

Milchharnstoffgehalt: Was sagt er über die Stickstoffausscheidungen aus?

Annemarie Decker¹, Michael Zähler¹, Frigga Dohme-Meier¹, Christian Böttger², Andreas Mürger¹, Dominique Heimo³, Sabine Schrade¹

¹Agroscope, Forschungsgruppe Wiederkäuer, 1725 Posieux / 8356 Ettenhausen, Schweiz

²Universität Bonn, Institut für Tierwissenschaften, 53115 Bonn, Deutschland

³Agroscope, Forschungsgruppe Futtermittelchemie, 1725 Posieux, Schweiz

Auskünfte: Sabine Schrade, E-Mail: sabine.schrade@agroscope.admin.ch

<https://doi.org/10.34776/afs12-137> Publikationsdatum: 6. Oktober 2021



Je mehr Rohprotein eine Kuh frisst, desto höher ist der Stickstoffgehalt ihres Harns.
Der Stickstoffgehalt des Harns korreliert wiederum mit dem Harnstoffgehalt der Milch.
(Bild: Brändle, Agroscope, 2018, bearbeitet von Schrade, Agroscope, 2021)

Zusammenfassung

Mit Blick auf Stickstoffausscheidungen und den daraus resultierenden Ammoniakemissionen ist in der Milchviehhaltung eine Rohprotein-optimierte Fütterung anzustreben. Als gängige Kenngrösse zur Stickstoffversorgung kann in der Milchviehhaltung der Milchharnstoffgehalt herangezogen werden. Das Ziel dieser Untersuchung war es, die Zusammenhänge zwischen dem Milchharnstoffgehalt und den Stickstoffausscheidungen über den Harn unter Berücksichtigung des Rohproteingehaltes in der Ration aufzuzeigen. Die Grundlage dafür bildeten Datensätze von Agroscope der Jahre 2014 bis 2018 aus Stoffwechselversuchen in Posieux und Messungen im Emissionsversuchsstall in Tänikon. Die Bandbreite der Rohproteingehalte über alle Ver-

suche hinweg war gross. Die Stickstoffausscheidungen über den Harn spiegelten die Rohproteingehalte der einzelnen Rationen wider. Weiter war ein deutlicher linearer Zusammenhang zwischen dem Milchharnstoffgehalt und dem über den Harn ausgeschiedenen Stickstoff erkennbar. Auch wenn Faktoren wie beispielsweise Genetik, Laktationsstadium und Leistung den Milchharnstoffgehalt beeinflussen können, zeigen die Ergebnisse dieser Untersuchung, dass der Milchharnstoffgehalt klare Hinweise auf die potentiellen Stickstoffausscheidungen über den Harn geben kann.

Key words: milk urea concentration, nitrogen excretion, dietary protein level.

Einleitung

Die Reduktion stickstoffhaltiger Luftschadstoffe gewann in den letzten Jahrzehnten bei der Produktion landwirtschaftlicher Erzeugnisse zunehmend an Bedeutung. Im Jahr 2008 legten das Bundesamt für Umwelt (BAFU) und das Bundesamt für Landwirtschaft (BLW) ein Umweltziel für Ammoniak(NH₃)-Emissionen aus der Landwirtschaft von maximal 25000t Stickstoff (N) pro Jahr fest (BAFU und BLW, 2008). Das Nicht-Erreichen dieses Ziels (48000t N im Jahr 2016 [BAFU und BLW, 2016]) verdeutlicht die Dringlichkeit, weiter an praxistauglichen Minderungsmaßnahmen zu forschen und bereits untersuchte Massnahmen zur Umsetzung zu bringen. Neben der Hofdüngerausbringung und -lagerung sowie der Haltung der Tiere hat bereits die Stufe Fütterung einen erheblichen Einfluss auf die N-Ausscheidungen und somit auf die NH₃-Emissionen aus der Tierhaltung (Bittman *et al.*, 2014). Auch in der Rinderhaltung kommt der Rohprotein (RP) optimierten Fütterung eine stärkere Bedeutung zu, weil eine Überversorgung der Wiederkäuer mit RP zu einer vermehrten N-Ausscheidung über den Harn führt (Castillo *et al.*, 2001; Kebreab *et al.*, 2002). Dies gilt es zu vermeiden, da die enzymatische Spaltung des Harnstoffs im ausgeschiedenen Harn als Hauptquelle der NH₃-Emissionen anzusehen ist. Doch wie können die anfallenden Nährstoffausscheidungen über den Harn auf Einzelbetriebsebene einfach

abgeschätzt werden? Als gängige Kenngrösse zur N-Versorgung der Tiere und zur Bestimmung von Imbalancen in der Fütterung wird häufig der Milchharnstoffgehalt herangezogen, der den Betrieben mit Milchleistungsprüfung als Kontrollinstrument zur Verfügung steht. Aus der Literatur ist bekannt, dass der Milchharnstoffgehalt einen Zusammenhang zur N-Ausscheidung über den Harn zeigt und zur Schätzung der Harn-N-Ausscheidungen verwendet werden kann (Nousiainen *et al.*, 2004; Spek *et al.*, 2013a). Weiter resultiert aus Emissionsmessungen im Praxismassstab der Milchharnstoffgehalt als statistisch signifikante Einflussgrösse auf die NH₃-Emissionen (Van Duinkerken *et al.*, 2011; Schrade *et al.*, 2012). Das Ziel der vorliegenden Auswertung war es, die Zusammenhänge zwischen dem Milchharnstoffgehalt und den N-Ausscheidungen über den Harn unter Berücksichtigung des RP-Gehaltes in der Ration zu zeigen. Die Auswertungsgrundlage dafür bildeten Datensätze von Agroscope in Tänikon und Posieux aus den Jahren 2014 bis 2018.

Material und Methoden

Datengrundlage

Die Daten aus Tänikon stammen aus dem Emissionsversuchsstall und wurden dort im Rahmen von Emissionsmessungen in den Jahren 2015 bis 2018 erhoben. Dabei handelte es sich zum einen um Untersuchungen

Tab. 1 | Übersicht über die Stoffwechselversuche in Posieux (Po) aus den Jahren 2014 (Grosse-Brinkhaus *et al.*, 2016) und 2018 (Böttger *et al.*, 2019) und die Versuche aus den Jahren 2015 bis 2018 im Emissionsversuchsstall in Tänikon (Tän). Die Angaben zum Laktationstag sind bei den Versuchen in Tänikon als Mittelwert sowie Minimum bis Maximum und bei den Versuchen aus Posieux als Mittelwert und Standardabweichung der jeweils beprobten Kühe angegeben. Die Milchleistung (Mittelwert; Minimum–Maximum) bezieht sich auf Einzeltierwerte mit Ausnahme des Versuchs 2018_Po, wo Mittelwerte der Tiergruppen angegeben sind.

| Versuch [Jahr_Standort] | Versuchsfrage | Messphase | Anzahl Probenahmen Harn + Milch | Laktationstag | Milch kg/Tag |
|-------------------------|--|---|---------------------------------|----------------|---------------------|
| 2015_Tän | Laufflächen mit Gefälle vs. ohne Gefälle + Entmistungshäufigkeit | August, Oktober, November/Dezember | 2 × 2 × 2 × | 170; 30–391 | 26,60; 11,5–46,3 |
| 2016_Tän | Fressstände vs. ohne Fressstände + Entmistungshäufigkeit | Juni/Juli, September/Oktober, November/Dezember | 2 × 2 × 1 × | 161; 30–354 | 32,5; 11,8–52,4 |
| 2017_Tän_A | Hohes vs. tiefes RP-Niveau der Ration | Februar/März | 4 × | 174; 66–365 | 29,4; 12,4–56,3 |
| 2017_Tän_B | Laufflächen planbefestigt vs. perforiert + Entmistungshäufigkeit | Juni/Juli, September/Oktober, November/Dezember | 2 × 2 × 2 × | 158; 21–351 | 30,8; 10,6–56,7 |
| 2018_Tän | Silageration vs. silagefreie Ration | Juli, September/Oktober, November/Dezember | 2 × 2 × 2 × | 176; 20–394 | 27,6; 8,9–58,4 |
| 2014_Po | Vergleich Luzerne, Esparsette und gewöhnlicher Hornklee | 3 × 3 Lateinisches Quadrat, 7 Tage Sammlung | Quantitativ | 36 ± 18 | 38,0; 37,3–38,4 |
| 2018_Po | Konservierungsmethode Silage, Bodenheu und Belüftungsheu | 3 × 3 Lateinisches Quadrat, 7 Tage Sammlung | Quantitativ | 270 ± 7 | 19,6; 13,8–24,2 |

zu verschiedenen Fütterungs-, zum anderen zu baulich-technischen Versuchsfragen. Weiter wurden für die Auswertung Daten aus zwei Versuchen mit Messung der N-Bilanz vom Standort Posieux verwendet. Der Versuchsaufbau, die Versuchsdurchführung und weitere detailliertere Informationen zu den Untersuchungen können aus Tabelle 1 entnommen werden.

Versuchsaufbau, Probenahme, Analytik und Datenauswertung

Der Emissionsversuchsstall in Tänikon unterteilt sich in zwei identische Abteile für jeweils 20 laktierende Kühe, in denen die Versuchsvarianten gleichzeitig untersucht wurden. Die Gruppenzusammensetzung in den jeweiligen Stallabteilen war während der einzelnen Experimente bezüglich Laktationsnummer, Laktationsstadium und Rasse (Brown Swiss, Schweizer Fleckvieh) weitestgehend ausbalanciert. Über die gesamten Versuche hinweg (2015 bis 2018) wurden an insgesamt 27 Probenahmeterminen Milch- und Harnproben entnommen (Tab. 1). Während die Milchproben sowohl morgens als auch abends gezogen wurden, erfolgte die Harnprobensammlung (Spotsampling) jeweils morgens zur Melkzeit. Pro Probenahme und Stallabteil wurden neun Tiere aus unterschiedlichen Laktationsstadien ausgewählt, deren Proben anschliessend auf den Milchharnstoffgehalt (Infrarotspektroskopie) und die N-Konzentration im

Harn (Kjeldahl) analysiert wurden. Ausserdem wurde in 149 gepoolten Milchproben der Harnstoffgehalt sowohl mit der Infrarotspektroskopie als auch enzymatisch bestimmt. Das Harnvolumen wurde anhand einer Schätzggleichung nach Burgos *et al.* (2005) über die Lebmass des Tieres (Viehmassband) und den Kreatinengehalt im Harn ermittelt. Die täglich mit dem Harn ausgeschiedene N-Menge wurde über die Multiplikation von Harnvolumen und N-Konzentration im Harn berechnet. Um aus den beiden Milchharnstoffwerten (morgens und abends) einen repräsentativen Tageswert zu erhalten, wurde aus den Mengenanteilen von Morgen- und Abendmelk ein Aliquot erstellt, mit dem anteilmässig ein Tages-Milchharnstoffwert bestimmt wurde. Aus den Daten von neun Kühen pro Stallabteil wurde jeweils ein Mittelwert gebildet, woraus sich insgesamt 54 Datensätze über alle Versuche hinweg ergaben.

Die Kühe erhielten während der Versuche eine Teilmischration, welche durch tierindividuelle Kraftfütterzuteilungen ergänzt wurde. Während der Messphasen, in denen auch die Probenahmen stattfanden, wurde über mehrere Tage täglich pro Stallabteil eine repräsentative Futterprobe gezogen. Diese Proben wurden nach einer Trocknung bei 60°C im Verhältnis zur Futteraufnahme bzw. dem Trogrestanteil gepoolt. Anschliessend wurde die chemische Zusammensetzung analysiert sowie der Netto-Energie-Laktation(NEL)-Gehalt kalkuliert.

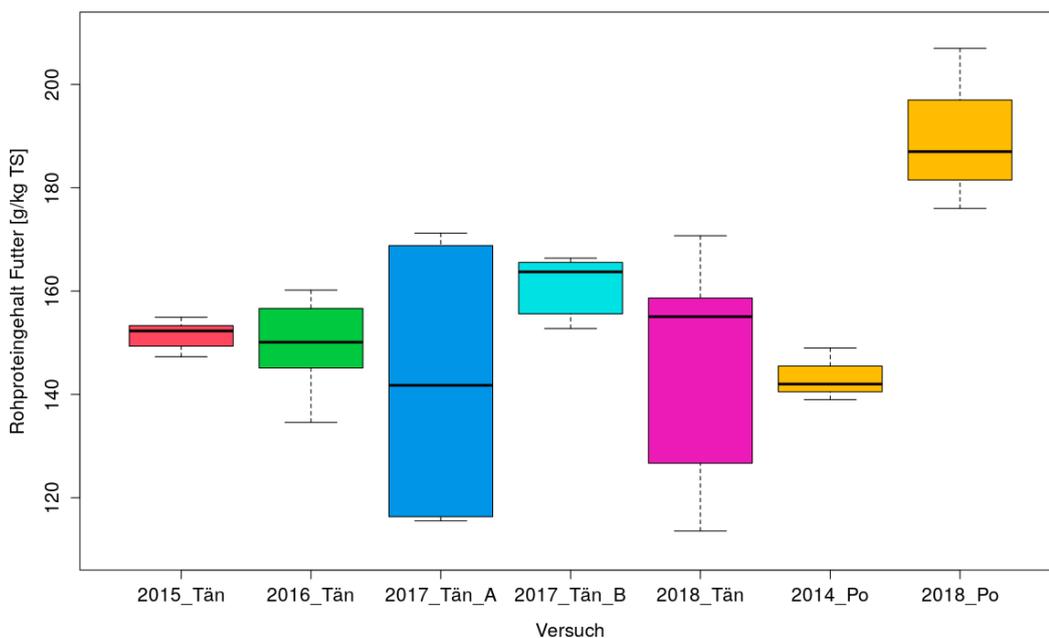


Abb. 1 | Rohproteingehalte des Futters in den Stoffwechselfersuchen in Posieux (Po) aus den Jahren 2014 (Grosse-Brinkhaus *et al.*, 2016) und 2018 (Böttger *et al.*, 2019) und den Versuchen aus den Jahren 2015 bis 2018 im Emissionsversuchsstall in Tänikon (Tän).

Der RP- und NEL-Gehalt des Kraftfutters wurde nach Kalkulation der durchschnittlichen Kraftfutteraufnahme anteilmässig mit dem RP- bzw. NEL-Gehalt der Ration verrechnet.

Während die Versuche in Tänikon auf Herdenebene angelegt waren, wurden die Experimente in Posieux an jeweils sechs Kühen in individuellen Stoffwechselständen mit Wechsel der Versuchsbehandlungen nach dem Plan eines Lateinischen Quadrats (3×3) durchgeführt. In beiden Stoffwechselversuchen folgte nach einer 14-tägigen (Versuch 2018_Po [Böttger *et al.*, 2019]) bzw. 21-tägigen (Versuch 2014_Po [Grosse-Brinkhaus *et al.*, 2016]) Adaptionsphase eine 7-tägige Probenahmeperiode mit quantitativer Kot- und Harnsammlung. Den Tieren aus Versuch 2014_Po wurde eine Teil-Mischration, die zu 20 % aus Luzerne, Esparsette oder Hornklee in pelletierter Form bestand, vorgelegt und durch Kraft- und Proteinausgleichsfutter ergänzt. In Versuch 2018_Po wurde auf drei verschiedene Arten konserviertes Wiesenfutter (Silage, Bodenheu und Belüftungsheu) als alleinige Ration an Milchkühe verfüttert. Die Probenahme und Analyse der Futter-, Milch- und Harnproben sind bei Grosse-Brinkhaus *et al.* (2016) und Böttger *et al.* (2019) detailliert beschrieben.

Die statistische Auswertung erfolgte durch die Berechnung von Korrelationen und einfachen linearen Regressionsmodellen mit Hilfe des Statistikprogramms R (Version 3.6.3).

Resultate und Diskussion

RP-Gehalte und RP/NEL-Verhältnisse der Rationen

Über alle Versuche hinweg lag eine grosse Bandbreite in den RP-Gehalten der vorgelegten Rationen vor. Eine besonders starke Streuung innerhalb eines Experimentes wurde sowohl im Versuch 2017_Tän_A (hohes vs. tiefes RP-Niveau in der Ration) als auch im Versuch 2018_Tän (Silageration vs. silagefreie Ration) festgestellt. Versuch 2018_Po wies bei der Silageration mit einem RP-Gehalt von 207 g/kg bezogen auf Trockensubstanz (TS) den höchsten Wert auf, während die beiden Versuche 2017_Tän_A (niedriges RP-Niveau) und 2018_Tän (silagefreie Ration) die tiefsten Werte von 116 bzw. 114 g/kg TS zeigten (Abb. 1). Sowohl im Versuch 2017_Tän_A als auch vereinzelt im Versuch 2018_Tän lagen die RP-Gehalte teilweise unterhalb von 120 g/kg TS. Das Verhältnis von RP zu NEL zeigt Abbildung 2. Im Versuch 2018_Po kann auf Grund der sehr hohen RP-Gehalte des Futters und den verhältnismässig niedrigen NEL-Gehalten zwischen 5,4 und 6,0 MJ NEL mit einem RP/NEL-Verhältnis von 34,7 g/MJ von einer unausgeglichene Ration mit Proteinüberschuss ausgegangen werden. Der tiefste Wert von 18,4 g RP/MJ NEL wurde im Versuch 2017_Tän_A (tiefes RP-Niveau in der Ration) ermittelt, was unter dem Richtwert zur Sicherstellung des N-Angebotes für eine normal funktionierende Pansenfermentation liegt

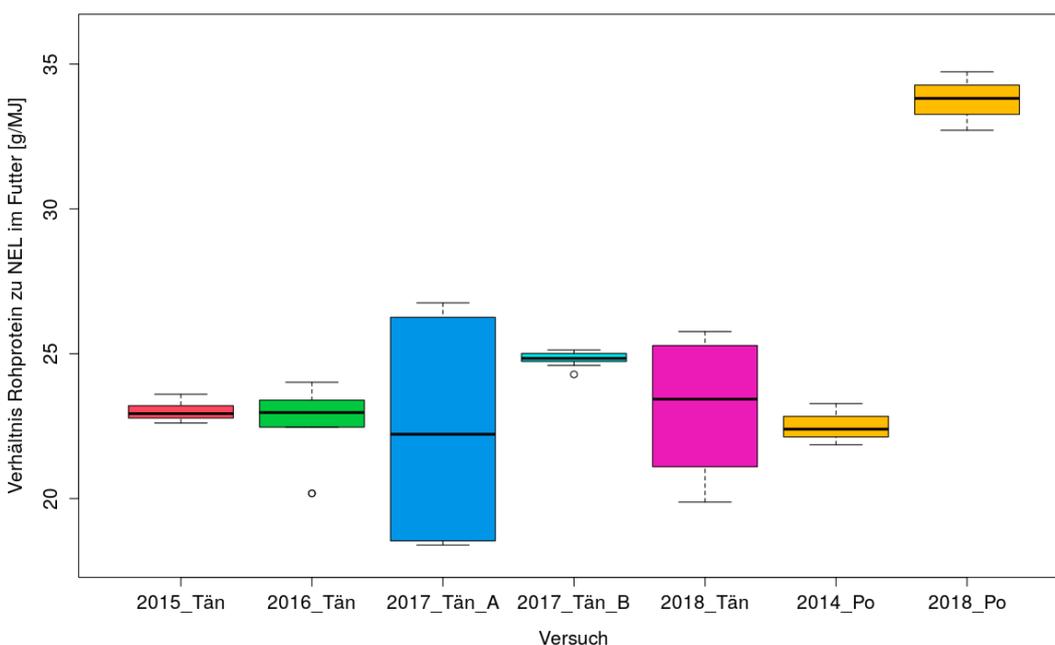


Abb. 2 | Verhältnis von Rohprotein und Netto- Energie-Laktation (NEL) im Futter der Stoffwechselversuche in Posieux (Po) aus den Jahren 2014 (Grosse-Brinkhaus *et al.*, 2016) und 2018 (Böttger *et al.*, 2019) und der Versuche aus den Jahren 2015 bis 2018 im Emissionsversuchsstall in Tänikon (Tän).

(Jans *et al.*, 2017). Alle übrigen Versuche befanden sich innerhalb der Empfehlungen von 20–30 g RP/MJ NEL (Jans *et al.*, 2017).

N-Ausscheidung über den Harn

Auch die geschätzten N-Ausscheidungen über den Harn variierten über alle Versuche hinweg sehr stark. Die tiefsten Ausscheidungen von 70 g pro Tag konnte im Versuch 2017_Tän_A bei den Kühen festgestellt werden, die eine Ration mit 117 g RP/kg TS vorgelegt bekamen. Analog zu den RP-Gehalten im Futter, wurde im Versuch 2018_Po die höchste N-Ausscheidung über den Harn von 307 g/d bei den Tieren ermittelt, die eine Silage mit 207 g RP/kg TS vorgelegt bekamen. Die in Versuch 2014_Po analysierten tieferen Harn-N-Ausscheidungen zwischen 79 und 89 g/d könnten auf das frühe Laktationsstadium, die hohe Leistung und die im Verhältnis dazu niedrigen RP-Gehalte in der Ration zwischen 139 und 149 g RP/kg TS zurückgeführt werden. Dass in der vorliegenden Auswertung die N-Ausscheidungen über den Harn die der RP-Gehalte im Futter widerspiegeln, verdeutlicht der Zusammenhang dieser beiden Parameter (Abb. 3).

Übersteigt die im Pansen gebildete NH_3 -Menge auf Grund eines RP-Überschusses den Bedarf des Tieres, so wird überschüssiges NH_3 in der Leber zu Harnstoff synthetisiert und sowohl über die Milch als auch zum grössten Teil über den Harn ausgeschieden (Castillo *et al.*, 2001). Die vorliegenden Ergebnisse zeigen, dass

der RP-Gehalt der Ration als Steuerinstrument der N-Ausscheidungen dienen kann und gleichzeitig anhand des RP-Gehaltes im Futter grobe Rückschlüsse auf die täglich ausgeschiedene N-Menge über den Harn gezogen werden können ($R^2=0,56$). Doch nicht nur der RP-Gehalt, sondern auch die zur Nutzung des verfügbaren RP notwendige Energie im Pansen beeinflusst die N-Ausscheidung massgeblich. Liegt ein NEL-Mangel in der Ration vor, so kann bereits im Vormagensystem keine effiziente Nutzung und Umwandlung des Proteins stattfinden, woraus Verluste von wertvollen N-Quellen über den Harn resultieren. Die Ergebnisse der Regressionsrechnung aus den vorliegenden Daten zu N-Ausscheidung über den Harn und dem RP-NEL-Verhältnis zeigen ein R^2 von 0,56 auf (nicht grafisch dargestellt).

Da die N-Ausscheidungen auf den Betrieben nicht messbar sind und auch der RP-Gehalt der Gesamtration auf vielen Betrieben nicht regelmässig analysiert wird, kann der Milchharnstoffgehalt als Parameter zur Einordnung der N-Ausscheidung auf betrieblicher Ebene herangezogen werden. Dieser steht potenziell auf Betrieben mit Milchleistungsprüfung im Rahmen der monatlichen Milchkontrolle auf Einzeltierbasis oder auch auf Grund von periodischen Tankmilchproben zur Verfügung. Die Eignung der Milchharnstoff-Analysemethode «Mittlere Infrarotspektroskopie» (MIRS), welche bei der offiziellen Milchkontrolle angewendet wird, wird im Vergleich zur enzymatischen «Referenzmethode» teilweise kritisch

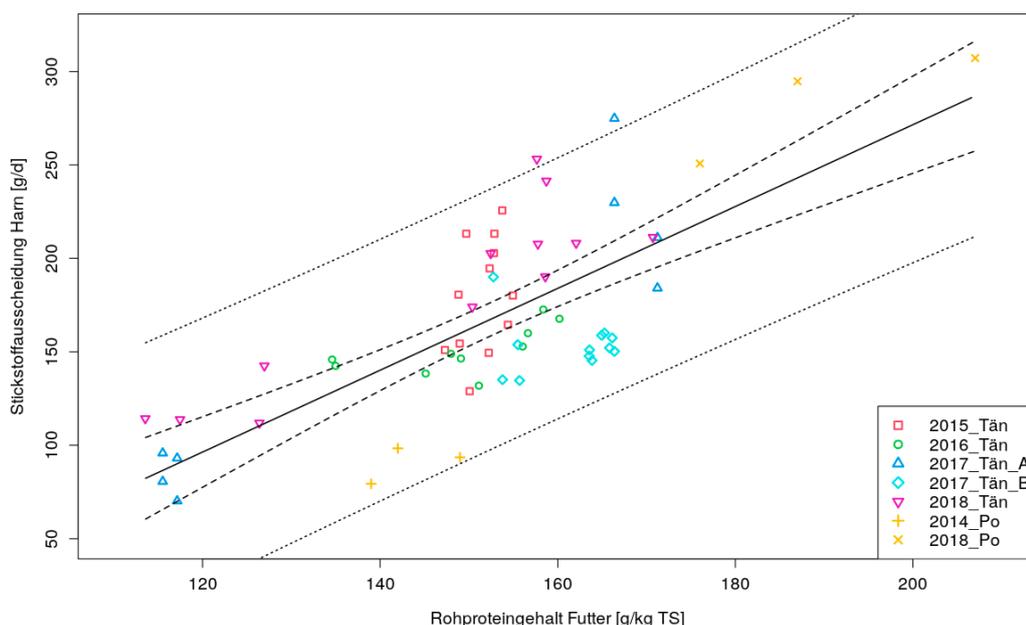


Abb. 3 | Zusammenhang zwischen Stickstoffausscheidung über den Harn und Rohproteingehalt des Futters mit dem dazugehörigen 95%-Vertrauensintervall (gestrichelte Linien) sowie 95%-Prognoseintervall (gepunktete Linien); $y = -166,44 + 2,19 * x$; $R^2 = 0,56$; $p < 0,001$.

diskutiert. Die Ergebnisse des Vergleichs der beiden Methoden (Abb. 4) zeigen über einen weiten Bereich betrachtet eine sehr gute Korrelation von 0,92.

Schweizer Datensätze aus den Jahren 2000 bis 2010 deuten darauf hin, dass sich die Übereinstimmung dieser beiden Methoden im Laufe der letzten Jahre deutlich verbessert hat. Aus Daten der Jahre 2009 und 2010 wurde ein Bestimmtheitsmass (R^2) von 0,75 ermittelt (Bracher, 2011). Nach einer Auswertung von 9311 Einzelproben aus verschiedenen Bundesländern in Deutschland konnte ein Bestimmtheitsmass (R^2) von 0,57 festgestellt werden, wobei deutliche Unterschiede zwischen den Bundesländern und verschiedenen Analysegeräten beobachtet werden konnten (Jilg *et al.*, 2018). Bei Zulage einer fettreichen Futterkomponente (extrudierte Leinsamen) wurden ebenfalls stärkere Abweichungen zwischen den Milchharnstoffgehalten, die mit MIR/FTIR und enzymatisch analysiert wurden, gefunden, wohingegen die Übereinstimmung bei der Fütterung der Ration ohne Fettzulage sehr gut war (Poteko *et al.* 2020).

Die Milchharnstoffgehalte in den vorliegenden Datensätzen variierten zwischen 11,6 (2018_Tän) und 38,0 mg/100 ml (Versuch 2018_Po). Analog zum N-Gehalt im Harn ist die grösste Varianz innerhalb eines Versuches bei den Fütterungsversuchen mit grossen Unterschieden in den RP-Gehalten zu beobachten. So lag der Milchharnstoffgehalt in Versuch 2107_Tän_A zwischen 12,3 und 29,5 mg/100 ml und in Versuch 2018_Tän zwischen 11,6 und 31,9 mg/

100 ml. Weiter ist in Abbildung 5 ein deutlicher linearer Zusammenhang zwischen dem Milchharnstoffgehalt und der geschätzten, zu diesem Zeitpunkt über den Harn ausgeschiedenen N-Menge erkennbar ($R^2=0,65$). Damit bestätigen die vorliegenden Ergebnisse basierend auf neueren Schweizer Datensätzen klar zahlreiche Untersuchungen und Modellrechnungen zu diesem Zusammenhang zwischen Milchharnstoffgehalt und N-Ausscheidung über den Harn (Jonker *et al.*, 1998; Kauffman und St.-Pierre, 2001; Kohn *et al.*, 2002; Nousiainen *et al.*, 2004; Spek *et al.*, 2013a; Zhai *et al.*, 2005).

Ein Teil der Streuung innerhalb der Daten kann durch verschiedene Einflussgrössen auf den Parameter Milchharnstoffgehalt erklärt werden. Neben nutritiven Faktoren wie RP-Gehalt in der Ration und der Wasseraufnahme können auch tierindividuelle Faktoren wie Laktationsstadium, Rasse und Gewicht sowie managementbezogene Faktoren wie die Fütterungs- und Melkfrequenz den Milchharnstoffgehalt und somit das Verhältnis zur ausgeschiedenen N-Menge über den Harn beeinflussen (Spek *et al.*, 2013b). Die vorliegenden Ergebnisse zu Daten über mehrere Jahre zeigen, dass trotz einer starken Heterogenität innerhalb der ausgewählten Versuchstiere (Laktationsstadium, Milchleistung, Rasse) ein deutlicher linearer Zusammenhang besteht und die Vielzahl der Einflussgrössen durch den starken Zusammenhang der beiden Parameter in gewisser Weise überlagert werden. Autoren einer Meta-Studie (Spek *et al.*, 2013a), die

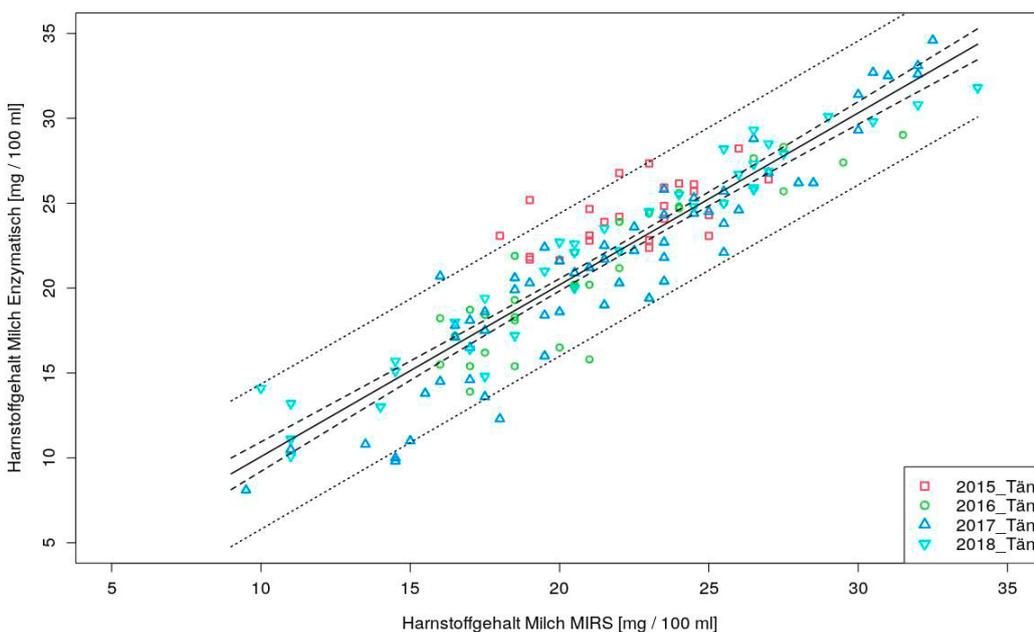


Abb. 4 | Zusammenhang zwischen der Milchharnstoffbestimmungsmethode MIRS und der enzymatischen Referenzmethode mit dem dazugehörigen 95%-Vertrauensintervall (gestrichelte Linien) sowie 95%-Prognoseintervall (gepunktete Linien); $y = -0,05 + 1,01 * x$; $R^2 = 0,85$; $p < 0,001$.

unterschiedliche Rations- und Tiereffekte für die Schätzung der N-Ausscheidung untersuchten, folgerten, dass der Milchharnstoffgehalt trotz der vielen Einflussfaktoren den besten Indikator zur Schätzung der N-Ausscheidung über den Harn darstellt. Geht es um eine genaue Schätzung der N-Ausscheidungen anhand des Milchharnstoffgehaltes, so kann die Schätzgenauigkeit mit Einbezug des RP-Gehaltes in der Ration erhöht werden (Spek *et al.*, 2013a).

Die dargestellten Zusammenhänge unter Verwendung praxisbezogener Versuchsdaten zeigen, dass sich der Milchharnstoffgehalt als Einflussgrösse bei der Schätzung potenzieller NH₃-Emissionen eignet. Aus der Fütterungspraxis ist bekannt, dass der Milchharnstoffgehalt deutlich auf die Rationszusammensetzung und insbesondere auf den RP-Gehalt im Futter reagiert und somit über das vorgelegte Futter beeinflusst werden kann. Dies zeigen die Versuchsdaten in Abbildung 6 mit einem linearen Zusammenhang von R²=0,53.

In einer Befragung im Rahmen des Projekts «Ausgewogene Milchviehfütterung – Analyse ausgewählter Milchwirtschaftsbetriebe» gaben 28 von 32 Landwirten an, den Milchharnstoffgehalt als Steuergrösse für die Rationsgestaltung anzuwenden (Sutter *et al.*, 2019). Im Hinblick auf die Fütterungskontrolle gibt es unterschiedliche Empfehlungswerte für den Milchharnstoffgehalt, die aufgrund der multifaktoriellen Beeinflussbarkeit meist als Zielbereich definiert werden. Basierend auf

neueren wissenschaftlichen Untersuchungen wurde in Deutschland sowohl aus ernährungsphysiologischer Sicht, als auch vor dem Hintergrund eines geringeren N-Eintrags ein Optimalbereich für den Milchharnstoffgehalt von 150 mg/L bis 250 mg/L definiert (DLG, 2020). In einer Schweizer Studie empfiehlt Bracher (2011) für den Milchharnstoffgehalt mit 170 bis 260 mg/L einen ähnlichen Zielbereich.

Vor allem im Hinblick auf die Erreichung der Umweltziele Ammoniak (BLW und BAFU, 2008) sind die Zusammenhänge zwischen dem RP-Gehalt in der Ration und den N-Ausscheidungen über den Harn und die Milch von Bedeutung. Der mögliche Handlungsspielraum hinsichtlich N-Ausscheidungen kann nur aufgrund von Kenntnissen insbesondere des RP- und Energiegehaltes der Ration abgesteckt werden. Dies unterstreicht die Bedeutung korrekter Futtermittelanalyse und -bewertung. Eine Meta-Analyse aus dem Jahr 2018 (Sajeev *et al.*, 2018) zeigte, dass mit einer Absenkung der RP-Konzentration im Futter pro Prozentpunkt eine Reduktion der NH₃-Emissionen von ca. 17 % einhergeht. Dadurch kann bereits am Beginn der N-Kette angesetzt werden, was einen geringeren Eintrag von N in den Gesamtkreislauf und allenfalls eine Kosteneinsparung durch verringerten Einsatz von proteinreichem Ergänzungsfutter bewirken kann. Sowohl in Deutschland als auch in den Niederlanden findet der Milchharnstoffgehalt als Faktor zur Berechnung von N-Ausscheidungen bereits Anwendung

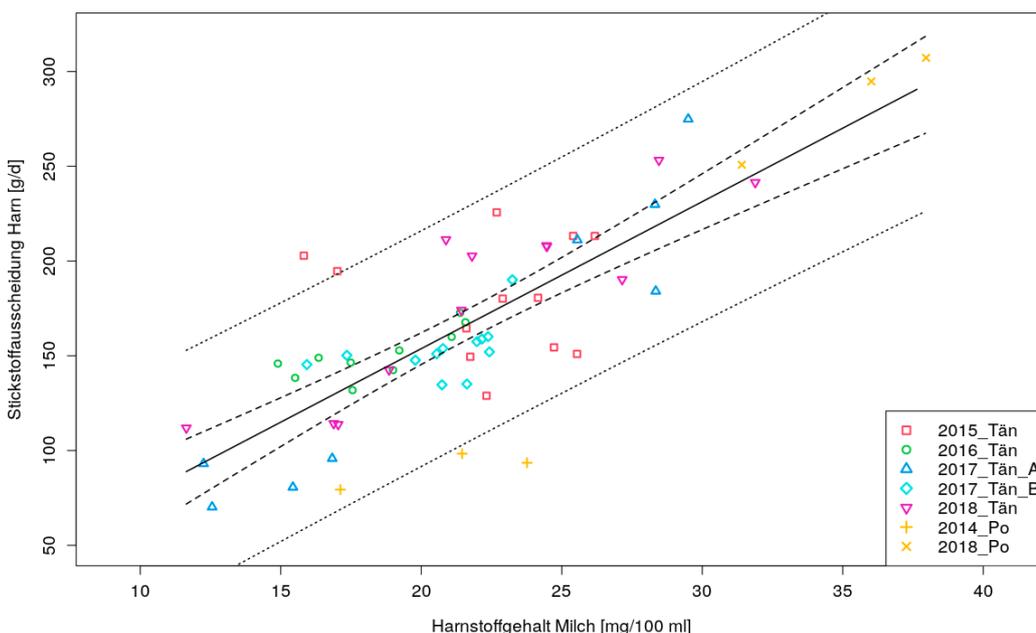


Abb. 5 | Zusammenhang zwischen dem Milchharnstoffgehalt und den N-Ausscheidungen über den Harn mit dem dazugehörigen 95%-Vertrauensintervall (gestrichelte Linien) sowie 95%-Prognoseintervall (gepunktete Linien); $y = -1,37 + 7,76 \cdot x$; $R^2 = 0,65$; $p < 0,001$.

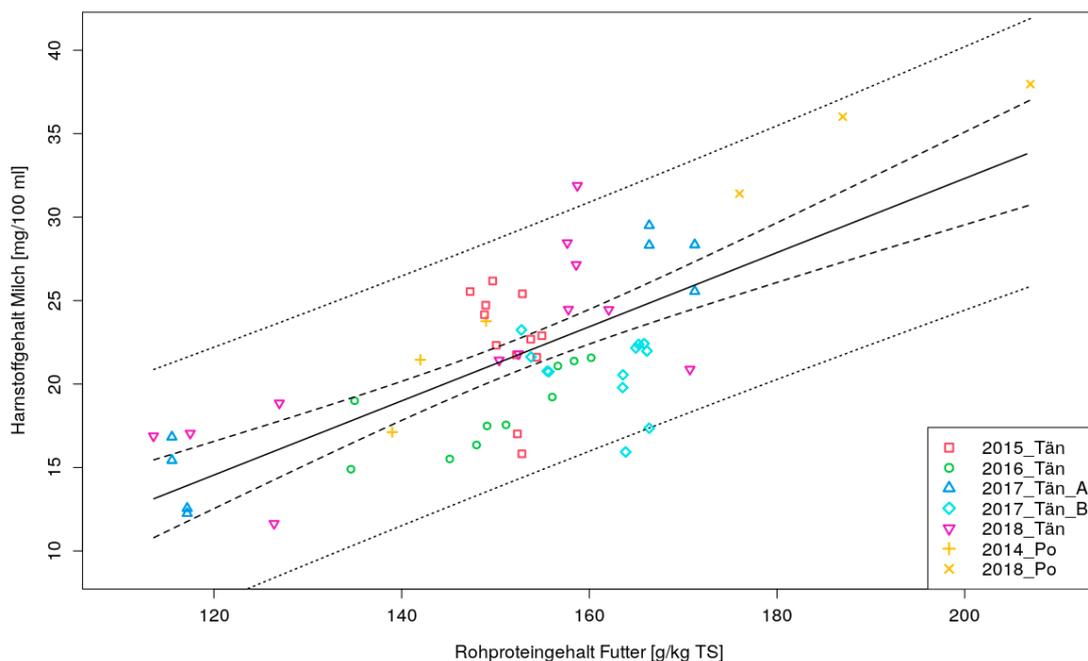


Abb. 6 | Zusammenhang zwischen Harnstoffgehalt der Milch und dem RP-Gehalt im Futter mit dem dazugehörigen 95%-Vertrauensintervall (gestrichelte Linien) sowie 95%-Prognoseintervall (gepunktete Linien); $y = -12,01 + 0,22 * x$; $R^2 = 0,53$; $p < 0,001$.

(Bannink und Hindle, 2003; Spiekers und Obermaier, 2007). Weitere Forschungsergebnisse zeigten, dass ein Anstieg des Milchharnstoffgehaltes eine exponentielle Zunahme der Ammoniakemissionen bewirkt: Stieg der Milchharnstoffgehalt um 1 mg/100 ml, so resultierte ab einem Milchharnstoffgehalt von 20 mg/100 ml eine Erhöhung der Ammoniakemissionen von 2,6 %. Ab einem Milchharnstoffgehalt von 30 mg/100 ml hatte einer Erhöhung des Milchharnstoffgehalt um 1 mg/100 ml 3,5 % höhere Ammoniakemissionen zur Folge (Van Duinkerken *et al.*, 2011).

Schlussfolgerungen

Die Daten aus verschiedenen Versuchen von Agroscope zeigen einen deutlichen linearen Zusammenhang zwischen dem Milchharnstoffgehalt und der N-Ausscheidung über den Harn. Trotz der Heterogenität hinsichtlich der tierbezogenen Daten (Rasse, Laktations-

stadium, Leistung) und Fütterung zeigen die Ergebnisse dieser Untersuchung, dass der Milchharnstoffgehalt deutliche Hinweise auf die N-Ausscheidungen der Herde geben kann. Somit bestätigt diese Datenauswertung die in der Literatur beschriebenen Zusammenhänge zwischen dem RP-Gehalt der Ration und den N-Ausscheidungen über den Harn bzw. dem Milchharnstoffgehalt. Um die Umweltziele im Bereich NH_3 zu erreichen, muss an allen Stufen der N-Kette angesetzt werden. Schlussendlich ist der RP-Gehalt im Futter die Grösse, die es ermöglicht, die N-Ausscheidungen auf Herdenebene zu steuern und im Zusammenhang mit dem Milchharnstoffgehalt zu kontrollieren. Der Milchharnstoff als verfügbarer Messwert aus der monatlichen Milchkontrolle gibt Hinweise auf die N-Versorgung und -Ausscheidung und kann somit dazu beitragen, NH_3 -Verluste durch gezielte Anpassung der Fütterung bereits zu Beginn der N-Kette zu minimieren. ■

Literatur

- Bannink, A., & Hindle, V. A. (2003). Prediction of N-intake and N-excretion by dairy cows from milk data (in dutch). Report 030008567, Animal Sciences Group Lelystad.
- Bittman, S., Dedina, M., Howard, C. M., Oenema, O., & Sutton, M. A. (2014). Options for ammonia mitigation: guidance from the UNECE Task Force on Reactive Nitrogen. Centre for Ecology and Hydrology, Edinburgh, UK. http://www.clrtap-tfrn.org/sites/clrtap-tfrn.org/files/documents/AGD_final_file.pdf
- Böttger, C., Silacci, P., Dohme-Meier, F., Südekum K.-H., & Wyss, U. (2019). The effect of herbage conservation method on protein value and nitrogen utilization in dairy cows. *Agriculture*, 9(6), 118. <https://doi.org/10.3390/agriculture9060118>
- BAFU und BLW (2008). Umweltziele Landwirtschaft. Hergeleitet aus bestehenden rechtlichen Grundlagen. *Umwelt-Wissen Nr. 0820*, 221 S. Bundesamt für Umwelt (BAFU) und Bundesamt für Landwirtschaft (BLW), Bern.

- BAFU und BLW (2016). Umweltziele Landwirtschaft. Statusbericht 2016. *Umwelt-Wissen Nr. 1633*, 114 S. Bundesamt für Umwelt (BAFU) und Bundesamt für Landwirtschaft (BLW), Bern.
- Bracher, A. (2011). Möglichkeiten zur Reduktion von Ammoniakemissionen durch Fütterungsmassnahmen beim Rindvieh (Milchkuh). Schweizerische Hochschule für Landwirtschaft und Agroscope Liebefeld-Posieux.
- Burgos, S. A., Robinson, P. H., Fadel, J. G., & DePeters, E. J. (2005). Ammonia volatilization potential: Prediction of urinary urea nitrogen output in lactating dairy cows. *Agriculture Ecosystems and Environment*, **111**, 261–269. <https://doi.org/10.3168/jds.2007-0299>
- Castillo, A. R., Kebreab, E., Beever, D. E., Barbi, J. H., Sutton, J. D., Kirby, H. C., & France, J. (2001). The effect of protein supplementation on nitrogen utilization in lactating dairy cows fed grass silage diets. *Journal of Animal Science*, **79**(1), 247–253. <https://doi.org/10.2527/2001.791247x>
- Grosse Brinkhaus, A., Bee, G., Silacci, P., Kreuzer, M., & Dohme-Meier, F. (2016). Effect of exchanging *Onobrychis viciifolia* and *Lotus corniculatus* for *Medicago sativa* on ruminal fermentation and nitrogen turnover in dairy cows. *Journal of Dairy Science*, **99**, 4384–4397. <http://dx.doi.org/10.3168/jds.2015-9911>
- Jans, F., Kessler, J., Münger, A., Schori, F. & Schlegel P. (2017). Fütterungsempfehlungen für die Milchkuh. In: Fütterungsempfehlungen für Wiederkäuer (Grünes Buch), Kapitel 7. Hrsg. Agroscope, Posieux, 1–23. www.agroscope.ch/gruenes-buch
- Jilg, T., Engelhard, T., Koch, C., & Pries, M. (2018). Untersuchungen zur Milchharnstoffbestimmung mit MIR-Spektroskopie im Vergleich zu Referenzverfahren. In: VDLUFA-Schriftenreihe Band 75/2018, VDLUFA-Verlag, Darmstadt, 264–269.
- Jonker, J. S., Kohn, R. A., & Erdman, R. A. (1998). Using milk urea nitrogen to predict nitrogen excretion and utilization efficiency in lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science*, **81**(10), 2681–2692. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(98\)75825-4](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(98)75825-4)
- Kauffman, A. J., & St-Pierre, N. R. (2001). The relationship of milk urea nitrogen to urine nitrogen excretion in Holstein and Jersey cows. *Journal of Dairy Science*, **84**(10), 2284–2294. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(01\)74675-9](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(01)74675-9)
- Kebreab, E., France, J., Mills, J. A. N., Allison, R., & Dijkstra, J. (2002). A dynamic model of N metabolism in the lactating dairy cow and an assessment of impact of N excretion on the environment. *Journal of Animal Science*, **80**(1), 248–259. <https://doi.org/10.2527/2002.801248x>
- Kohn, R. A., Kalscheur, K. F., & Russek-Cohen, E. (2002). Evaluation of models to estimate urinary nitrogen and expected milk urea nitrogen. *Journal of Dairy Science*, **85**(1), 227–233. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(02\)74071-X](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(02)74071-X)
- Nousiainen, J., Shingfield, K. J., & Huhtanen, P. (2004). Evaluation of milk urea nitrogen as a diagnostic of protein feeding. *Journal of Dairy Science*, **87**(2), 386–398. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(04\)73178-1](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(04)73178-1)
- Poteko, J., Schrade, S., Zeyer, K., Mohn, J., Zähler, M., Zeitz, J.O., Kreuzer, M. & Schwarm, A. (2020). Methane emissions and milk fatty acid profiles in dairy cows fed linseed, measured at the group level in a naturally ventilated housing and individually in respiration chambers. *Animals*, **10**, (1091), 1–18. <https://doi.org/10.3390/ani10061091>
- Sajeev, E. P. M., Amon, B., Ammon, C., Zollitsch, W., & Winiwarter, W. (2018). Evaluating the potential of dietary crude protein manipulation in reducing ammonia emissions from cattle and pig manure: A meta-analysis. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, **110**(1), 161–175. <https://doi.org/10.1007/s10705-017-9893-3>
- Schrade, S., Zeyer, K., Gyax, L., Emmenegger, L., Hartung, E., & Keck, M. (2012). Ammonia emissions and emission factors of naturally ventilated dairy housing with solid floors and an outdoor exercise area in Switzerland. *Atmospheric Environment*, **47**, 183–194. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2011.11.015>
- Spek, J.W., Dijkstra, J., van Duinkerken, G., Hendriks, W.H. & Bannink, A. (2013a). Prediction of urinary nitrogen and urinary urea nitrogen excretion by lactating dairy cattle in northwestern Europe and North America: A meta-analysis. *Journal of Dairy Science*, **96**, 4310–4322. <https://doi.org/10.3168/jds.2012-6265>
- Spek, J., Dijkstra, J., van Duinkerken, G., & Bannink, A. (2013b). 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**(3), 407–423. <https://doi.org/10.1017/S0021859612000561>
- Spiekers, H., & Obermaier, A. (2007). Milchharnstoffgehalt und N-Ausscheidung. *SuB Heft*, 4–5/07, III-4-III–9.
- Sutter, M., Blättler, T., Stucki, C., & Reidy, B. (2019). Der Milchharnstoffwert als Indikator zur Reduktion von Ammoniakemissionen in der Milchproduktion – Möglichkeiten und Grenzen von Fütterungsmassnahmen auf Praxisbetrieben. Schlussbericht, Hochschule für Agrar-, Forst- und Lebensmittelwissenschaften HAFL, Zollikofen.
- Van Duinkerken, G., Smits, M. C. J., André, G., Šebek, L. B. J., & Dijkstra, J. (2011). Milk urea concentration as an indicator of ammonia emission from dairy cow barn under restricted grazing. *Journal of Dairy Science*, **94**(1), 321–335. <https://doi.org/10.3168/jds.2009-2263>
- Zhai, S. W., Liu, J. X., & Ma, Y. (2005). Relation between milk urea content and nitrogen excretion from lactating cows, *Acta Agriculturae Scandinavica, Section A – Animal Science*, **55**(2–3), 113–115. <https://doi.org/10.1080/09064700510009289>