Hilfsbereitschaft.

Den Mitdoktoranden danke ich für die moralische und fachliche Unterstützung, insbesondere Frau Dr. Siriwan Martens.

Ganz lieben Dank an Frau Frauke Dietrich, Frau Dr. Jutta Werner, Frau Silvia Ghergu und Frau Antje Hirsch für ihre sprachlichen Korrekturen.

Ganz besonderer Dank gilt Dr. Christian Moschner für seine großzügige Unterstützung und den regen fachlichen Austausch, der mich über Durststrecken auch immer mit dem nötigen Humor versorgt hat.

Ohne das Stipendium der Gesellschaft der Freunde der FAL wäre diese Arbeit nicht entstanden. Hierfür geht mein Dank an die GdF.

Ich möchte meinem Ehemann Frank dafür danken, dass er durchweg und insbesondere in der Endphase wichtige Impulse gesetzt hat. Seine Zähigkeit und Ausdauer waren unersetzlich.