

# ABSCHLUSSBERICHT

## MoMiNE

Modellierung der N-Ausscheidung von Milchrindern zur  
Verbesserung der Nationalen Emissionsinventare und der  
einzelbetrieblichen Einschätzung



## IMPRESSUM

### **Titel**

MoMiNE – Modellierung der N-Ausscheidung von Milchrindern zur Verbesserung der Nationalen Emissionsinventare und der einzelbetrieblichen Einschätzung

### **Forschungs-Nr.**

1/57

### **Berichtszeitraum**

01.10.2022 – 31.12.2025

### **Herausgeber**

Landesforschungsanstalt für Landwirtschaft und Fischerei Mecklenburg-Vorpommern

Dorfplatz 1/OT Gülzow • 18276 Gülzow-Prüzen

Telefon: 0385/588 60001

Fax: 0385/588 60011

[poststelle@lfa.mvnet.de](mailto:poststelle@lfa.mvnet.de)

[www.lfamv.de](http://www.lfamv.de)

### **Autoren**

Caroline Dreyer • Telefon: 0385 588-60322

Dr. Peter Sanftleben • Telefon: 0385 588-60000

LFA MV • Dorfplatz1/OT Gülzow • 18276 Gülzow-Prüzen • [www.lfamv.de](http://www.lfamv.de)

### **Titelfoto**

- 1) Folkard Isermeyer, Thünen-Institut
- 2) Peter Meyer, BLE
- 3) Fossanalytics.com

## GEFÖRDERT DURCH

---

Gefördert durch:



Bundesministerium  
für Landwirtschaft, Ernährung  
und Heimat

Projektträger



Bundesanstalt für  
Landwirtschaft und Ernährung

aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

## INHALT

<b>1</b>	<b>Einleitung .....</b>	<b>5</b>
<b>2</b>	<b>Material und Methoden.....</b>	<b>6</b>
2.1	AP I.3: Einfluss der Tiergesundheit auf den Milchharnstoffgehalt.....	6
2.2	AP I.4: Darstellung der Milcherzeugung und -fütterung seit 2005 in Deutschland.....	7
2.3	AP II.2: Modellvalidierung .....	8
2.4	AP III.3: Einzelbetriebliche Beurteilung und Empfehlung.....	9
<b>3</b>	<b>Ergebnisse .....</b>	<b>9</b>
3.1	AP I.3: Einfluss der Tiergesundheit auf den Milchharnstoffgehalt.....	9
3.2	AP I.4: Darstellung der Milcherzeugung und -fütterung seit 2005 in Deutschland.....	11
3.3	AP II.2: Modellvalidierung .....	14
3.4	AP III.3: Einzelbetriebliche Beurteilung und Empfehlung.....	15
<b>4</b>	<b>Schlussfolgerungen.....</b>	<b>16</b>
<b>5</b>	<b>Erfolgte und geplante Veröffentlichungen .....</b>	<b>17</b>
5.1	Tagungsbeiträge .....	17
5.2	Artikel in Fachzeitschriften .....	17
5.3	Vorträge.....	18
5.4	Poster.....	19
<b>6</b>	<b>Literatur .....</b>	<b>19</b>

## TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 1: Einteilung der Gruppen von Stoffwechsel (FEQ)- und Eutergesundheitsindikatoren (SCC, UHG) .....	6
Tabelle 2: Wachstumskoeffizienten pro Jahr der untersuchten Variablen als Mittelwerte für ganz Deutschland und deren Entwicklung in 20 Jahren, ausgehend vom Jahr 2005 .....	15

## ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 1: Least Square Means und Standardfehler der Variablen Milchleistung, Milcheiweißgehalt und Milchharnstoffgehalt im Verlauf der Jahresgruppen und im Vergleich der wichtigsten Rassen je Region (Holstein-Schwarzbunt (SBT), Holstein-Rotbunt (RBT), Braunvieh (BV), Fleckvieh (FL) und Mischherden (MIX)) (Werte mit gleichen Buchstaben sind nicht signifikant unterschiedlich bei Signifikanzniveau $\alpha = 0,05$ ) .....	11
Abbildung 2: Least Square Means und Standardfehler des Rohproteingehaltes der Gras- und Maissilagen im Vergleich der Jahresgruppen innerhalb der Regionen Nord-Ost (NO), Nord-West (NW) und SÜD. (Werte mit gleichen Buchstaben sind nicht signifikant unterschiedlich bei Signifikanzniveau $\alpha = 0,05$ ).....	12
Abbildung 3: Entwicklung der Zusammensetzung der Haupttrationskomponenten aller melkenden Fütterungsgruppen (Frisch, HL, ML, NL, Gesamt) im Verlauf der Jahresgruppen innerhalb der Regionen Nord-Ost (NO), Nord-West (NW) und SÜD.....	12

---

Abbildung 4: Least Square Means und Standardfehler der Variablen Rohproteingehalt und Rohproteinaufnahme im Vergleich der Jahresgruppen innerhalb der FG-Kategorien "Melkend" (Frisch, HL, ML, NL, Gesamt) und „Trocken“ (TS, VB) und zwischen den Regionen. (Werte mit gleichen Buchstaben sind nicht signifikant unterschiedlich bei Signifikanzniveau $\alpha = 0,05$ ) .....	13
Abbildung 5: Entwicklung der gesamtdeutschen Jahresmittelwerte der Variablen N-Ausscheidung (MLP-geschätzt, Rat.-berechnet) (linke Achse) und N-Effizienz (rechte Achse) von 2005 bis 2022 inklusive Trendlinien der linearen Regressionen .....	14
Abbildung 6: Least Square Means des Milchharnstoffgehaltes in FPR-Gruppen (fat-protein-ratio, Fett-Eiweiß-Quotient) für die Datensätze A bis E ( <sup>a-d</sup> Werte mit gleichen Buchstaben sind nicht signifikant unterschiedlich bei Signifikanzniveau $\alpha = 0,05$ ) .....	10
Abbildung 7: Least Square Means des Milchharnstoffgehaltes in Somatic-Cell-Count-Gruppen (SCC: Zellzahlen) für die Datensätze A bis E ( <sup>a-d</sup> Werte mit gleichen Buchstaben sind nicht signifikant unterschiedlich bei Signifikanzniveau $\alpha = 0,05$ ) .....	10
Abbildung 8: Least Square Means des Milchharnstoffgehaltes in Udder-Health-Gruppen (UHG: Eutergesundheitsgruppen) für die Datensätze A bis E ( <sup>a-d</sup> Werte mit gleichen Buchstaben sind nicht signifikant unterschiedlich bei Signifikanzniveau $\alpha = 0,05$ ) .....	10
Abbildung 9: Vergleich der geschätzten mit den berechneten N-Ausscheidungen je Fütterungsgruppe für Betrieb A und B .....	15
Abbildung 10: Vergleich der geschätzten mit den berechneten Betriebsjahresmittelwerten dargestellt als lineare Regression .....	16

## 1 Einleitung

Die Stickstoff-Emissionen aus der Landwirtschaft machen ca. 3,6 % aller Treibhausgasemissionen in Deutschland aus. Allerdings stammen momentan (2023) 93 % der Ammoniak-Emissionen aus der Landwirtschaft und vor allem der Tierhaltung (Fuß et al., 2025). Neben Emissionssenkung und Effizienzsteigerung steht allem voran jedoch die möglichst genaue Schätzung bzw. Messung tatsächlicher Nährstoffflüsse. Vor diesem Hintergrund wurde das BLE-Verbundprojekt „MoMiNE“ (Modellierung der N-Ausscheidung von Milchrindern zur Verbesserung der Nationalen Emissionsinventare und der einzelbetrieblichen Einschätzung) initiiert. Unter der Koordination des Thünen-Instituts für Agrarklimaschutz in Braunschweig und in Zusammenarbeit mit den Projektpartnern des Friedrich-Löffler-Instituts in Braunschweig, der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft in Gub und der Landesforschungsanstalt für Landwirtschaft und Fischerei Mecklenburg-Vorpommern in Dummerstorf sollte die bisher in Anwendung befindliche Schätzgleichung zur N-Ausscheidung von Milchkühen, die auf über 20 Jahre alten Daten aus den Niederlanden beruht (Bannink und Hindle, 2003), aktualisiert werden. Ziel war es weiterhin, die neue Schätzgleichung allein auf Grundlage der Milchkontrolldaten zu modellieren, da diese Daten flächendeckend und repräsentativ für ganz Deutschland zur Verfügung stehen. Bei den Inhaltsstoffen ist besonders der Milchharnstoffgehalt hervorzuheben, da dieser als Bewertungskriterium zur Beurteilung der synchronen und bedarfsgerechten Versorgung der Kühe mit Energie und Protein dient und gleichzeitig eine starke Korrelation mit dem über den Harn ausgeschiedenen Stickstoff aufweist (Spek et al., 2013). Die Höhe des Milchharnstoffgehaltes wird durch eine Vielzahl von Faktoren beeinflusst. Ob zu diesen Faktoren auch gesundheitliche Aspekte zählen und welche Auswirkungen das auf die Nutzung des Harnstoffgehaltes in der Schätzgleichung haben könnte, sollte außerdem im Projekt untersucht werden.

Es ist möglich, die Saldierung der Stickstoffausscheidungen bei Milchkühen rechnerisch zu ermitteln, wenn die Voraussetzung erfüllt ist, dass Kenntnis über deren Rohproteinversorgung vorliegt. Die betriebseigene Grundfutterproduktion, die in der Milcherzeugung vorherrscht, macht ein flächendeckendes Monitoring der Milchkuhfütterung bisher schwierig. Um zu evaluieren, wie sich die Einflussfaktoren auf die N-Ausscheidungen der Milchkühe in Deutschland seit 2005 entwickelt haben, sollten einerseits die Entwicklung von Milchleistung und -inhaltsstoffen unter Berücksichtigung der Genetik und andererseits die Entwicklung von Mengen und Qualitäten der wichtigsten Grobfuttermittel Gras- und Maissilagen in Kombination mit der konkreten Rationsgestaltung im Zeitverlauf an dokumentierten Milchkuhrationen im Zuge des Projektes ausgewertet werden.

Weiterhin sollten die gewonnenen Erkenntnisse an Daten aus Praxisbetrieben überprüft und validiert werden. Erhebungen zur Energie- und Nährstoffaufnahme in den einzelnen Fütterungsgruppen zweier Praxisbetriebe in Kombination mit täglichen Milchmengenmessungen und monatlichen Milchkontrolldaten erlaubten die Validierung der im Projekt modellierten Schätzgleichung zur Gesamt-N-Ausscheidung der Milchkühe.



## 2 Material und Methoden

### 2.1 AP I.3: Einfluss der Tiergesundheit auf den Milchharnstoffgehalt

Auf der Grundlage von 5 unabhängigen Datensätzen (A bis E) wurde der Einfluss von Euter- und Stoffwechselgesundheit auf den Milchharnstoffgehalt untersucht. Der erste Datensatz (A) enthielt mehr als 6 Mio. repräsentative Milchkontrolldaten aus Deutschland und Luxemburg aus dem Jahr 2015 (Glatz-Hoppe et al., 2019). Die Datensätze B und C stammen aus den Verbundprojekten „optiKuh“ (2014-2017; Spiekers, 2018) und „eMissionCow“ (2018-2021; Spiekers et al., 2021) und sind kombinierte Datensätze aus tierindividuellen Daten zu Milchleistung und -inhaltsstoffen sowie Energie- und Nährstoffaufnahme, erhoben in den 12 Versuchsstationen in Deutschland an insgesamt ca. 1.600 Tieren. Datensätze D und E sind ebenfalls Milchkontrolldaten (je ca. 400.000) aus den Bundesländern Mecklenburg-Vorpommern (D, 2020-2023; MRV, Güstrow) und Thüringen (E, 2019-2020; Foss Analytical, Hillerød, Dänemark; Schwarz et al., 2020) mit der Besonderheit der Analyse der Zelldifferenzierung. Weiterhin konnten dank des Testherdennetzwerkes der RinderAllianz GmbH (Woldegk) Daten zu Mastitis-Diagnosen aus Mecklenburg-Vorpommern dem Datensatz D zugeordnet werden.

Zur Beurteilung der Stoffwechselgesundheit wurde der Fett-Eiweiß-Quotient (FEQ) herangezogen und entsprechend des Status der Energieversorgung und in Anlehnung an Glatz-Hoppe et al. (2020) in 4 Gruppen eingeteilt (Tab. 1). Zur Beurteilung der Eutergesundheit wurden die Parameter Zellzahlen (SCC) und Zelldifferenzierung (DSCC) genutzt, um die Tiere in Anlehnung an Schwarz et al. (2020) in Eutergesundheitsgruppen (UHG) einzuteilen (Tab. 1).

*Tabelle 1: Einteilung der Gruppen von Stoffwechsel (FEQ)- und Eutergesundheitsindikatoren (SCC, UHG)*

FEQ-Gruppen		SCC-Gruppen (tsd. Zellen/ ml Milch)		Eutergesundheitsgruppen (UHG)	
< 1,0	Sehr gute Energieversorgung (Risiko Azidose)	< 100	Normale Sekretion	SCC ≤ 200.000/ml, DSCC ≤ 65% (A)	Gesund
1,0 – 1,4	Bedarfsgerechte Energieversorgung	100 – 200	Geringes Mastitis-Risiko	SCC ≤ 200.000/ml, DSCC > 65% (B)	Verdacht auf Mastitis
1,4 – 1,6	Energiemangel	200 – 300	Mittleres Mastitis-Risiko	SCC > 200.000/ml, DSCC > 65% (C)	Akute Mastitis
> 1,6	Starker Energiemangel (Risiko Ketose)	300 – 400	Hohes Mastitis-Risiko	SCC > 200.000/ml, DSCC ≤ 65% (D)	Chronische Mastitis
		> 400	Starker Verdacht auf Mastitis		

Die statistische Berechnung der multiplen Varianzanalysen und Least Square Means (LSM) des Milchharnstoffgehaltes und dessen Unterschiede zwischen den in Tabelle 1 dargestellten Gruppen innerhalb jedes Datensatzes wurde unter Verwendung von linearen gemischten Modellen mit dem Programm SAS 9.4 durchgeführt. Die große Vielfalt und der Umfang der in den Datensätzen enthaltenen Informationen erlaubte die Berücksichtigung von bis zu 14 fixen und zufälligen Effekten im gemischten Modell.

## 2.2 AP I.4: Darstellung der Milcherzeugung und -fütterung seit 2005 in Deutschland

9.698.856 Milchkontrollergebnisse aus allen Bundesländern wurden über die Rechenzentren Vereinigte Informationssysteme Tierhaltung e. V. (vit) und die Landeskontrollverbände Bayern, Baden-Württemberg, Schleswig-Holstein und Nordrhein-Westfalen aus den Jahren 2005 bis 2022 zur Verfügung gestellt. Die Datenbereitstellung erfolgte als aggregierte Datensätze pro Milchkontrolle und Betrieb. Ein Datensatz enthielt folgende Informationen: Bundesland, Bezirk, Kreis, LKV-Nr., Betriebsnr., Datum der Milchkontrolle, Anzahl gemolkener Tiere, Anzahl geprüfter Tiere, Herdenmilchmenge (kg/d), Milchmenge pro Kuh (kg/d), MilCHFettgehalt (%), Milcheiweißgehalt (%), Milchharnstoffgehalt (mg/l), mittlerer Laktationstag und den prozentualen Anteil der Rassen Holstein-Schwarzbunt (SBT), Holstein-Rotbunt (RBT), Jersey (JER), Fleckvieh (FL), Braunvieh (BV) und Sonstige Rassen (SON) an der gesamten Herde.

Es erfolgte eine Plausibilisierung der Daten einerseits hinsichtlich der Datenmenge pro Jahr und Bundesland und andererseits hinsichtlich der Milchmenge pro Kuh und Tag ( $> 2,5$  kg/Tag), Milchharnstoffgehalt (zwischen 50 und 500 mg/l), Milchproteingehalt (zwischen 2,0 und 5,0 %) und der Anzahl gemolkener Tiere ( $> 1$ ). Aufgrund zu geringer Datensätze in den folgenden Jahren wurden die Bundesländer Baden-Württemberg und Schleswig-Holstein nur bis 2019 bzw. 2020 ausgewertet, während für Rheinland-Pfalz und das Saarland das Gleiche für die Jahre vor 2017 gilt. In Brandenburg fand 2015 eine Umstellung der Analyseverfahren für den Milchharnstoffgehalt statt. Aus diesem Grund wurde dieses Land erst nach der Umstellung in die Auswertung mit einbezogen, um Werteverzerrungen zu vermeiden. Werte aus den Stadtstaaten Berlin, Hamburg und Bremen wurden jeweils den Flächenländern Brandenburg, Schleswig-Holstein und Niedersachsen zugeordnet. Sachsen überlieferte die Daten als einziges Bundesland in Form von Mittelwerten des gesamten Landes, wodurch eine Auswertung auf Betriebsebene nicht möglich war.

Mit Hilfe der Labore der Bundesländer BY, BW, SH, SN, BB, NW, NI, MV und RP und dem OVID-Verband konnten 719 Jahresmittelwerte der Nährstoffanalysen von Gras- und Maissilagen aus den Jahren 2005 bis 2022 akquiriert werden. Die Ergebnisse der Analysen stützen sich insgesamt auf eine Datengrundlage von über 700.000 Einzelproben. Je nach Jahr und Bundesland wurden bei Grassilagen bis zu 5 Schnitte pro Jahr ausgewertet.

Aus den Datenbanken der Statistischen Bibliothek von Bund und Ländern konnten Informationen zu den mittleren Ernteerträgen pro Jahr und Bundesland der Silagen generiert werden. Weiterhin wurden Temperatur- und Niederschlagsdaten aus den Datenbanken des Deutschen Wetterdiensts herangezogen, um Jahreswerte der mittleren Temperatur und der Niederschlagssumme jeweils in der Vegetationsperiode von März bis Oktober pro Bundesland zu berechnen.

In Zusammenarbeit mit der Officialberatung, Misch- und Spezialfuttermittelherstellern, einem Unternehmen für digitales Fütterungsmanagement und den verantwortlichen Fütterungsexperten aus jedem deutschen Bundesland konnten insgesamt 4.234 anonymisierte Milchkuhrationen über einen Zeitraum von 2005 bis 2023 akquiriert werden. Dabei handelte es sich um Rationen, die auf Grundlage betriebseigener Grobfuttermittel kalkuliert und hinsichtlich betriebsindividueller Ansprüche optimiert wurden. Die Plausibilisierung der Rationen wurde unter Berücksichtigung der physiologischen Grenzen einer wiederkäuergerechten Fütterung vorgenommen und nicht plausible Rationsdarstellungen entfernt. Der Datensatz enthält Rationen für konventionell als auch ökologisch wirtschaftende Betriebe, die allerdings nicht gesondert ausgewertet wurden. Aufgeteilt in 7 Fütterungsgruppen (FG) beinhaltet der plausibilisierte Datensatz 4.112 Milchkuhrationen wie folgt: Frischmelker (Frisch,  $n=398$ ), Hochleistung (HL,  $n=1.234$ ), Mittelleistung (ML,  $n=188$ ), Niederleistung (NL,  $n=429$ ), Frühtrockensteher (TS,  $n=802$ ), Vorbereitungsfütterung (VB,  $n=521$ ) und gesamte Herde (Gesamt,  $n=540$ ).

Für die Auswertungen wurde Deutschland in drei Regionen eingeteilt, die sich jeweils hinsichtlich der Struktur der Milcherzeugung, der Leistungshöhe, Herdengröße, aber auch Niederschlagsmenge bzw. regionalen Besonderheiten ähnlich sind. Folgende Bundesländer wurden zusammengefasst: MV, BB, SN, ST und TH in die Region Nord-Ost (NO), HE, NI, NW, SH, RP und SL in Nord-West (NW) und BW und BY in die Region SÜD.

Zur statistischen Überprüfung der Unterschiede von Milchleistung, Milcheiweißgehalt und Milchharnstoffgehalt sowie der Rohproteingehalte der Silagen und der Rohproteinversorgung aus den Rationen zwischen den einzelnen Regionen und Jahren wurde eine Varianzanalyse mit einem generalisierten linearen Modell (PROC GLM) mit SAS 9.4 durchgeführt. Zur Schätzung der adjustierten Mittelwerte wurden Least Square Means (LSM) und deren Standardfehler berechnet und anschließend unter Anwendung des Tukey-Korrekturverfahrens und einem Signifikanzniveau von  $\alpha = 0,05$  paarweise miteinander verglichen.

### 2.3 AP II.2: Modellvalidierung

Für alle verfügbaren Daten aus den Jahren seit 2005 wurden Jahresmittelwerte berechnet. Dazu zählen Milchleistung (kg/d) aus Milchkontrollen (MLP), Milchleistung aus Rationen (Rat.), Milchharnstoffgehalt (mg/l aus MLP), Milcheiweißgehalt (%) aus MLP, Rohproteingehalt (g/kg TM aus Rat.), Trockenmasseaufnahme (kg/d aus Rat.), Rohproteinaufnahme (g/d aus Rat.).

Weiterhin wurden die N-Ausscheidungen sowohl nach der neuen Schätzgleichung (Honig et al., 2024 für Holstein und Fleckvieh) auf Grundlage der Milchkontrolldaten als auch mit Hilfe der Daten aus den Rationen berechnet.

$$N - \text{Ausscheidung} \left[ \frac{\text{g}}{\text{d}} \right] (\text{nach Honig et al., 2024}) =$$

$$-235,2 + 4,8 * \text{Milchmenge} [\text{kg/d}] + 0,8 * \text{Milchharnstoffgehalt} [\text{mg/l}] + 84,1 * \text{Milcheiweißgehalt} [\%]$$

$$N - \text{Ausscheidung} \left[ \frac{\text{g}}{\text{d}} \right] (\text{berechnet}) =$$

$$(\text{Trockenmasseaufnahme} [\text{kg/d}] * \text{CP} - \text{Gehalt Ration} [\text{g}/(\text{kg TM})] / 6,25) - (\text{Milchmenge} [\text{kg/d}] * \text{Milcheiweißgehalt} [\%] / 0,638)$$

Schließlich wurde die N-Effizienz mit den Jahresmittelwerten aus den Rationen für Milchmenge, Trockenmasseaufnahme und CP-Gehalt und dem Milcheiweißgehalt aus den Milchkontrolldaten folgendermaßen berechnet:

$$N - \text{Effizienz} (\%) = \frac{\text{Milchmenge} [\text{kg/d}] * \text{Milcheiweißgehalt} [\%] / 0,638}{\text{Trockenmasseaufnahme} [\text{kg/d}] * \text{CP-Gehalt Ration} [\text{g}/(\text{kg TM})] / 6,25} * 100$$

Die Überprüfung linearer Zusammenhänge verschiedener Variablen erfolgte durch die Berechnung von Pearson-Korrelationskoeffizienten mit der Prozedur PROC CORR (SAS 9.4). Anschließend wurden relevante und signifikante Korrelationen mit Hilfe von linearen Regressionen mit der Prozedur PROC REG (SAS 9.4) genauer untersucht. Schließlich wurden lineare Regressionen genutzt, um die Abhängigkeit aller untersuchten Variablen von der zeitlichen Entwicklung darzustellen und daraus Wachstumskoeffizienten abzuleiten.



## 2.4 AP III.3: Einzelbetriebliche Beurteilung und Empfehlung

Die Erhebung der Praxisdaten lief vom 01.09.2023 bis 31.12.2024 auf zwei Betrieben. Die erhobenen Daten beinhalteten monatliche Milchkontrolldaten von ca. 350 Melkenden auf Betrieb A und 550 Melkenden auf Betrieb B, Informationen über Anzahl Tiere, mittlere Milchmenge und mittlere Tage in Milch je Fütterungsgruppe, die Rationen aller Fütterungsgruppen und den Zeitraum der Anwendung, die Futteraufnahme (berechnet aus Rückwägungen des Restfutters je Fütterungsgruppe + Trockensubstanzmessung) aller Fütterungsgruppen und Diagnosedaten für alle Behandlungen (Testherden der RinderAllianz). Zur Erstellung eines kombinierten Datensatzes je Betrieb (n=200 für Betrieb 1, n=174 für Betrieb 2) wurden die Milchkontrollergebnisse entsprechend der Tage in Milch den Fütterungsgruppen zugeordnet und Mittelwerte der Rohproteinaufnahme aus dem CP-Gehalt der Ration und der Futteraufnahmemessung je Fütterungsgruppe berechnet. Auf Grundlage dieser kombinierten Daten wurden dann die geschätzten (nach Honig et al., 2024) mit den berechneten N-Ausscheidungen ( $=(\text{CP-Aufnahme}/6,25) - (\text{Milchprotein}/6,38)$ ) mit Hilfe linearer Regressionen verglichen.

## 3 Ergebnisse

### 3.1 AP I.3: Einfluss der Tiergesundheit auf den Milchharnstoffgehalt

Die Produktion von mikrobiellem Protein im Pansen ist abhängig von der synchronen Bereitstellung von Energie und Stickstoff. Bei fehlender Energie entsteht zu viel überschüssiger Ammoniak, der in der Leber zu Harnstoff entgiftet und dann in Form von Harnstoff über Milch und Urin ausgeschieden wird (GfE, 2023). Dieser Zusammenhang konnte durch die hier durchgeführten Untersuchungen bestätigt werden. In der Abbildung 6 ist zu erkennen, dass in vier von fünf Datensätzen ein signifikanter Anstieg des Milchharnstoffgehaltes von bedarfsgerecht versorgten Tieren (FEQ 1 - 1,4) hin zu Tieren mit starkem Energiemangel (FEQ > 1,6) vorliegt. In Datensatz B zeigen die statistischen Ergebnisse keine Unterschiede zwischen den Milchharnstoffgehalten bei steigendem FEQ. Der Grund dafür liegt im statistischen Modell. Der FEQ wird als Stoffwechselindikator in dem Fall genutzt, in dem keine Informationen über Energie- und Nährstoffaufnahme der Kühe vorliegen. In Datensatz B und C liegen diese Informationen allerdings vor und konnten in der Statistik berücksichtigt werden. Interessanterweise findet im Datensatz C trotz Berücksichtigung von Futter- sowie Energie- und Proteinaufnahme ein Anstieg des Milchharnstoffgehaltes statt. Das deutet darauf hin, dass in diesem Datensatz Faktoren Einfluss auf den Milchharnstoffgehalt nehmen, die nicht durch die im Modell genutzten Effekte gefasst werden konnten.

Hinsichtlich des Einflusses der Eutergesundheit auf den Milchharnstoffgehalt konnte in allen fünf Datensätzen festgestellt werden, dass der Milchharnstoffgehalt um 6 bis 16 ppm geringer in der Gruppe mit den höchsten Zellzahlen als in den Gruppen unter 400.000 Zellen/ml Milch war (Abb. 7). Da die Anzahl der Zellen in der Milch keine genaue Schlussfolgerung über eine Euterinfektion zulässt, sollte die Zelldifferenzierung vor allem dazu dienen, Unterschiede im Milchharnstoffgehalt zwischen akuten (UHG C) und chronischen Mastitiden (UHG D) zu untersuchen. Die Ergebnisse dieser Untersuchung sind in Abbildung 8 für die Datensätze D und E dargestellt und zeigen übereinstimmend die signifikant geringsten Milchharnstoffgehalte in der Eutergesundheitsgruppe C, welche eine akute Mastitis beschreibt.

Die genannten Ergebnisse führen zu der Vermutung, dass der negative Einfluss auf den Milchharnstoffgehalt einer Eutererkrankung vor allem dann vorliegt, wenn sich das Tier in einer akuten Infektionsphase mit Immunantwort befindet und dadurch einen erhöhten Bedarf an z. B. Akut-Phase-Proteinen (Göbel und Kaspers, 2022) hat. Dank des Testherdennetzes der RinderAllianz GmbH war es für die Kühe des Datensatzes D möglich, deren Milchkontrollanalysen ihren tatsächlichen Mastitis-Diagnosen (basierend auf einer BU) zuzuordnen. Alle zwischen 5 Tage vor und nach der Milchkontrolle gestellten Diagnosen wurden berücksichtigt (n=2.085). Der statistische Vergleich der Milchharnstoffgehalte zwischen den Tieren mit und ohne Mastitis-Diagnose stellte auch hier eine signifikante Absenkung im Falle einer Euterinfektion fest.

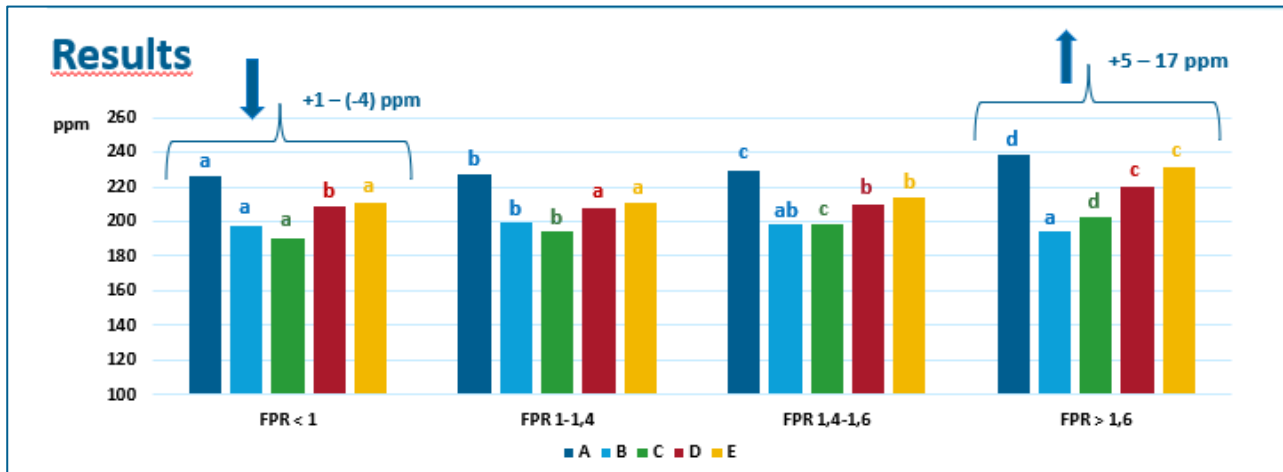


Abbildung 1: Least Square Means des Milchwahnstoffgehaltes in FPR-Gruppen (fat-protein-ratio, Fett-Eiweiß-Quotient) für die Datensätze A bis E (<sup>a-d</sup>Werte mit gleichen Buchstaben sind nicht signifikant unterschiedlich bei Signifikanzniveau  $\alpha = 0,05$ )

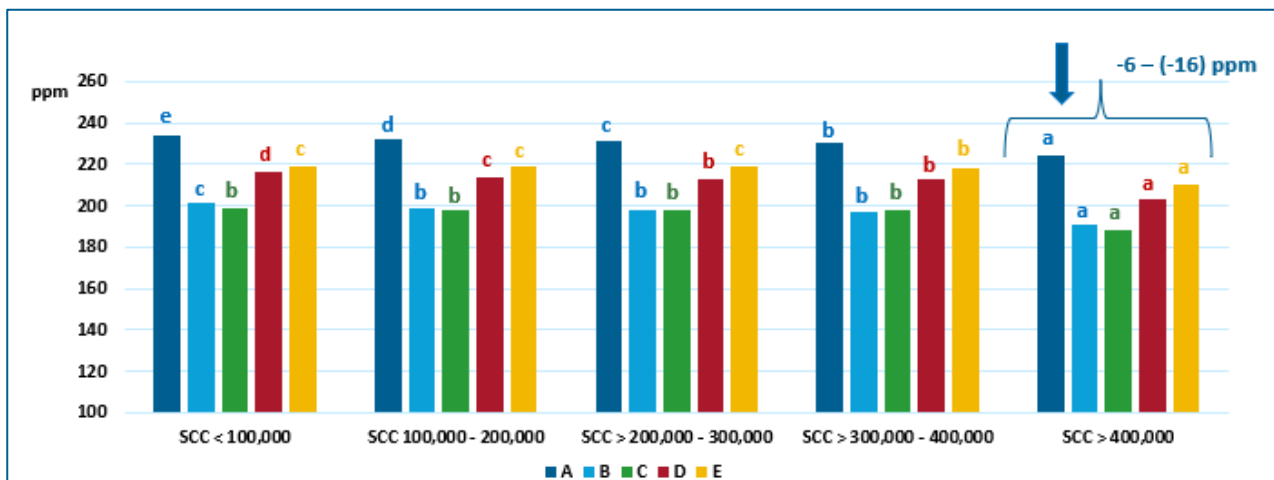


Abbildung 2: Least Square Means des Milchwahnstoffgehaltes in Somatic-Cell-Count-Gruppen (SCC: Zellzahlen) für die Datensätze A bis E (<sup>a-d</sup>Werte mit gleichen Buchstaben sind nicht signifikant unterschiedlich bei Signifikanzniveau  $\alpha = 0,05$ )

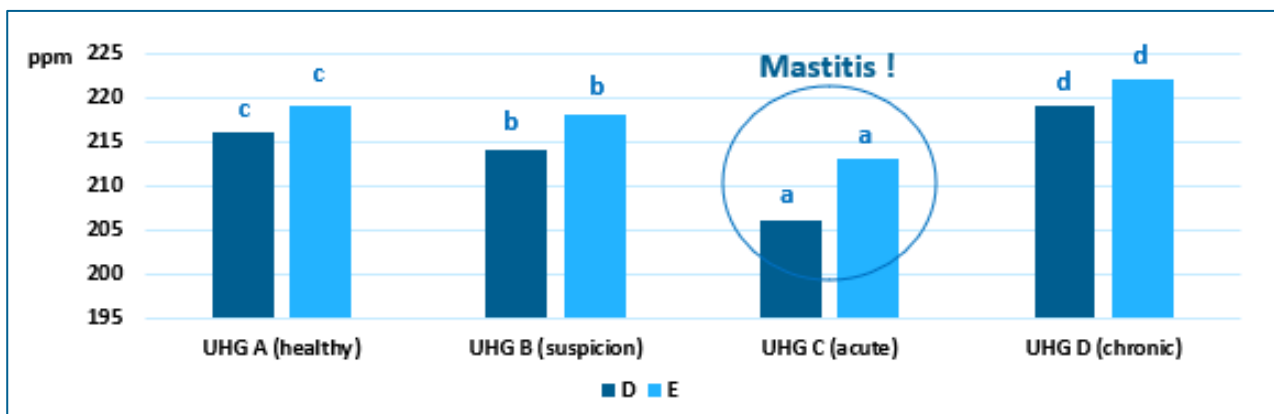


Abbildung 3: Least Square Means des Milchwahnstoffgehaltes in Udder-Health-Gruppen (UHG: Eutergesundheitsgruppen) für die Datensätze A bis E (<sup>a-d</sup>Werte mit gleichen Buchstaben sind nicht signifikant unterschiedlich bei Signifikanzniveau  $\alpha = 0,05$ )

### 3.2 AP I.4: Darstellung der Milcherzeugung und -fütterung seit 2005 in Deutschland

Die Auswertungen zeigen, dass bei steigenden Milchleistungen und Milcheiweißgehalten die Gehalte an Milchharnstoff im Zeitverlauf deutlich gefallen sind (Abb. 1). Dies gilt für alle betrachteten Rassen und belegt einerseits den Zuchtfortschritt und ist andererseits ein Indikator dafür, dass die Ausgestaltung von Futter und Fütterung im Hinblick auf eine bessere N-Effizienz angepasst wurde. Die Ergebnisse stehen in Übereinstimmung mit den entsprechenden Empfehlungen zur Fütterung und Fütterungskontrolle der DLG. In der betrieblichen Grobfuttererzeugung zeigen sich relativ niedrige Ernteerträge mit sinkender Tendenz bei der Grassilage und parallel verlaufende, aber stark schwankende Ernteerträge bei der Maissilage mit offensichtlichen Zusammenhängen zum Klimawandel und der Anpassung der Maßgaben zur Düngung. Sowohl bei den Gras- als auch Maissilagen zeigen sich tendenziell sinkende Rohproteingehalte (Abb. 2), die einerseits auf eine Reduktion der N-Überschüsse in der Düngung schließen lassen, aber auch den Einfluss zunehmender klimatischer Herausforderungen auf die Grobfuttererzeugung sichtbar machen.

Die Auswertung der Milchkurrationen zeigte einen zunehmenden Einsatz von Konzentratfuttermitteln in den Rationen bei gleichzeitiger Verringerung der Anteile von Maissilage (Abb. 3). Außerdem fand eine tendenzielle Absenkung des Rohproteingehaltes in den Rationen von melkenden Kühen statt, während die Rohproteinaufnahme derselben Fütterungsgruppen leicht angestiegen ist (Abb. 4). Die Rohproteingehalte der Rationen für trockenstehende Milchkühe sind in den Regionen NO und NW leicht angestiegen, während die der Region SÜD leicht gesunken sind. Bei unterschiedlichen Entwicklungen der Rohproteingehalte aller Fütterungsgruppen zwischen den Regionen seit 2005 fand eine Angleichung der Werte in der letzten Jahresgruppe (2020-2023) statt. Die Rohproteinaufnahme aus den Rationen für Trockensteher ist in den Regionen NO und SÜD gleichgeblieben und in NW leicht angestiegen.

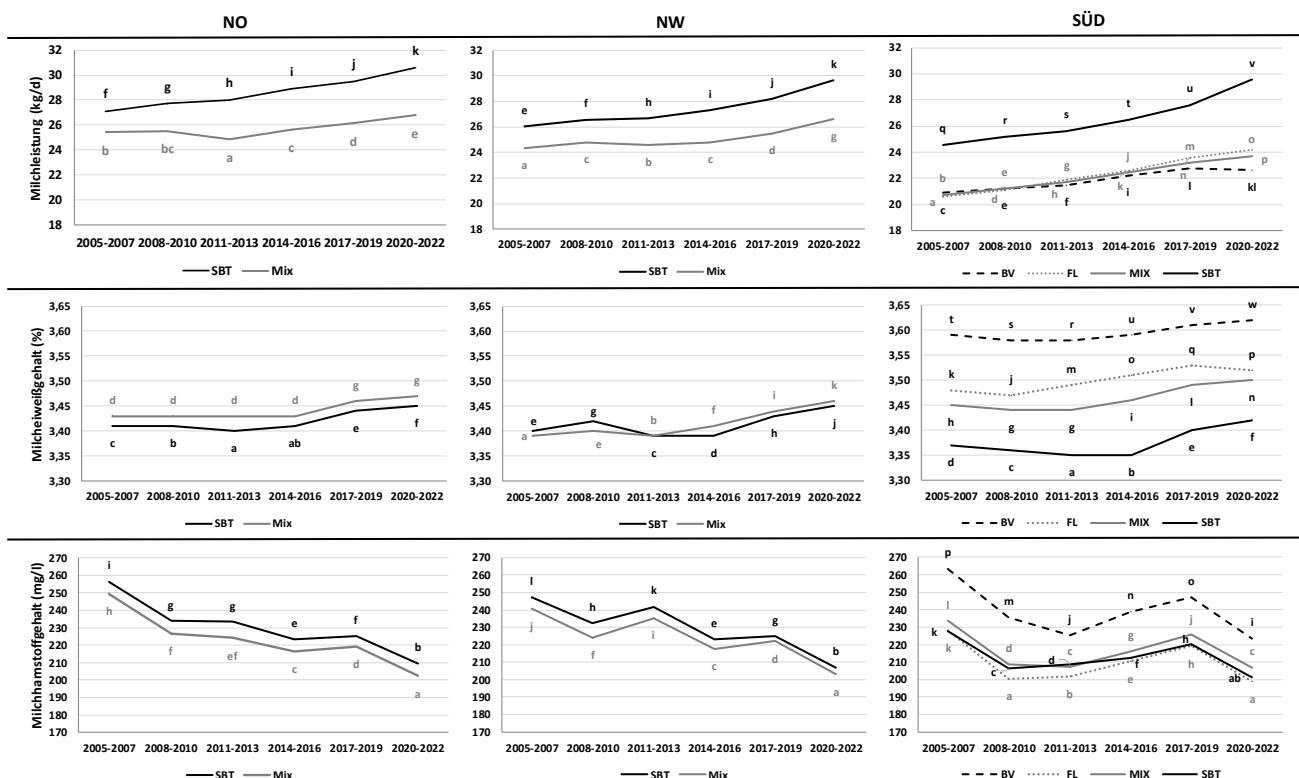


Abbildung 4: Least Square Means und Standardfehler der Variablen Milchleistung, Milcheiweißgehalt und Milchharnstoffgehalt im Verlauf der Jahresgruppen und im Vergleich der wichtigsten Rassen je Region (Holstein-Schwarzbunt (SBT), Holstein-Rotbunt (RBT), Braunvieh (BV), Fleckvieh (FL) und Mischherden (MIX)) (Werte mit gleichen Buchstaben sind nicht signifikant unterschiedlich bei Signifikanzniveau  $\alpha = 0,05$ )

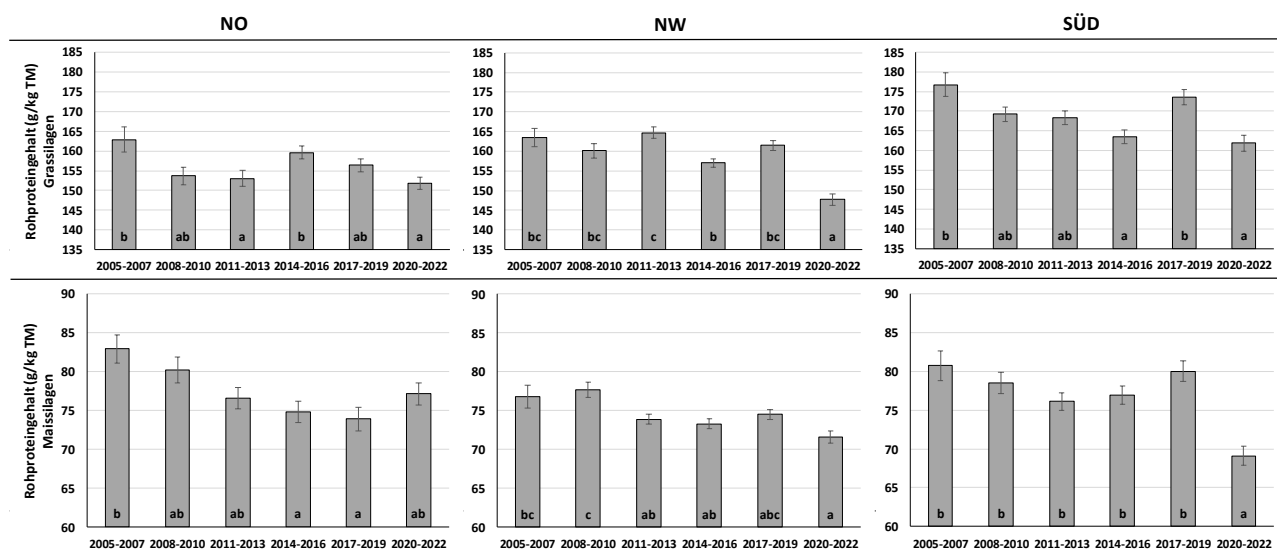


Abbildung 5: Least Square Means und Standardfehler des Rohproteingehaltes der Gras- und Maissilagen im Vergleich der Jahresgruppen innerhalb der Regionen Nord-Ost (NO), Nord-West (NW) und SÜD. (Werte mit gleichen Buchstaben sind nicht signifikant unterschiedlich bei Signifikanzniveau  $\alpha = 0,05$ )

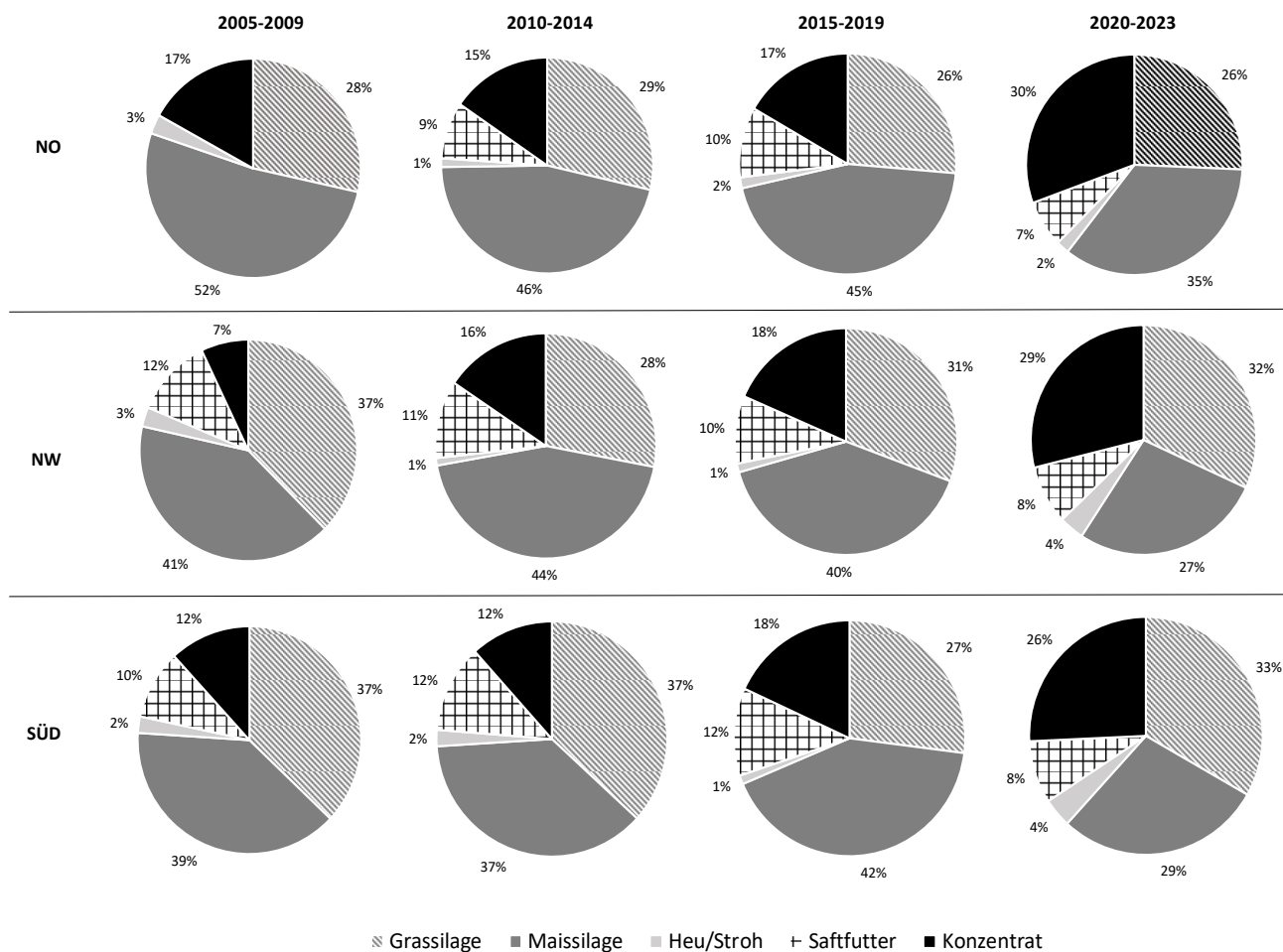


Abbildung 6: Entwicklung der Zusammensetzung der Haupttrationskomponenten aller melkenden Fütterungsgruppen (Frisch, HL, ML, NL, Gesamt) im Verlauf der Jahresgruppen innerhalb der Regionen Nord-Ost (NO), Nord-West (NW) und SÜD

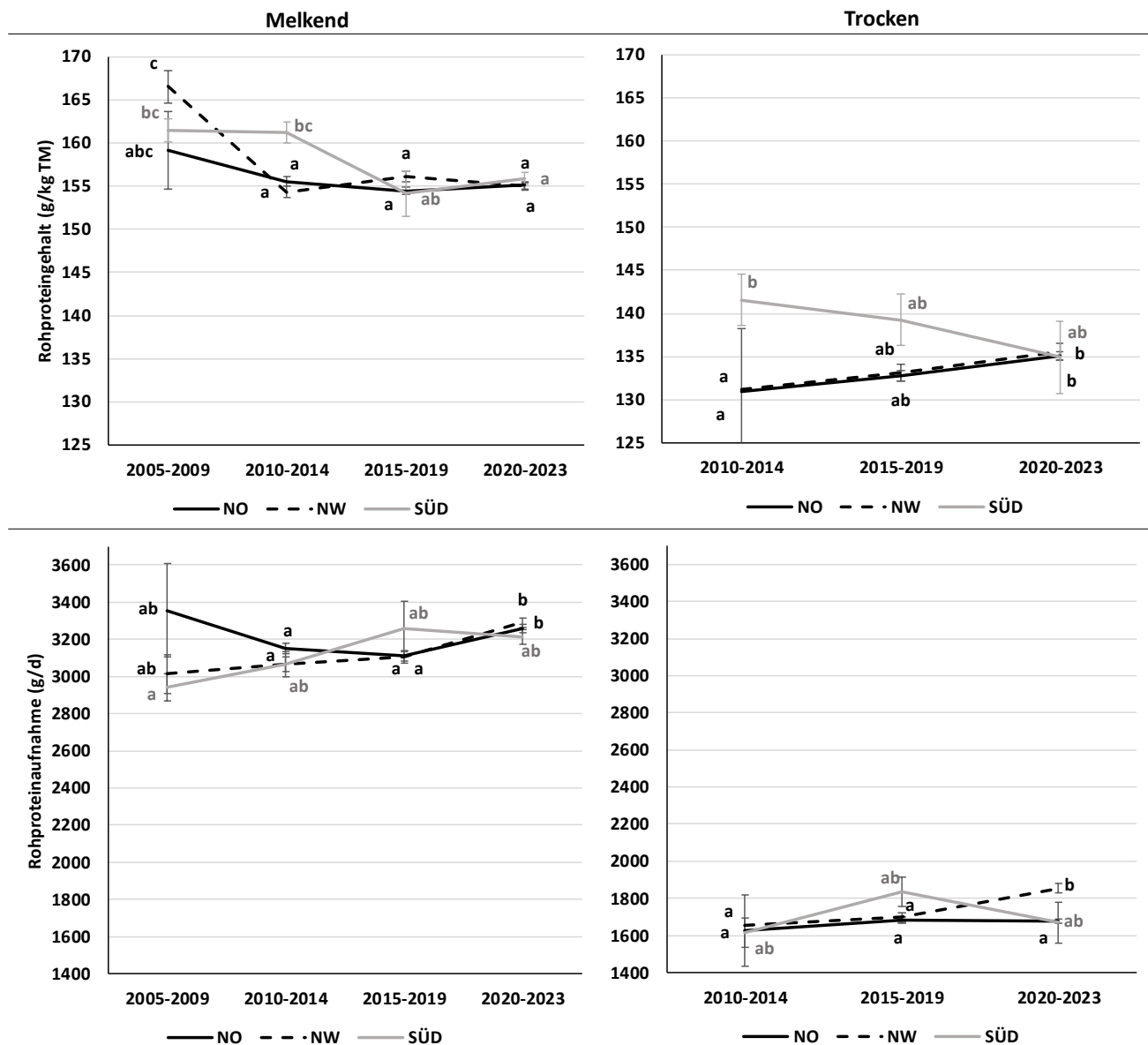


Abbildung 7: Least Square Means und Standardfehler der Variablen Rohproteingehalt und Rohproteinaufnahme im Vergleich der Jahresgruppen innerhalb der FG-Kategorien "Melkend" (Frisch, HL, ML, NL, Gesamt) und „Trocken“ (TS, VB) und zwischen den Regionen. (Werte mit gleichen Buchstaben sind nicht signifikant unterschiedlich bei Signifikanzniveau  $\alpha = 0,05$ )

### 3.3 AP II.2: Modellvalidierung

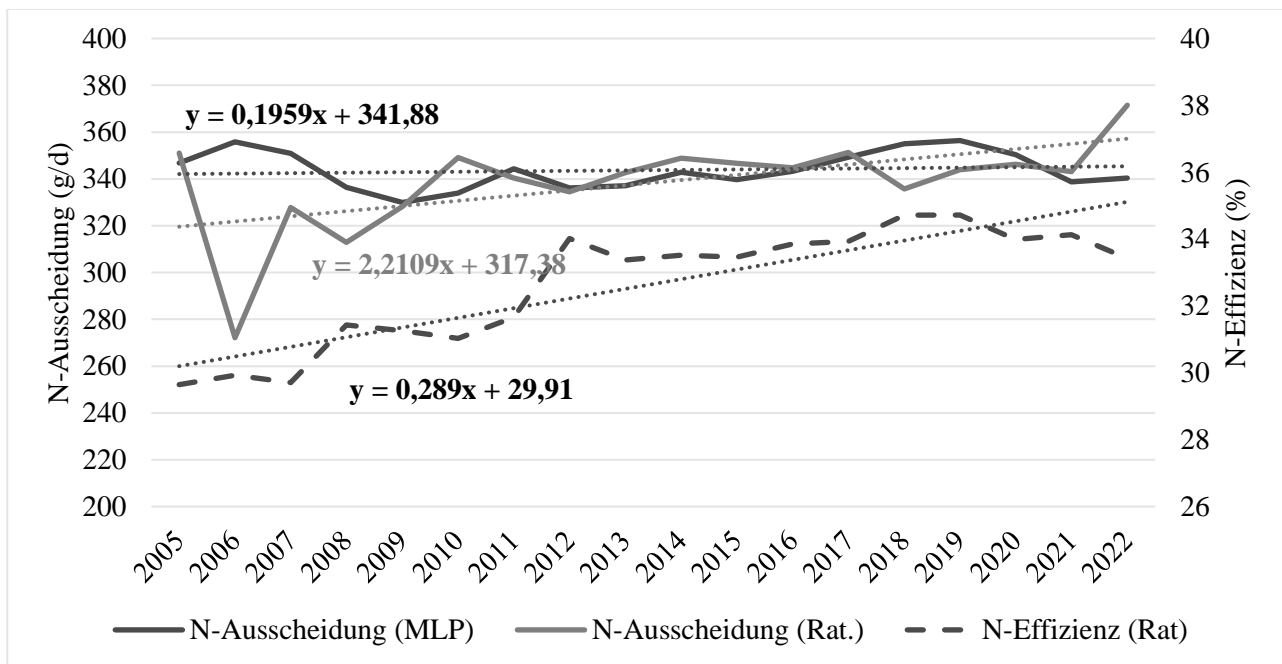


Abbildung 8: Entwicklung der gesamtdeutschen Jahresmittelwerte der Variablen N-Ausscheidung (MLP-geschätzt, Rat.-berechnet) (linke Achse) und N-Effizienz (rechte Achse) von 2005 bis 2022 inklusive Trendlinien der linearen Regressionen

Die Milchleistung aus den Rationen mit 2,14 % jährlichem Wachstum ist fast doppelt so stark angestiegen wie die Trockenmasseaufnahme mit 1,40 % (Tab. 2). Es wurde also mehr Milchleistungssteigerung erreicht, als allein durch die Futteraufnahme erklärbar ist. Die Erhöhung der Kraftfuttermenge in Kombination mit dem Zuchtfortschritt und verbessertem Management sind wahrscheinlich die wichtigsten Einflussfaktoren. Weiterhin ist die CP-Aufnahme mit 1,21 % Jahreswachstum weniger stark angestiegen als die Trockenmasseaufnahme. Es wurde also mehr Milch mit im Verhältnis weniger Rohproteininput produziert, was der Beweis für eine Effizienzsteigerung in der Rohproteinversorgung ist. Darüber hinaus ist auch der Milcheiweißgehalt leicht angestiegen. Demzufolge ist auch die Nutzung des eingesetzten Stickstoffs besser geworden, da im Verhältnis weniger N-Einsatz mit dem Futter zu insgesamt höheren N-Ertragsleistungen aus der Milch geführt hat (Tab. 2). Eine bessere Ausnutzung der N-Versorgung führt automatisch zu geringeren N-Ausscheidungen und einer höheren N-Effizienz, die ebenfalls durch die Ergebnisse bestätigt werden konnten (Abb. 5). Die N-Ausscheidung veränderte sich entsprechend der zugrundeliegenden Daten fast gar nicht (0,06 %, MLP) oder stieg leicht an (0,69 %, Rat.). Die Veränderungen sind jedoch geringer als die Milchleistungsanstiege der zugrunde liegenden Daten und damit sinkend pro Kuh. Die Effizienzsteigerung in der Rohproteinversorgung zeigt sich folgerichtig nicht nur in den sinkenden CP-Gehalten der Rationen, sondern liefert auch einen Beweis der tatsächlichen Umsetzung der rohproteinreduzierten Fütterung durch die gesunkenen Milchharnstoffgehalte (Tab. 2). Äquivalent dazu sind auch die CP-Gehalte der Grundfuttermittel Gras- und Maissilage gesunken. Ob es hier einen kausalen Zusammenhang gibt, kann nicht abschließend geklärt werden.



Tabelle 2: Wachstumskoeffizienten pro Jahr der untersuchten Variablen als Mittelwerte für ganz Deutschland und deren Entwicklung in 20 Jahren, ausgehend vom Jahr 2005

	Wachstum pro Jahr	Wachstum in 20 Jahren
Milchleistung (kg/d) (MLP)	+ 0,94 %	+ 4,26 kg/d
Milchleistung (kg/d) (Rat.)	+ 2,14 %	+ 11,7 kg/d
Milchharnstoffgehalt (mg/l) (MLP)	- 0,62 %	- 28,7 mg/l
Milcheiweißgehalt (%) (MLP)	+ 0,10 %	+ 0,07 %
CP-Gehalt Grassilage (g/kg TM)	- 0,15 %	- 4,88 g/kg TM
CP-Gehalt Maissilage (g/kg TM)	- 0,63 %	- 10,0 g/kg TM
CP-Gehalt Rationen (g/kg TM)	- 0,43 %	- 13,7 g/kg TM
Trockenmasseaufnahme (kg/d) (Rat.)	+ 1,40 %	+ 5,35 kg/d
Rohproteinaufnahme (g/d) (Rat.)	+ 1,21 %	+ 756 g/d
N-Ausscheidung gesch. (g/d) (MLP)	+ 0,06 %	+ 4,06 g/d
N-Ausscheidung berechn. (g/d) (Rat.)	+ 0,69 %	+ 48,6 g/d
N-Effizienz (%) (MLP + Rat.)	+ 0,96 %	+ 5,69 %-Punkte

### 3.4 AP III.3: Einzelbetriebliche Beurteilung und Empfehlung

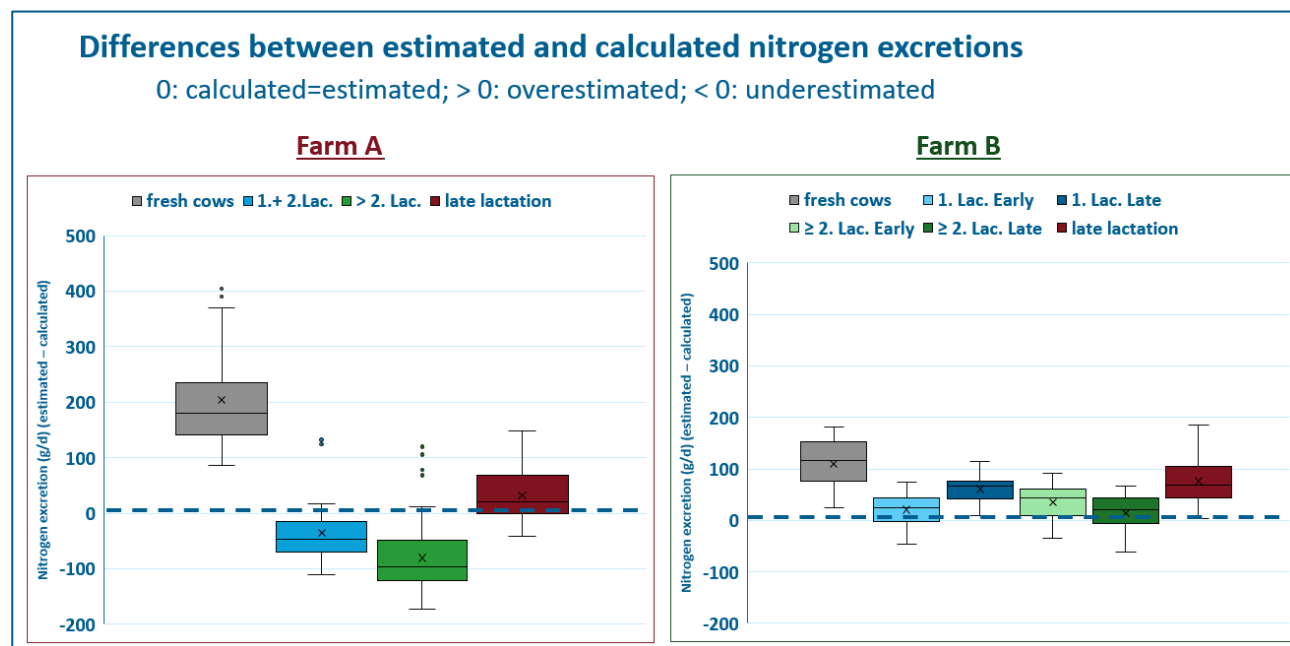


Abbildung 9: Vergleich der geschätzten mit den berechneten N-Ausscheidungen je Fütterungsgruppe für Betrieb A und B

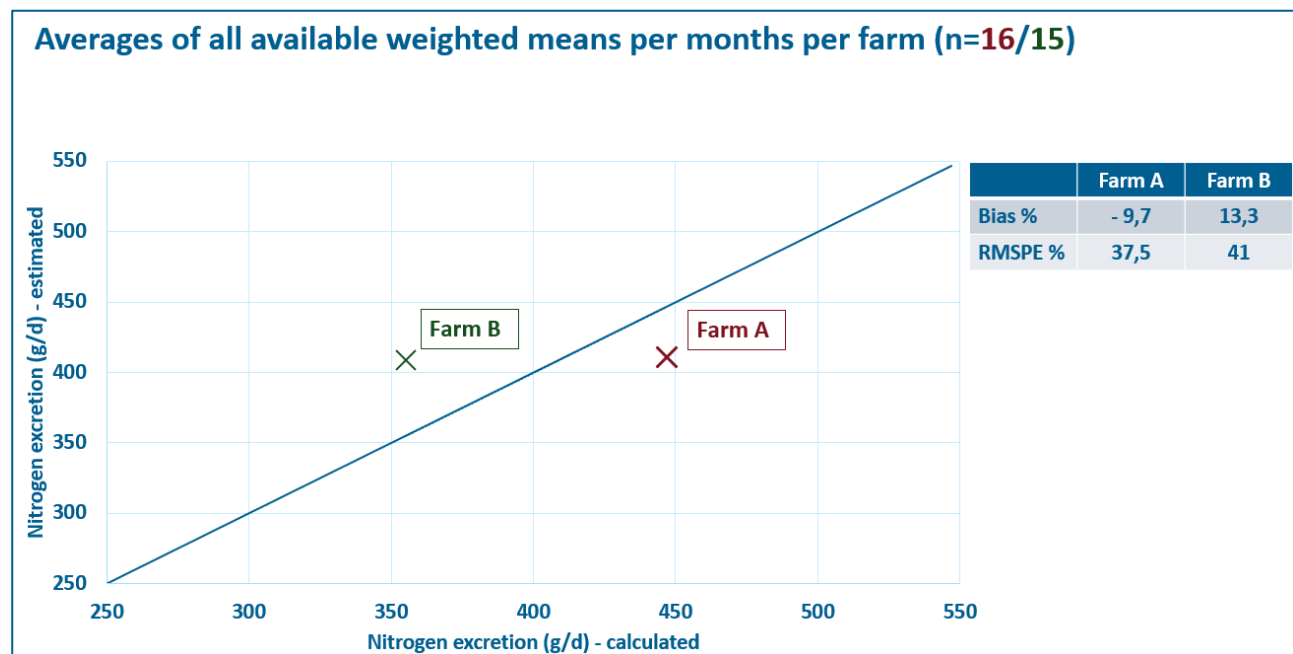


Abbildung 10: Vergleich der geschätzten mit den berechneten Betriebsjahresmittelwerten dargestellt als lineare Regression

Die Ergebnisse der Validierung anhand von einzelnen Betriebsdaten zeigen, dass die Schätzgüte der neuen Formel maßgeblich von der Fütterungsgruppe und der Strategie der Proteinfütterung des Betriebes abhängig ist (Abb. 9 und 10). Die Modellierung wurde auf Basis von Daten aus deutschen Versuchsstationen durchgeführt, wo die Milchwahnstoffgehalte mit der Referenzmethode bestimmt wurden. Sowohl eine von den Versuchsstationen abweichende Fütterung als auch die Analyse des Milchwahnstoffgehaltes mit der MIRS-Methode verursachen eine systematische Über- oder Unterschätzung der N-Ausscheidungen des jeweiligen Betriebes. Der Anwendungsbereich der neuen Schätzgleichung beschränkt sich auf Betriebs- bzw. Landkreisebene und ist nicht für die Bewertung einzelner Fütterungsgruppen geeignet, kann aber durchaus genutzt werden, um die N-Ausscheidungen anhand von Betriebsjahresmittelwerten einzuordnen, solange keine Kenntnis der mittleren Rohproteinaufnahme der Herde vorliegt.

## 4 Schlussfolgerungen

Die Ergebnisse der Modellvalidierung zeigen eine grundsätzliche Übereinstimmung der anhand der neuen Schätzgleichung (Honig et al., 2024) ermittelten N-Ausscheidung mit den anhand historischer Milch- und Futterdaten berechneten Werten zur N-Ausscheidung. Dies trifft auch auf die Validierung mit Einzelbetrieben zu. Die betriebsindividuelle Fütterungsstrategie hinsichtlich der Proteinversorgung verursacht einen Schätzfehler von ca. 10 % bei der Nutzung von Betriebsjahresmittelwerten. Eine Vorhersage der N-Ausscheidung auf Fütterungsgruppenebene ist nicht mit ausreichender Genauigkeit möglich.

Die Ergebnisse der Auswertungen zu den Gesundheitseinflüssen auf den Milchwahnstoffgehalt haben gezeigt, dass dieser durch das Vorliegen einer akuten Immunreaktion, wie z.B. einer Euterentzündung negativ beeinflusst wird. Dies sollte u.U. bei der Nutzung des Milchwahnstoffgehaltes als Schätzparameter zur Vorhersage der N-Ausscheidung beachtet werden. Weiterhin spielt der Milchwahnstoffgehalt eine wichtige Rolle bei der Evaluierung der bedarfsgerechten Energie- und Proteinversorgung einer Herde oder Fütterungsgruppe. Die Einhaltung der Grenzwerte des Milchwahnstoffgehaltes von 150 bis 250 mg/l (DLG, 2020) trägt wesentlich zur optimalen Nährstoffversorgung und damit auch Gesunderhaltung der Milchkuhherde bei.

Eine optimale Rohproteinversorgung von Milchkühen, die sich so genau wie möglich am Bedarf der Tiere ausrichtet, gewährleistet die Erhaltung von Gesundheit und Leistungsfähigkeit der Milchkühe bei gleichzeitiger Reduzierung von Nährstoffüberschüssen und damit umweltrelevanten N-Ausscheidungen. Die Steigerung der N-Effizienz in der deutschen Milchkuhhaltung, einerseits durch eine Steigerung der produzierten N-Mengen mit der Milch und andererseits durch die gleichzeitige Optimierung der Rohproteinversorgung, konnte durch die vorliegenden Auswertungen bewiesen werden.

## 5 Erfolgte und geplante Veröffentlichungen

### 5.1 Tagungsbeiträge

- **Dreyer, C., Losand, B. und Sanftleben, P., 2023:** Einfluss von Euter- und Stoffwechselgesundheit auf den Milchharnstoffgehalt. VDLUFA-Schriftenreihe 80, S. 321
- **Dreyer, C. & von Plettenberg, F., 2024:** Entwicklung von Milchleistung und –inhaltsstoffen in Kombination mit Erträgen und Qualitäten von Gras- und Maissilagen seit 2005. VDLUFA-Schriftenreihe 81, S. 436
- **Dreyer, C., Losand, B., Spiekers, H., Sanftleben, P., 2025:** Entwicklung der Rationsgestaltung in der Milchkuhfütterung seit 2005 in Deutschland. 25. Forum angewandte Forschung in der Rinder- und Schweinefütterung, 28./29.04.2025 in Fulda, S. 57
- **Dreyer, C., Losand, B., Spiekers, H., Sanftleben, P., Hummel, J., 2025.** Validation of a new estimation equation for nitrogen excretions of dairy cows with on-farm data. The 8th EAAP International Symposium on Energy and Protein Metabolism and Nutrition, 15.-18.09.2025 in Rostock-Warnemünde, S. 161

### 5.2 Artikel in Fachzeitschriften

- **Dreyer, C., Losand, B., Spiekers, H., Hummel, J., 2025:** Influences of fat-protein-ratio and udder health parameters on the milk urea content of dairy cows. Journal of Dairy Science 108: 2527-2546, <https://doi.org/10.3168/jds.2024-25492>

#### Geplant:

- **Dreyer, C., Plettenberg, F. v., Zschiesche, M., Losand, B., Spiekers, H., Hummel, J., 2025:** Entwicklung der Rohproteineffizienz deutscher Milchkuhbetriebe hinsichtlich Milcherzeugung und Fütterung seit 2005 unter Berücksichtigung der Genetik und regionaler Besonderheiten als Beitrag zur Abschätzung der Umweltwirkung im Zeitverlauf. 1. Mitteilung: Entwicklung der Milcherzeugung deutscher Milchkuhbetriebe in Kombination mit den Ernteerträgen und Qualitäten der Gras- und Maissilagen von 2005 bis 2022. Züchtungskunde in Vorbereitung
- **Dreyer, C., Losand, B., Spiekers, H., Hummel, J., 2025:** Entwicklung der Rohproteineffizienz deutscher Milchkuhbetriebe hinsichtlich Milcherzeugung und Fütterung seit 2005 unter Berücksichtigung der Genetik und regionaler Besonderheiten als Beitrag zur Abschätzung der Umweltwirkung im Zeitverlauf. 2. Mitteilung: Entwicklung der Rohproteineffizienz deutscher Milchkuhbetriebe in der Milchkuhfütterung von 2005 bis 2023 in Deutschland. Züchtungskunde in Vorbereitung

### 5.3 Vorträge

- **Dreyer, C., 2023:** Projektvorstellung: Modellierung der N-Ausscheidung von Milchrindern zur Verbesserung der Nationalen Emissionsinventare und der einzelbetrieblichen Einschätzung - „MoMiNE“. Forum angewandte Forschung in der Wiederkäuer- und Schweinefütterung + Treffen des Bundesarbeitskreises der Fütterungsreferenten, 25.-27. April 2023 in Fulda
- **Dreyer, C., 2023:** Projektvorstellung: Modellierung der N-Ausscheidung von Milchrindern zur Verbesserung der Nationalen Emissionsinventare und der einzelbetrieblichen Einschätzung - „MoMiNE“. Treffen der Bundesarbeitsgruppe Versuchsansteller Rind, 16.-17. Mai 2023 in Braunschweig
- **Dreyer, C., 2023:** Projektvorstellung: Modellierung der N-Ausscheidung von Milchrindern zur Verbesserung der Nationalen Emissionsinventare und der einzelbetrieblichen Einschätzung - „MoMiNE“. Fütterungsberatertagung, 27. Juni 2023 in Iden
- **Dreyer, C., Losand, B. und Sanftleben, P., 2023:** Einfluss von Euter- und Stoffwechselgesundheit auf den Milchharnstoffgehalt. 134. VDLUFA-Kongress, 05.-08.09.2023 in Freising
- **Dreyer, C. & von Plettenberg, F., 2024:** Entwicklung von Milchleistung und –inhaltsstoffen in Kombination mit Erträgen und Qualitäten von Gras- und Maissilagen seit 2005. 135. VDLUFA-Kongress, 24.-27.09.2024 in Karlsruhe
- **Dreyer, C., 2025:** Zelldifferenzierung – Möglichkeiten und Grenzen in der Praxis – Ergebnisse aus dem Projekt MoMiNE. 34. Milchrindtag MV, 11./12.03.2025 in Güstrow/Woldegk
- **Dreyer, C., Losand, B., Spiekers, H., Sanftleben, P., 2025:** Entwicklung der Rationsgestaltung in der Milchkuhfütterung seit 2005 in Deutschland. 25. Forum angewandte Forschung in der Rinder- und Schweinefütterung, 28./29.04.2025 in Fulda
- **Dreyer, C., 2025:** Nährstoffversorgung der Trockensteher als Grundstein für eine gesunde Laktation – Ergebnisse zweier Praxisbetriebe aus dem Projekt MoMiNE. Tiergesundheitstag Brandenburg, 22.05.2025 in Seddiner See.
- **Dreyer, C., Losand, B., Spiekers, H., Sanftleben, P., Hummel, J., 2025.** Validation of a new estimation equation for nitrogen excretions of dairy cows with on-farm data. The 8th EAAP International Symposium on Energy and Protein Metabolism and Nutrition, 15.-18.09.2025 in Rostock-Warnemünde
- **Dreyer, C., Losand, B., Spiekers, H., Hummel, J., Sanftleben, P., 2025:** Stickstoffeffizienz in der Milchproduktion – Ergebnisse aus der Praxis (MoMiNE). 2. Forum – Futter, Kälber, Klima, 25.11.2025 in Dummerstorf
- **Dreyer, C., v. Plettenberg, F., Zschesche, M., Losand, B., Spiekers, H., Sanftleben, P., 2025:** Entwicklung der Rohproteineffizienz deutscher Milchkuhbetriebe seit 2005. MoMiNE-Abschlussveranstaltung, 02./03.12.2025 in Braunschweig

## 5.4 Poster

- **Dreyer, C., Losand, B. und Sanftleben, P., 2023:** Projektvorstellung "MoMiNE" - Modellierung der N-Ausscheidung von Milchrindern zur Verbesserung der Nationalen Emissionsinventare und der einzelbetrieblichen Einschätzung. In: KTBL (2023): Emissionen der Tierhaltung 2023 – erheben, beurteilen, mindern. Darmstadt, Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e. V. (KTBL), S. 38-40.
- **Dreyer, C., Losand, B., Spiekers, H., Hummel, J., 2024:** Influences of udder and metabolic health on the milk urea content of dairy cows. N-Workshop, 17.-21.06.2024 in Aarhus, Dänemark.

## 6 Literatur

Bannink, A. und V.A. Hindle (2003): Prediction of N intake and N excretion by dairy cows from milk data (auf Niederländisch). Anim. Sci. Group, Rep. 03 0008567. ID TNO Diervoeding, Lelystad, Niederlande.

DLG (2020): DLG-Merkblatt 451: Milchkontrollen zur Fütterungs- und Gesundheitskontrolle bei Milchkühen. Erarbeitet von: J. Glatz-Hoppe, B. Losand, D. Kampf, F. Onken, H. Spiekers. DLG-Verlag Frankfurt a.M.

Fuß, R., C. Vos, C. Rösemann (2025): Ammoniakemissionen aus der Landwirtschaft. Institut für Agrarklimaschutz des Thünen-Instituts. <https://www.thuenen.de/de/themenfelder/klima-und-luft/emissionsinventare-buchhaltung-fuer-den-klimaschutz/ammoniak-emissionen-aus-der-landwirtschaft>, abgerufen am 21.07.2025.

Glatz-Hoppe, J., E. Mohr, B. Losand (2019): Nutzung von Milchinhaltsstoffen zur Beurteilung der Versorgungssituation von Milchkühen. 2. Mitteilung: Bewertungsschema zur Beurteilung der Inhaltsstoffe auf Betriebsebene. Züchtungskunde 91: 449–473.

Glatz-Hoppe, J., E. Mohr, B. Losand (2020): Relationship between milk constituents from milk testing and health, feeding, and metabolic data of dairy cows. Journal of Dairy Science 103: 10175-10194. <https://doi.org/10.3168/jds.2019-17981>

GfE (2023): Energie- und Nährstoffbedarf landwirtschaftlicher Nutztiere. Nr. 12. Empfehlungen zur Energie- und Nährstoffversorgung von Milchkühen. DLG-Verlag Frankfurt a. M.

Göbel, T. und Kaspers, B. (2022): Abwehr. Seite 248-265. In: Breves, G.; Diener, M.; Gäbel, G. Physiologie der Haustiere. 6. Auflage. Thieme. Stuttgart.

Honig, A. C., H. Spiekers, I. Baltissen, T. Etle (2024): Modellierung der Stickstoffausscheidungen melkender Kühe. VDLUFA-Schriftenreihe **81**, Kongressband 2024, 472-479.

Schwarz, D., S. Kleinhans, G. Reimann, P. Stückler, F. Reith, K. Ilves, K. Pedastsaar, L. Yan, Z. Zhang, M. Valdivieso, M. L. Barreal, and R. Fouz (2020): Investigation of dairy cow performance in different udder health groups defined based on a combination of somatic cell count and differential somatic cell count. Prev. Vet. Med. 183: 105-123. <https://doi.org/10.1016/j.prevetmed.2020.105123>

Spek, J. W., J. Dijkstra, G. van Duinkerken, A. Bannink (2013): A review of factors influencing milk urea concentration and its relationship with urinary urea excretion in lactating dairy cattle. The Journal of Agricultural Science 151, 407-423.

Spiekers, H. (2018): Verbesserung der Haltung von Milchkühen durch Zuchtverfahren auf Futteraufnahme und Stoffwechselstabilität sowie Umweltverträglichkeit bei optimierter Fütterungsintensität und Nutzung von Stoffwechselindikatoren sowie Sensoren im Herdenmanagement - optiKuh - Einführung und Projektüberblick. Züchtungskunde 90: 411–416. [https://www.zuechtungskunde.de/artikel.dll/zueku-2018-06-spiekers\\_ggydsmbvgmza.pdf](https://www.zuechtungskunde.de/artikel.dll/zueku-2018-06-spiekers_ggydsmbvgmza.pdf)

Spiekers, H., P. Hertel-Böhnke, S. Pfanzelt, and I. Schiefler (2021): „Die optimale Kuh: gesund, effizient, umweltgerecht“. eMissionCow/ optiKuh 2. Schriftenreihe der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft. [https://www.lfl.bayern.de/mam/cms07/publikationen/daten/schriftenreihe/opti-kuh\\_gesund%20-effizient-umweltgerecht\\_lfl-schriftenreihe.pdf](https://www.lfl.bayern.de/mam/cms07/publikationen/daten/schriftenreihe/opti-kuh_gesund%20-effizient-umweltgerecht_lfl-schriftenreihe.pdf)