

Proteinreduzierte Milchviehfütterung ergänzt mit pansenstabilen Aminosäuren

Christelle Mossu und Stefan Probst

Hochschule für Agrar-, Forst- und Lebensmittelwissenschaften HAFL, 3052 Zollikofen, Schweiz

Auskünfte: Stefan Probst, E-Mail: stefan.probst@bfh.ch

<https://doi.org/10.34776/afs17-262> Publikationsdatum: 28. Oktober 2026



Eine gezielte Ergänzung von Milchviehrationen mit pansen-
geschützten Aminosäuren kann die Stickstoffeffizienz verbessern.
(Foto: Adobe Stock)

Zusammenfassung

Die Reduktion von Ammoniakemissionen aus der Landwirtschaft stellt in der Schweiz eine zentrale umweltpolitische Herausforderung dar, da der überwiegende Teil der Stickstoffverluste aus der Tierhaltung stammt. Besonders die Rindviehhaltung trägt wesentlich dazu bei, weshalb nach wirksamen Minderungsmaßnahmen gesucht wird. Studien zeigen, dass eine proteinreduzierte Fütterung Ammoniakemissionen senken kann. Diese Ergebnisse beruhen

jedoch überwiegend auf Kurzzeitversuchen, weshalb die langfristigen Auswirkungen noch unzureichend untersucht sind. Ziel dieser Studie war es, die Effekte einer längerfristigen proteinreduzierten Fütterung in Kombination mit einer Supplementierung von pansenstabilem Methionin und Lysin auf die Leistung, die Milchezusammensetzung und die Stickstoffeffizienz von Milchkühen zu untersuchen. Dazu wurde ein einjähriger Versuch auf zwei Milchviehbetrieben durchgeführt. Eine Kontrollgruppe erhielt die betriebsübliche Ration, während die Versuchsgruppe eine um 10 g Rohprotein/kg TS reduzierte Ration ergänzt mit 10 g pansenstabilem Methionin und 15 g pansenstabilem Lysin pro Tier und Tag zur Sicherstellung der Aminosäureversorgung erhielt. Auf einem Betrieb kam es zu keiner signifikanten Veränderung der energie-korrigierten Milchmenge (ECM) und der Milchezusammensetzung, während auf dem anderen Betrieb eine signifikante Reduktion der ECM sowie der Proteinmenge in der Versuchsgruppe festgestellt wurde (–2,8 kg/Tag bzw. –0,1 kg/Tag). In beiden Betrieben wurden signifikant geringere Milchwassergehalte in der Versuchsgruppe beobachtet (–1,7 bzw. –3,8 mg/dl). Zudem verbesserte sich die Stickstoffeffizienz in beiden Betrieben, wobei dieser Effekt nur in einem Betrieb signifikant war (+3,0 % gegenüber +0,4 %). Eine langfristig proteinreduzierte Fütterung ergänzt mit pansenstabilen Aminosäuren kann die Ammoniakemissionen senken und die Stickstoffeffizienz verbessern. Gleichzeitig kann sie, in Übereinstimmung mit anderen Kurzzeitstudien, je nach Betrieb auch Auswirkungen auf die Milchleistung haben. Dies unterstreicht die Notwendigkeit weiterer Untersuchungen, um die Einflussfaktoren besser zu verstehen, insbesondere im Hinblick auf andere essenzielle Aminosäuren.

Key words: Rumen-protected amino acid, dairy cow, low protein diet, ammonia emissions.

Einleitung

Die Reduktion landwirtschaftlicher Ammoniakemissionen zählt zu den zentralen umweltpolitischen Herausforderungen der Schweiz. Im Jahr 2020 wurden rund 43'700 Tonnen Stickstoff (N) in Form von Ammoniak (NH_3) freigesetzt; davon stammten etwa 94 % aus der Landwirtschaft (Kupper et al. 2022). Innerhalb dieses Sektors ist die Tierhaltung die wichtigste Quelle, wobei die Rindviehhaltung mit rund 77 % der Emissionen aus der Tierproduktion wesentlich zum Gesamtausstoss beiträgt (Kupper et al. 2022). Da Ammoniak leicht in die Atmosphäre entweicht und über weite Distanzen transportiert wird, belastet seine Deposition insbesondere empfindliche Ökosysteme. Vor diesem Hintergrund wurden die politischen Zielsetzungen weiter konkretisiert. In Art. 10a der Verordnung über die Beurteilung der Nachhaltigkeit in der Landwirtschaft (VBNL) vom 7. Dezember 1998 (Stand am 1. Juni 2025; SR 919.118) ist festgelegt, dass die Stickstoffverluste der Landwirtschaft bis 2030 im Vergleich zum Mittelwert der Jahre 2014–2016 um mindestens 15 % reduziert werden müssen.

Ein wesentlicher Ursprung dieser Emissionen liegt im Stickstoff tierischer Ausscheidungen. Die Höhe dieser Verluste steht in engem Zusammenhang mit dem Rohproteingehalt der Ration. Mit steigender Proteinzufuhr nimmt besonders die Stickstoffausscheidung über den Urin zu, während überschüssiger Stickstoff im Organismus der Kuh zu Harnstoff umgewandelt wird (Jonker et al. 1998; Kebreab et al. 2002; Bracher et al. 2011). Dieser gilt als direkte Vorstufe späterer Ammoniakverluste. Auch die Abbaubarkeit des Proteins im Pansen sowie die Abstimmung zwischen Energie- und Stickstoffangebot beeinflussen die Effizienz der Stickstoffverwertung (Bracher et al. 2011). Eine unausgewogene Versorgung führt zu Stickstoffüberschüssen, welche als Harnstoff und danach als Ammoniak verloren gehen.

Als besonders wirksamer Ansatz zur Emissionsminderung gilt die Reduktion des Stickstoffeintrags über die Fütterung. Mehrere Studien belegen eine positive Korrelation zwischen dem Rohproteingehalt der Ration und den Ammoniakemissionen (Arriaga et al. 2010; Sajeev et al. 2018). Während stickstoffreduzierte Fütterungskonzepte in der Schweinehaltung bereits erfolgreich umgesetzt werden, ist die praktische Anwendung bei Wiederkäuern anspruchsvoller (Bracher et al. 2011). Gründe dafür sind schwankende Nährstoffgehalte des Grundfutters sowie die komplexen mikrobiellen Prozesse im Pansen (Bracher et al. 2011). Dennoch zeigen verschiedene Studien, dass proteinreduzierte Milchviehrationen ohne Leistungseinbussen möglich sind, sofern

die Versorgung mit essenziellen Aminosäuren (AS) gesichert ist (Lee et al. 2012a; Wang et al. 2022).

Hier setzt das Konzept einer proteinreduzierten Ration mit gezielter Ergänzung limitierender AS an. Bei hochleistenden Milchkühen gelten Methionin und Lysin als limitierende AS und sind zudem derzeit die einzigen kommerziell verfügbaren pansengeschützten Vertreter (Häffner et al. 1998; NRC 2001). Pansengeschützte AS umgehen den mikrobiellen Abbau im Pansen und stehen der Kuh erst im Dünndarm zur Verfügung, wo sie enzymatisch abgebaut und über die Darmwand absorbiert werden können (Robinson 1996).

Bisherige Untersuchungen zeigen ein erhebliches Potenzial sogenannter *low protein diet with rumen-protected methionine and lysine*-Strategien zur Verbesserung der Stickstoffeffizienz, jedoch beruhen viele Resultate auf Kurzzeitversuchen, weshalb weiterhin Bedarf an Langzeitdaten besteht (Lee et al. 2012a; Wasem und Probst 2022). Ziel der vorliegenden Arbeit war es daher, im Rahmen einer langfristig angelegten Praxisstudie die Auswirkungen einer proteinreduzierten Milchviehration mit pansengeschütztem Methionin und Lysin auf Leistung, Ammoniakemissionen und Stickstoffeffizienz zu untersuchen.

Material und Methode

Versuchsbetriebe und Rationen

Im Zeitraum eines Jahres (01.05.2022 bis 30.04.2023) wurden auf zwei Betrieben Versuche mit proteinreduzierten Rationen durchgeführt: auf dem Betrieb Rütli in Zollikofen (Betrieb 1) und auf dem Wallierhof in Riedholz (Betrieb 2). In diesen Versuchen erhielt die Versuchsgruppe im Vergleich zur Kontrollgruppe eine proteinreduzierte Ration, während die Kontrollgruppe die betriebsübliche Ration erhielt. Das Angebot an verdaulichen AS wurde mit Hilfe von Tabellenwerten zum PDI-System berechnet (INRA 2012). Die Reduktion der Proteinzufuhr betrug rund 10 g Rohprotein pro kg TS. Die Ration wurde im Gegenzug mit 10 g pansenstabilem Methionin und 15 g pansenstabilem Lysin pro Tier und Tag ergänzt. Durch die gezielte Zufütterung pansenstabiler AS wurde dafür gesorgt, dass die Versorgung der Versuchstiere an verdaulichem Lysin und Methionin mindestens derjenigen der Kontrollration entsprach.

Betrieb 1

Der Betrieb umfasste 60 Milchkühe, die in einem Laufstall mit Liegeboxen gehalten wurden. Die Tiere wur-

Tab. 1 | Übersicht Futtermittel und Gehalte der Rationen im Versuch, dargestellt sind die Rationen für zweit- und höher laktierende Kühe der Start- und der Produktionsphase des Betriebs 1. Die Gehalte der Kontrollrationen befinden sich jeweils in der Spalte unter K, jene der Versuchsration unter V (LF = Leistungsfutter, PK = Proteinkonzentrat).

	Winterration				Sommerration			
	Start		Produktion		Start		Produktion	
Futtermittel kg TS/Tag	K	V	K	V	K	V	K	V
Emd	2,5		2,9					
Heu	3,2		3,6		5,0		5,8	
Maissilage	3,6		4,1		2,9		3,4	
GPS	2,7		3,1					
Luzerne	3,2		3,6					
ZR-Schnitzelsilage	1,2		1,3					
Speisekartoffeln	0,7		0,8					
Melasse	0,1		0,1		0,1		0,1	
Weizenstroh					0,4		0,4	
UFA 1217 TMR Biotin	0,1		0,1		0,1		0,2	
Viehsalz	0,1		0,1		0,1		0,1	
Futterkalk					0,05		0,1	
Frischgras					8,0		9,2	
UFA 242-4 LF	0,9				1,1			
UFA 249-4 PK	0,9		0,9		1,2		1,2	
Farmpack Lys & Met		0,1		0,1		0,1		0,1
Gehalte	K	V	K	V	K	V	K	V
TS-Verzehr kg	19,0	18,3	20,6	19,9	19,0	17,9	20,6	19,4
NEL MJ/kg TS	6,0	5,9	5,9	5,8	6,2	6,1	6,1	6,0
RP g/kg TS	155	143	151	139	160	141	155	137
RP g/Tag	2945	2617	3111	2766	3040	2523	3193	2658
APD g/kg TS	95	86	92	84	104	92	101	88
APD g/Tag	1805	1574	1895	1672	1976	1647	2061	1707
verdauliches Methionin g/Tag	34	39	32	37	38	42	40	43
verdauliches Lysin g/Tag	113	126	109	121	121	131	132	142

den zweimal täglich in einem Autotandem-Melkstand gemolken. Die durchschnittliche Milchleistung betrug 8500 kg pro Laktation. Die Fütterung erfolgte mittels Fütterungsroboter mit einer Totalmischration (TMR); das Kraftfutter wurde über zwei Kraftfutterstationen verabreicht. Die Sommer- und Winterration der Milchkühe sowie dessen Gehalte sind in Tabelle 1 zusammengefasst.

Betrieb 2

Der Betrieb umfasste 30 Milchkühe, die ebenfalls in einem Laufstall mit Liegeboxen gehalten wurden. Die durchschnittliche Milchleistung betrug 10000 kg pro Laktation. Die Tiere wurden über einen Melkroboter gemolken. Die Fütterung erfolgte ebenfalls über eine TMR, das Kraftfutter wurde über den Melkautomaten

zugeteilt. Die Sommer- und Winterration der Milchkühe sowie dessen Gehalte sind in Tabelle 2 zusammengefasst.

Versuchsaufbau und statistische Auswertung

Für diesen Versuch wurden zwei Gruppen gebildet: eine Kontrollgruppe und eine Versuchsgruppe. Pro Betrieb wurden die Kühe nach Laktationsnummer und -stadium gepaart, und in jedem Paar eine Kuh der Kontroll-, eine der Versuchsgruppe zugeteilt. Kühe, die während des Versuchs neu in Laktation kamen, wurden getrennt nach Laktationsnummer abwechselnd der Kontroll- beziehungsweise der Versuchsgruppe zugeteilt. Vor Beginn der Datenerhebung wurde eine Adaptationsphase von zwei bis drei Wochen durchgeführt. Die erhobenen Daten stammten aus den monatlichen Milchleistungs-

Tab. 2 | Übersicht Futtermittel und Gehalte der Rationen im Versuch, dargestellt sind die Rationen für zweit- und höher laktierende Kühe der Start- und der Produktionsphase des Betriebs 2. Die Gehalte der Kontrollrationen befinden sich jeweils in der Spalte unter K, jene der Versuchsration unter V (PK = Proteinkonzentrat).

	Winterration				Sommerration			
	Start		Produktion		Start		Produktion	
Futtermittel kg TS/Tag	K	V	K	V	K	V	K	V
Grassilage	4,5		5,7		4,7		5,8	
Maissilage	5,7		7,3		3,4		4,2	
Maissilage (ersetzt Mischballe)					3,4		4,2	
Maltztreber siliert	1,2		1,5					
Emd	3,6		4,5		2,2		2,7	
Heu					2,2		2,7	
Speisekartoffeln	0,6		0,8					
2362 PK					0,9		1,1	
5546 Mineralstoff	0,1		0,1		0,1		0,2	
Viehsalz	0,1		0,1		0,1		0,1	
2670 Mineralfuttermittel					0,2		0,2	
Omegalín	3,4		0,4		3,1		0,4	
2355 PK	1,8	1,1	1,9	1,3	0,7		0,9	
Farm-pack Lys & Met		0,1		0,1		0,1		0,1
Gehalte	K	V	K	V	K	V	K	V
TS-Verzehr kg	20,8	20,2	22,4	21,8	20,8	20,2	22,4	21,6
NEL MJ/kg TS	6,7	6,6	6,4	6,4	6,5	6,5	6,3	6,3
RP g/kg TS	161	151	152	144	152	142	147	135
RP g/Tag	3349	3050	3405	3139	3162	2868	3293	2916
APD g/kg TS	102	95	98	93	100	93	99	89
APD g/Tag	2122	1919	2195	2027	2080	1879	2218	1922
verdauliches Methionin g/Tag	39	46	40	48	39	46	35	42
verdauliches Lysin g/Tag	119	131	132	144	115	126	119	128

prüfungen (MLP). Untersucht wurden Milchmenge, Milchfettgehalt, Milcheiweissgehalt, Laktosegehalt, Harnstoffgehalt sowie Zellzahlen. Insgesamt wurden 109 Tiere und 820 MLP-Messungen berücksichtigt.

Die Daten der MLPs wurden mithilfe der Software R-Studio und dem Paket lmerTest (Kuznetsova *et al.* 2017) ausgewertet. Unvollständige Milchproben wurden von der statistischen Auswertung ausgeschlossen. Zur Auswertung wurde ein gemischtes lineares Modell mit fixen und zufälligen Effekten verwendet. In Tabelle 3 sind die lineare Modellgleichung und die Stufen der Kovariablen aufgelistet. Der Laktationstag wurde gemäss Ali und Schaeffer (1987) modelliert, um die Laktationskurve abzubilden, dabei wurden nur die Laktationstage 6 bis 305 für die Auswertung berücksichtigt. Zur Prüfung der Modellvoraussetzungen wurden diagnostische Plots

verwendet. Für die vorliegenden Modellgleichungen wurden die Voraussetzungen (Normalverteilung und Varianzgleichheit der Residuen) erfüllt. Einzig die Daten der Zellzahlen mussten vor der Auswertung logarithmiert werden, dafür wurde der natürliche Logarithmus verwendet.

Bestimmung der Stickstoff-Effizienz

Die scheinbare Stickstoffeffizienz wurde als Verhältnis zwischen der Milcheiweissmenge (berechnet aus Milchleistung und Milcheiweissgehalt) und der Eiweissaufnahme (berechnet aus Rohproteingehalt der Ration und TS-Verzehr) bestimmt. Der TS-Verzehr wurde gemäss Münger *et al.* (2021) geschätzt. Die Umrechnung der Rohproteingehalte in Stickstoff erfolgte mittels dem Faktor 6,25.

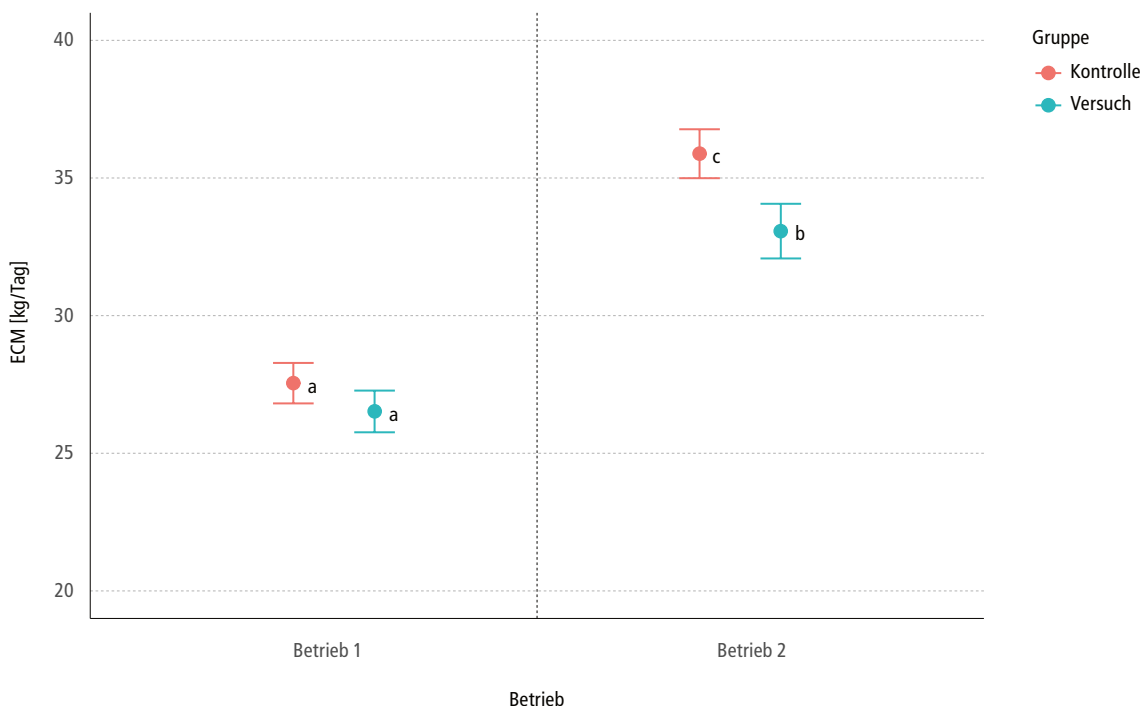
Tab. 3 | Modellgleichungen des gemischten linearen Modells inkl. Stufen der verwendeten Kovariablen

Modellgleichung und Stufen der Kovariablen	
$Y_{ijklmn} = u + \text{Tier}_i + \text{Betrieb}_j + \text{Gruppe}_k + \text{LaktGr}_l + \text{Laktationstag}_m + \text{Monat}_n + (\text{Betrieb} \times \text{Gruppe})_{jk} + (\text{Betrieb} \times \text{Laktationstag})_{jm} + (\text{Gruppe} \times \text{Laktationstag})_{km} + \text{Rest}_{ijklmn}$	
Stufen der Kovariablen:	
Y_{ijklmn}	Zielvariable: Milchmenge (kg/Tag), Fettgehalt (%), usw.
u	Gesamtdurchschnitt der Zielvariable
Tier_i	Einfluss des Einzeltieres – zufällig → $i = 1$ bis 109
Betrieb_j	Einfluss des Betriebes – fix → $j = 1$ bis 2 wobei 1 = Betrieb 1, 2 = Betrieb 2
Gruppe_k	Einfluss der Gruppe – fix → $k = 1$ bis 2 wobei 1 = Kontrolle, 2 = Versuch
LaktGr_l	Einfluss der Laktationsnummer – fix → $l = 1$ bis 4 wobei 1 = 1. Laktation, 2 = 2. Laktation, 3 = 3. Laktation, 4 = 4.–11. Laktation
Laktationstag_m	Einfluss der Laktationstage (LT) – kontinuierlich modelliert mit der Formel $(\text{LT}/305) + (\text{LT}/305)^2 + \ln(305/\text{LT}) + (\ln(305/\text{LT}))^2$ min = 6, max = 305
Monat_n	Einfluss des Monats der Milchkontrolle – fix → $n = 1$ bis 12 Wobei 1 = Januar, 2 = Februar, 3 = März, usw.
Rest_{ijklmn}	Resteffekt – zufällig

Resultate und Diskussion

Einfluss der Proteinreduktion auf die Leistung

Bei der energiekorrigierten Milchleistung (ECM) wurde auf Betrieb 2 eine signifikante Differenz festgestellt. Die proteinreduzierte Ration führte dort zu einer Abnahme von 2,8 kg ECM pro Tag (Abb. 1). Eine vergleichbare Tendenz wurde auch in anderen Studien beobachtet: Broderick (2003) berichtete von einer Verringerung der fettkorrigierten Milchleistung (FCM) um bis zu 1,2 kg pro Tag, während Lee *et al.* (2012b) eine Abnahme von bis zu 2,2 kg FCM feststellten. Auf Betrieb 1 wurde ebenfalls eine Reduktion von etwa 1 kg ECM pro Tag festgestellt, diese war jedoch nicht signifikant und deckt sich mit früheren Ergebnissen von Wasem und Probst (2022). Hinsichtlich der Fettgehalte, der Fettmenge sowie der Proteingehalte konnten keine signifikanten Unterschiede festgestellt werden (Tab. 4). Die Rohproteinmenge (kg/Tag) war jedoch auf Betrieb 2 bei der proteinarmen Ration signifikant niedriger, während auf Betrieb 1 keine entsprechende Differenz festgestellt werden konnte. In dieser Studie zeigten sich Unterschiede in der Milchleistung zwischen den beiden Gruppen. Ein Rückgang der Leistung kann auftreten, wenn eine essenzielle AS fehlt; die Proteinsynthese wird dann pausiert (Häffner *et al.* 1998). Trotz der Ergänzung von Methionin und

**Abb. 1 | Vergleich der Milchleistung der beiden Betriebe. Modellmittelwerte $\pm$ Standardfehler der Milchleistung in kg ECM pro Tier und Tag. Werte ohne gemeinsamen Buchstaben unterscheiden sich signifikant ($p < 0,05$).**

Tab. 4 | Ergebnisse einer proteinreduzierten Milchviehfütterung auf die Milchleistungsparameter, Modellmittelwert $\pm$ Standardfehler

	Betrieb 1		Betrieb 2	
	Kontrolle	Versuch	Kontrolle	Versuch
Milch [kg/Tag]	26,9 ^a $\pm$ 0,9	25,3 ^a $\pm$ 0,9	35,7 ^c $\pm$ 1,0	32,1 ^b $\pm$ 1,1
Fett [%]	4,22 ^a $\pm$ 0,10	4,42 ^a $\pm$ 0,11	4,15 ^a $\pm$ 0,13	4,23 ^a $\pm$ 0,14
Fett [kg/Tag]	1,12 ^a $\pm$ 0,03	1,10 ^a $\pm$ 0,03	1,44 ^b $\pm$ 0,04	1,36 ^b $\pm$ 0,05
Eiweiss [%]	3,47 ^{bc} $\pm$ 0,05	3,54 ^c $\pm$ 0,05	3,26 ^a $\pm$ 0,06	3,31 ^{ab} $\pm$ 0,06
Eiweiss [kg/Tag]	0,93 ^a $\pm$ 0,02	0,89 ^a $\pm$ 0,02	1,15 ^c $\pm$ 0,03	1,07 ^b $\pm$ 0,03
Lactose [%]	4,74 ^a $\pm$ 0,02	4,69 ^a $\pm$ 0,02	4,90 ^b $\pm$ 0,02	4,93 ^b $\pm$ 0,03
Zellzahl [1000/ml]	81 ^b $\pm$ 13	82 ^b $\pm$ 13	69 ^b $\pm$ 13	42 ^a $\pm$ 9

^{a, b} Werte innerhalb einer Zeile ohne gemeinsamen Buchstaben unterscheiden sich signifikant ($p < 0,05$)

Lysin könnte eine andere AS, wie beispielsweise Histidin, limitierend gewesen sein (Korhonen *et al.* 2000). Diese ist besonders in rationsreichen Grassilagen und proteinarmen Rationen häufig erstlimitierend (Kim *et al.* 1999). Dies könnte die beobachtete Leistungsabnahme im Betrieb 2 erklären. Im Gegensatz dazu wurde im Betrieb 1 keine signifikante Leistungsabnahme festgestellt, was darauf hindeutet, dass der AS-Bedarf der Kühe trotz reduzierten Rohproteingehalts gedeckt oder nur knapp limitiert war.

Bezüglich der produzierten Proteinmenge zeigte sich im Betrieb 2 in der Versuchsgruppe eine signifikante Abnahme, die hauptsächlich auf die geringere Milch-

leistung zurückzuführen war, da der Proteingehalt der Milch unverändert blieb. Eine reduzierte Versorgung mit absorbierbaren AS im Darm könnte hierfür verantwortlich gewesen sein. Mögliche Ursache war eine verringerte mikrobielle Proteinsynthese im Pansen, die durch ein unzureichendes Angebot an stickstoffhaltigen Verbindungen für das Wachstum der Mikroorganismen bedingt war und letztlich die gesamte Proteinproduktion begrenzte (Guidon 1989; Arriaga *et al.* 2010).

Einfluss der Proteinreduktion auf die NH₃-Emissionen

Beim Milchharnstoffgehalt wurden signifikante Unterschiede zwischen den Gruppen festgestellt (Abb. 2). Auf

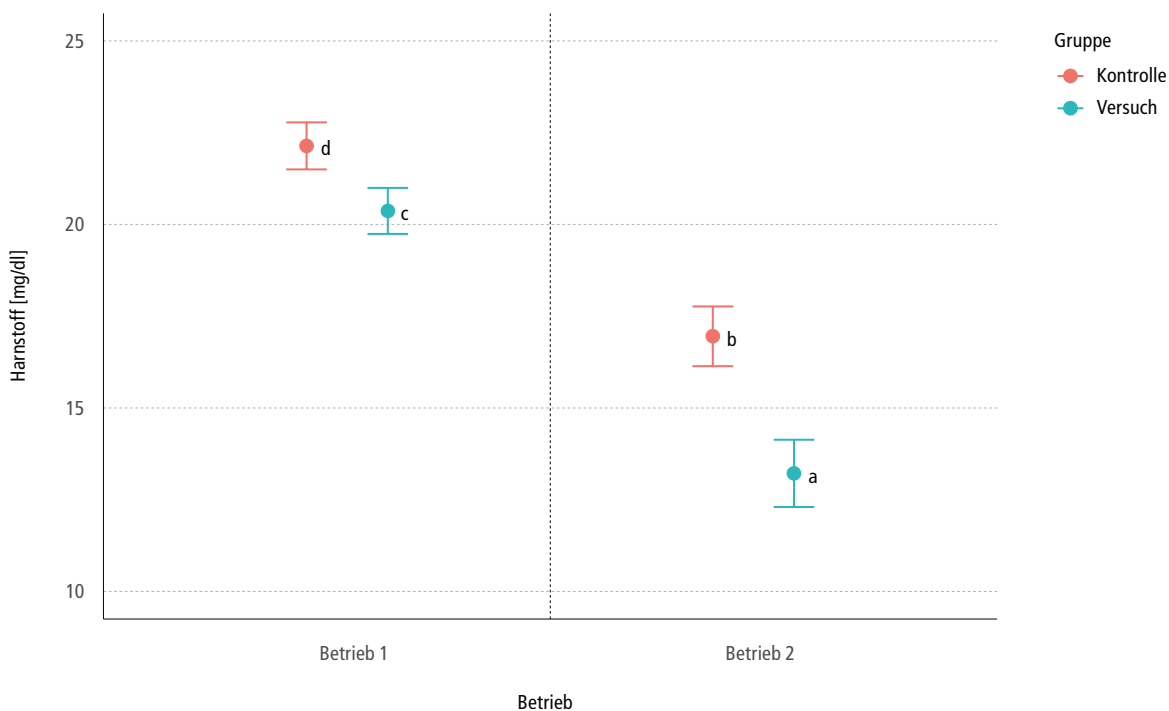


Abb. 2 | Vergleich der Harnstoffgehalte der beiden Betriebe. Modellmittelwerte $\pm$ Standardfehler des Harnstoffgehaltes. Werte ohne gemeinsamen Buchstaben unterscheiden sich signifikant ($p < 0,05$).

Tab. 5 | Berechnung der Reduktion der Ammoniakemissionen anhand der Milchwahstoffgehalte

	Betrieb 1		Betrieb 2	
	Kontrolle	Versuch	Kontrolle	Versuch
Harnstoffgehalt [mg/dl]	22,1	20,4	17,0	13,2
NH ₃ -Emissionen (Burgos <i>et al.</i> 2010) [g/Tier und Tag]	77	73	65	56
Reduktion NH ₃ -Emissionen [%]	5,2		13,8	
Differenz Harnstoffgehalt Kontrolle-Versuch [mg/dl]	1,7		3,8	
Reduktion NH ₃ -Emissionen (van Duinkeren <i>et al.</i> 2011) [%]	4,3		9,5	

Betrieb 1 zeigte sich eine Abnahme von 1,7 mg/dl zwischen der Kontroll- und der Versuchsgruppe, während auf Betrieb 2 eine Reduktion von 3,8 mg/dl beobachtet wurde.

Insbesondere führte die proteinreduzierte Fütterung in Kombination mit pansenstabilen AS zu tieferen Milchwahstoffwerten, was mit Ergebnissen früherer Studien übereinstimmt (Wang *et al.* 2022; Wasem und Probst 2022). Aufgrund der positiven Korrelation zwischen dem Harnstoffgehalt der Milch und demjenigen des Urins lässt sich ableiten, dass eine Reduktion des Milchwahstoffgehalts mit einer verminderten N-Ausscheidung

im Urin einhergeht, was wiederum zu einer geringeren Ammoniakbildung beitragen kann (Bracher *et al.* 2011; Decker *et al.* 2021). Allerdings sind die Milchwahstoffgehalte in den ersten sechs Laktationswochen mit Vorsicht zu interpretieren, da zu Laktationsbeginn starke Schwankungen infolge negativer Energie- und Stickstoffbilanzen auftreten können (Wattiaux *et al.* 2005; Bracher *et al.* 2011). Da in dieser Arbeit überwiegend Daten aus der Produktionsphase verwendet wurden, ist davon auszugehen, dass diese frühen Schwankungen das Gesamtergebnis nur gering beeinflusst haben.

Burgos *et al.* (2010) schlagen in ihrer Studie eine Berechnung zur Schätzung der NH₃-Emissionen pro Tier und Tag anhand des Milchwahstoff-Stickstoffgehalts vor. Nach der Umrechnung der vorliegenden Milchwahstoffgehalte in Milchwahstoff-Stickstoff (MUN) wurden die NH₃-Emissionen gemäss der Formel $25,0 + 5,03 \times \text{MUN}$ (mg/dL) berechnet. Die Formel weist ein Bestimmtheitsmass von 0,85 auf. Für die vorliegende Studie ergeben sich Werte für die NH₃-Emissionen zwischen 56 und 77 g pro Tier und Tag, was einer Reduktion der Emissionen von 5,2 bis 13,8 % entspricht (Tab. 5). Eine weitere Studie beschreibt eine alternative Methode zur Abschätzung der Ammoniakemissionen: Demnach führt eine Verringerung des Milchwahstoffgehalts um 1 mg/dl bei einem Milchwahstoffgehalt von 20 mg/dl zu einer Senkung der

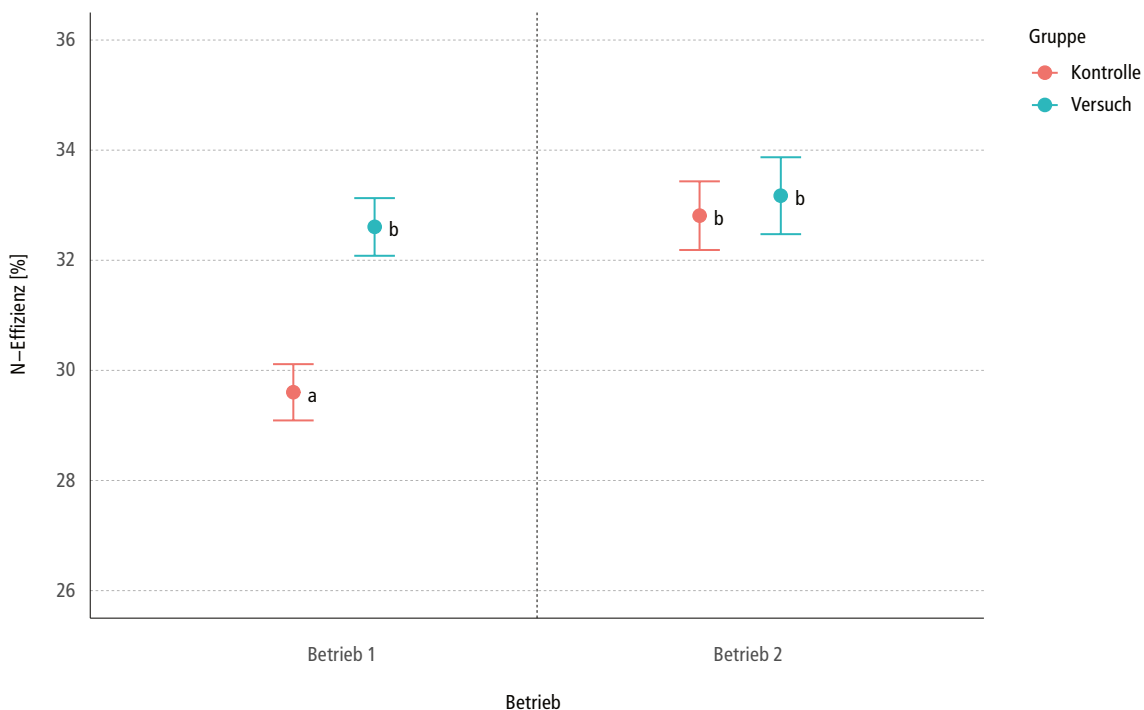


Abb. 3 | Vergleich der Stickstoff (N)-Effizienz der beiden Betriebe. Modellmittelwerte $\pm$ Standardfehler der N-Effizienz. Werte ohne gemeinsamen Buchstaben unterscheiden sich signifikant ($p < 0,05$).

NH₃-Emissionen um 2,5 % (Van Duinkerken *et al.* 2011). Dies entspricht bei den beobachteten Harnstoffgehalten einer Emissionsminderung von 4,3 bis 9,5 % (Tab. 5). Die mit beiden Methoden berechneten Emissionsminderungen liegen somit in einer vergleichbaren Größenordnung, wobei die nach Burgos *et al.* (2010) geschätzten Reduktionen tendenziell etwas höher ausfallen.

Die geringere Reduktion der NH₃-Emissionen in Betrieb 1 könnte durch Unterschiede in der Fütterung erklärt werden. Einerseits führte die Sommerweide zu einer zusätzlichen Stickstoffaufnahme über das Weidegras, was die Stickstoffausscheidungen erhöhen kann (Almeida *et al.* 2020). Zudem ist die Aufnahme an Weidegras von Tier zu Tier uneinheitlich und die Ausscheidungen dadurch sehr variabel. Andererseits wurde in Betrieb 1 im Winter Luzerne eingesetzt; da Luzerne reich an schnell abbaubarem Rohprotein ist, kann dies die Stickstoffverwertung im Pansen beeinflussen und zu höheren Stickstoffverlusten führen (Scoresby *et al.* 2025).

Aufgrund der geringeren Stickstoffaufnahme bei vergleichbarer Milchleistung deuteten die Ergebnisse dieser Arbeit auf eine verbesserte Stickstoffeffizienz in den Versuchsgruppen hin. Eine signifikante Verbesserung der Stickstoffeffizienz wurde jedoch nur im Betrieb 1 festgestellt. Die modellierten Mittelwerte der Stickstoffeffizienz stiegen in den Versuchsgruppen der beiden Betriebe im Vergleich zu den Kontrollgruppen um 3,0 % bzw. 0,4 % (Abb. 3).

Im Vergleich konnte in einer ähnlichen Studie eine deutlich stärkere Verbesserung der Stickstoffeffizienz durch proteinreduzierte Rationen erzielt werden. Frank *et al.* (2002) steigerten die Effizienz von 29 % auf 39 %. In die-

ser Studie wurde der Rohproteingehalt der Ration jedoch um 50 g/kg reduziert, während er im vorliegenden Versuch nur um 10 g/kg gesenkt wurde. Die geringere Zunahme der Effizienz lässt sich daher durch die schwächere Reduktion des Rohproteingehalts sowie durch die zusätzliche Versorgung mit pansenstabilen AS erklären. Die geringere Verbesserung der Stickstoffeffizienz in Betrieb 2 ist darauf zurückzuführen, dass dort die Milchproteinleistung stärker zurückging. Die Reduktion der Proteinaufnahme führte daher nicht zu einer entsprechenden Verbesserung der Stickstoffeffizienz, da die verringerte Stickstoffzufuhr durch eine geringere Proteinproduktion ausgeglichen wurde.

Schlussfolgerungen

- In dieser Studie führte eine längerfristige proteinreduzierte Fütterung in Kombination mit pansengeschütztem Lysin und Methionin zu niedrigeren Milchlarnstoffgehalten und dadurch tieferen Stickstoffausscheidungen.
- Diese Fütterungsstrategie trägt zur Reduktion von Ammoniakemissionen bei und zeigt damit prinzipiell ein Potenzial zur Verringerung der Umweltbelastung in der Milchviehhaltung.
- Unter Praxisbedingungen kann eine längerfristige Proteinreduktion der Ration jedoch mit Einbußen in der Milch- und Proteinleistung verbunden sein.
- Die Einbeziehung weiterer limitierender Aminosäuren, insbesondere Histidin, in zukünftigen Untersuchungen erscheint notwendig. ■

Literatur

- Ali TE, Schaeffer LR, 1987. Accounting for covariances among test day milk yields in dairy cows. *Can J Anim Sci*, **67**, 637–644. <https://doi.org/10.4141/cjas87-067>
- Almeida JGR, Dall-Orsoletta AC, Oziembowski MM, Michelon GM, Bayer C, Edouard N, Ribeiro-Filho HMN, 2020. Carbohydrate-rich supplements can improve nitrogen use efficiency and mitigate nitrogenous gas emissions from the excreta of dairy cows grazing temperate grass. *Animal*, **14** (6), 1184–1195. <https://doi.org/10.1017/S1751731119003057>
- Arriaga H, Salcedo G, Martínez-Suller L, Calsamiglia S, Merino P, 2010. Effect of dietary crude protein modification on ammonia and nitrous oxide concentration on a tie-stall dairy barn floor. *Journal of Dairy Science*, **93** (7), 3158–3165. <https://doi.org/10.3168/jds.2009-2906>
- Bracher A, Schlegel P, Mürger A, Stoll W, Menzi H, 2011. Möglichkeiten zur Reduktion von Ammoniak-Emissionen durch Fütterungsmassnahmen beim Rindvieh (Milchkuh). Schweizerische Hochschule für Landwirtschaft (SHL) und Agroscope Liebefeld-Posieux (ALP). <https://ira.agroscope.ch/de-CH/publication/30349>
- Broderick GA, 2003. Effects of Varying Dietary Protein and Energy Levels on the Production of Lactating Dairy Cows. *Journal of Dairy Science*, **86** (4), 1370–1381. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(03\)73721-7](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(03)73721-7)
- Burgos SA, Embertson NM, Zhao Y, Mitloehner FM, DePeters EJ, Fadel JG, 2010. Prediction of ammonia emission from dairy cattle manure based on milk urea nitrogen: Relation of milk urea nitrogen to ammonia emissions. *Journal of Dairy Science*, **93** (6), 2377–2386. <https://doi.org/10.3168/jds.2009-2415>
- Decker A, Zähler M, Dohme-Meier F, Böttger C, Mürger A, Heimo D, Schrader S, 2021. Milchlarnstoffgehalt: Was sagt er über die Stickstoffausscheidungen aus? *Agrarforschung Schweiz*, **12**, 137–145. <https://doi.org/10.34776/AFS12-137>
- Frank B, Persson M, Gustafsson G, 2002. Feeding dairy cows for decreased ammonia emission. *Livestock Production Science*, **76** (1–2), 171–179. [https://doi.org/10.1016/S0301-6226\(02\)00021-0](https://doi.org/10.1016/S0301-6226(02)00021-0)
- Guidon D, 1989. Die Proteinversorgung der Kuh bei Laktationsbeginn. ETH Zurich. <https://doi.org/10.3929/ETHZ-A-000538637>

- Häffner J, Kahrs D, Limper J, de Mol J, Peisker M, 1998. Aminosäuren in der Tierernährung. 61 p. (Agrimedia). https://swisscovery.bfh.ch/permalink/41SLSP_BFH/1qvjr7/alma990041615790205513
- INRA (Institut national de la recherche agronomique), 2012. Alimentation des bovins, ovins et caprins. Besoins des animaux, valeurs des aliments (Tables INRA 2007, mise à jour 2010). (Quae). Versailles.
- Jonker JS, Kohn RA, Erdman RA, 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)
- Kebreab E, France J, Mills JAN, 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 environment1. *Journal of Animal Science*, **80** (1), 248–259. <https://doi.org/10.2527/2002.801248x>
- Kim C-H, Choung J-J, Chamberlain DG, 1999. Determination of the first-limiting amino acid for milk production in dairy cows consuming a diet of grass silage and a cereal-based supplement containing feather meal. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, **79** (12), 1703–1708. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1097-0010\(199909\)79:12%3C1703::AID-JSFA424%3E3.0.CO;2-5](https://doi.org/10.1002/(SICI)1097-0010(199909)79:12%3C1703::AID-JSFA424%3E3.0.CO;2-5)
- Korhonen M, Vanhatalo A, Varvikko T, Huhtanen P, 2000. Responses to Graded Postruminal Doses of Histidine in Dairy Cows Fed Grass Silage Diets. *Journal of Dairy Science*, **83** (11), 2596–2608. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(00\)75153-8](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(00)75153-8)
- Kupper T, Häni C, Bretscher D, Zaucker F, 2022. Ammoniakemissionen der schweizerischen Landwirtschaft 1990 bis 2020. Hochschule für Agrar-, Forst- und Lebensmittelwissenschaften (HAFL), Agroscope Zürich, Oetiker+Partner AG Im Auftrag des Bundesamts für Umwelt (BAFU), Abteilung Luftreinhaltung und Chemikalien, Sektion Luftqualität, 104.
- Kuznetsova A, Brockhoff P, Christensen R, 2017. lmerTest Package: Tests in Linear Mixed Effects Models. *Journal of Statistical Software*, **82** (13). <https://www.jst-atsoft.org/article/view/v082i13>
- Lee C, Hristov AN, Cassidy TW, Heyler KS, Lapierre H, Varga GA, De Veth MJ, Patton RA, Parys C, 2012a. Rumen-protected lysine, methionine, and histidine increase milk protein yield in dairy cows fed a metabolizable protein-deficient diet. *Journal of Dairy Science*, **95** (10), 6042–6056. <https://doi.org/10.3168/jds.2012-5581>
- Lee C, Hristov AN, Heyler KS, Cassidy TW, Lapierre H, Varga GA, Parys C, 2012b. Effects of metabolizable protein supply and amino acid supplementation on nitrogen utilization, milk production, and ammonia emissions from manure in dairy cows. *Journal of Dairy Science*, **95** (9), 5253–5268. <https://doi.org/10.3168/jds.2012-5366>
- Mürger A, Schori F, Schlegel P, 2021. Fütterungsempfehlungen für die Milchkuh. Kapitel 7. In: Posieux Agroscope (Hg): Fütterungsempfehlungen für Wiederkäuer (Grünes Buch).
- NRC (National Research Council), 2001. Nutrient Requirements of Dairy Cattle, seventh rev. National Academy of Sciences.
- Robinson PH, 1996. Rumen protected amino acids for dairy cattle: what is the future? *Animal Feed Science and Technology*, **59** (1–3), 81–86. [https://doi.org/10.1016/0377-8401\(95\)00889-6](https://doi.org/10.1016/0377-8401(95)00889-6)
- Sajeev EPM, 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>
- Scoresby D, Teixeira IAMA, Chahine M, 2025. Effects of Corn Silage and Alfalfa Hay on Production and Nitrogen Excretion in Lactating Dairy Cows. *Nitrogen*, **6** (2), 43. <https://doi.org/10.3390/nitrogen6020043>
- Van Duinkerken G, Smits MCJ, André G, Šebek LBJ, 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>
- Wang M, Li Y, Yang Z, Shen Y, Cao Y, Li Q, Gao Y, Li J, 2022. Effects of rumen-protected lysine and methionine supplementation in low-crude protein diets on lactation performance, nitrogen metabolism, rumen fermentation, and blood metabolites in Holstein cows. *Animal Feed Science and Technology*, **292**, 115427. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2022.115427>
- Wasem D, Probst S, 2022. Proteinreduzierte Fütterung von Milchkühen bei gezielter Ergänzung mit Aminosäuren. *Agrarforschung Schweiz*, **13**, 41–47. <https://doi.org/10.34776/AFS13-41>
- Wattiaux MA, Nordheim EV, Crump P, 2005. Statistical Evaluation of Factors and Interactions Affecting Dairy Herd Improvement Milk Urea Nitrogen in Commercial Midwest Dairy Herds. *Journal of Dairy Science*, **88** (8), 3020–3035. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(05\)72982-9](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(05)72982-9)