

Proteinreduzierte Fütterung von Milchkühen bei gezielter Ergänzung mit Aminosäuren

Daniela Wasem 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/afs13-41> Publikationsdatum: 12. April 2022



Eine tiefere Proteinzufuhr zur Reduktion der Ammoniakemissionen ist auch in der Milchviehfütterung möglich. (Foto: Countrypixel, Adobe Stock)

Zusammenfassung

Um die Reduktionsziele betreffend Stickstoffverluste erreichen zu können, ist die gesamte Landwirtschaft und insbesondere die Tierproduktion gefordert. Optimierungen in der Fütterung sind dabei besonders effektiv, da über eine Reduktion des Nährstoffeintrages automatisch das Potential für Verluste entlang der gesamten Produktionskette gesenkt werden kann. In der praktischen Milchviehfütterung wird eine proteinreduzierte Fütterung bisher jedoch kaum angewendet. Als Pilotversuch wurden in zwei Praxisbetrieben während zwei Winterfütterungsperioden die Auswirkungen von proteinreduzierten Rationen untersucht. Dabei wurde in Crossover-Versuchen jeweils eine Versuchsgruppe (V) einer Kontrollgruppe (K) gegenübergestellt. In den Versuchsgruppen wurde der Proteingehalt um rund 10g/kg TS reduziert und die Rationen mit pansengeschützten Aminosäuren ergänzt, so dass die Menge an verdaulichem Lysin und Methionin mindestens der Menge in der Ration der Kontrollgruppe entsprach. Es wurde kein signifikanter Effekt auf die energiekorrigier-

te Milchmenge und die Milchlaktose- und Milchproteingehalte festgestellt. Bei einem Durchgang lag die tägliche Milchproteinmenge in der Versuchsgruppe um 0,05 kg tiefer ($p < 0,05$). In allen Versuchsgruppen konnten signifikant tiefere Milchlaktosegehalte ($-3,2$ bis $-4,6$ mg Harnstoff pro dl Milch) im Vergleich zur Kontrollgruppe beobachtet werden. Aufgrund der Korrelation zwischen Milchlaktosegehalt und Stickstoffausscheidung bzw. Ammoniakemissionen konnte somit ein positiver Effekt der proteinreduzierten Rationen auf die Umweltwirkung erwartet werden. In Übereinstimmung mit den Ergebnissen anderer Studien kann gefolgert werden, dass eine Reduktion der Proteinzufuhr in der Milchviehfütterung bei gezieltem Ausgleich mit pansengeschützten Aminosäuren ohne Milchleistungseinbußen möglich ist. Ein Reduktionspotential von 10 % bei den Ammoniakemissionen scheint dabei realistisch zu sein.

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

Einleitung

In der Schweinefütterung wird seit Jahren stickstoff- und phosphorreduziertes (NPr) Futter eingesetzt. Die Anpassung des Proteinbedarfes an die verschiedenen Mastphasen (Phasenfütterung) erlaubt eine Reduktion der Proteingehalte im Mastfutter. Dabei ermöglicht der Einsatz von synthetischen Aminosäuren (AS) eine bedarfsgerechte Proteinversorgung (Panetta *et al.* 2006). Dank der Senkung des Proteingehaltes in der Ration kann der Input von Stickstoff (N) ins landwirtschaftliche Gesamtsystem und damit die N-Emissionen verringert werden (Arriaga *et al.* 2010).

Einige Untersuchungen zeigen, dass es auch in der Milchviehfütterung Potential gibt, die N-Emissionen zu vermindern (Arriaga *et al.* 2010; Sajeev *et al.* 2018). In einer Metaanalyse konnte ein signifikanter Zusammenhang zwischen Rohproteinreduktion in der Ration, Emissionen aus Ammoniak und Ammoniakstickstoff in den Exkrementen aufgezeigt werden (Sajeev *et al.* 2018). Durchschnittlich führten die Rationsanpassungen zu einer Reduktion der NH₃-Emissionen von 17 ± 6 % pro Prozentpunkt Rohproteineinsparung in der Ration.

Das Potential zur Verminderung von N-Emissionen durch Anpassungen des Proteingehaltes im Futter wird beim Rindvieh gar höher eingeschätzt als bei den Schweinen (Sajeev *et al.* 2018). Als Hauptgrund wird genannt, dass in der Schweinefütterung bereits mehr Aufwand zur Optimierung der Fütterung betrieben worden sei. Zudem ermöglicht die spezielle Physiologie der Wiederkäuer einen sehr effizienten Umgang mit Stickstoff in Zeiten einer verminderten Aufnahme (Sajeev *et al.* 2018).

Die konkrete Umsetzung der Proteinreduktion und Ergänzung mit AS gestaltet sich beim Wiederkäuer aufgrund des Vormagensystems und dem dadurch komplexeren Proteinstoffwechsel deutlich anspruchsvoller als bei monogastrischen Nutztieren (Bracher *et al.* 2011). Da N-haltige Substanzen im Pansen ab- und umgebaut werden, erschwert sich die Berechnung der Zufuhr an einzelnen AS (Bracher *et al.* 2011). Gleichzeitig ist auch der Bedarf schwieriger zu beurteilen. Die im Dünndarm absorbierten Aminosäuren werden zum Aufbau von Milchprotein oder Körpersubstanz eingesetzt (Oldham 1984). Bei einem Mangel an Propionat und Lactat als Substrat für die Gluconeogenese werden vermehrt auch Aminosäuren zur Glucose-Synthese herangezogen (Flachowsky *et al.* 2009). Der Bedarf an glucoplastischen AS ist deshalb besonders in katabolen Stoffwechsellagen erhöht. Dieser Umstand führt dazu, dass die Bedarfsbestimmung an AS immer gewissen Schätzungen unterworfen ist.

Um die Umweltziele im Bereich Stickstoffemissionen erreichen zu können, sind Massnahmen auf allen Stufen der Tierproduktion notwendig. «Begin-of-Pipe»-Massnahmen, welche zu einer Reduktion des N-Inputs ins landwirtschaftliche System führen, sind dabei besonders wirkungsvoll (Sajeev *et al.* 2018). Vor diesem Hintergrund wurde in der vorliegenden Arbeit der Einfluss von proteinreduzierten und mit pansengeschützten AS ergänzten Milchviehrationen auf die Leistung von Milchkühen in der Praxis untersucht.

Material und Methode

Versuchsbetriebe und Rationen

Während zweier Winterfütterungsperioden wurden auf dem Landwirtschaftsbetrieb Rütli in Zollikofen und dem Gutsbetrieb Wallierhof in Riedholz Versuche mit proteinreduzierten Rationen durchgeführt. In Cross-over-Versuchen wurde dabei jeweils der Versuchsgruppe eine im Vergleich zur Kontrollgruppe proteinreduzierte Ration vorgelegt. Die Beurteilung der Aminosäurenversorgung erfolgte mithilfe des ergänzten PDI-Systems des Institut national de la recherche agronomique (INRA) (INRA 2018). Die Gehalte für LysDi und MetDi (in % des APD) wurden aus den Futtermitteltabellen der INRA übernommen (INRA 2018).

Die Grundration wurde für die Versuchs- und Kontrollgruppe identisch zusammengesetzt. Die Reduktion der Proteinzufuhr erfolgte über eine Kürzung des Proteinkonzentrates. Um einen identischen Kraftfuttermittelverzehr zu gewährleisten, wurde in der Versuchsgruppe das wegfallende Proteinkonzentrat mit Leistungsfutter ersetzt. Weiter wurden der Ration der Versuchsgruppe die Aminosäuren Lysin (Lys) und Methionin (Met) in pansengeschützter Form zugesetzt. Die Dosierung der zugesetzten Aminosäuren wurde so gewählt, dass die Menge an verdaulichem Lysin (LysDi) und verdaulichem Methionin (MetDi) mindestens den Mengen in der Kontrollration entsprachen. Die Zusammensetzung der Grundration sowie deren Gehalte sind für zweit- und höherlaktierende Kühe in der Produktionsphase in Tabelle 1 aufgeführt. Kühe, deren Milchleistung das MPP der Grundration überstieg, erhielten in beiden Gruppen zusätzlich Leistungsfutter.

Beide Herden wurden in Boxenlaufställen gehalten, auf dem Wallierhof wurde ein automatisches Melksystem eingesetzt, während die Kühe auf dem Betrieb Rütli im Melkstand gemolken wurden. Das Milchleistungsniveau

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

Futtermittel kg TS/Tag	Rütti 19/20	Rütti 20/21	Wallierhof 19/20	Wallierhof 20/21
Maissilage	5,6	5,4	6,6	7,3
Grassilage	5,0		6,6	5,8
Heu	3,7	4,5		
Emd	3,2	8,6	2,3	4,0
Luzerne			2,2	
Stroh		0,4		
Kartoffeln	1,4	0,9		1,3
ZR-Schnitzel			1,8	
Malztreber siliert				1,4
Melasse	0,1	0,1		
Gerstenkörner	0,9			
Kraftfutter PAF + LF	1,5	1,7	4,5	3,5
Futterharnstoff			0,1	
Mineralstoffe	0,3	0,3	0,3	0,3

Gehalte	K	V	K	V	K	V	K	V
TS-Verzehr kg	21,7		21,9		24,4		23,6	
NEL MJ/kg TS	6,1	6,1	6,0	6,0	6,7	6,7	6,6	6,6
APDE g/kg TS	86	82	93	87	112	108	101	95
APDN g/kg TS	98	90	100	90	114	108	113	106
Rohprotein g/kg TS	152	141	151	139	168	160	170	160
LysDi g/Tag	123,2	128,9	133,4	136,4	167,0	188,7	136,9	145,5
MetDi g/Tag	34,6	39,1	39,2	40,0	49,5	57,1	46,1	48,9
LysDi % des APDE	6,75	7,35	6,65	7,24	6,20	7,31	5,82	6,59
MetDi % des APDE	1,90	2,23	1,95	2,12	1,84	2,21	1,96	2,21

auf dem Betrieb Rütti lag 2019/2020 bei durchschnittlich 8200 kg bei 4,01 % Fett und 3,39 % Eiweiss. Für den Wallierhof lag der Durchschnitt bei 9100 kg Milch bei 4,16 % Fett und 3,41 % Eiweiss.

Versuchsaufbau und statistische Auswertung

Für den Crossover-Versuch wurde die Herde unter Berücksichtigung des Laktationsstadiums und der -nummer in zwei gleich grosse Gruppen aufgeteilt. Während drei Wochen wurde den Tieren entsprechend ihrer Gruppenzuteilung die Kontroll- resp. Versuchsration verfüttert. Im Anschluss an die dreiwöchige Adaptationsphase wurde während sieben Tagen die tägliche Milchmenge erhoben und am letzten Tag wurden im Rahmen der monatlichen Milchleistungsprüfung Milchproben entnommen. Untersucht wurde der Fett-, Protein-, Harnstoff- und Lactosegehalt sowie die Zellzahlen. Direkt anschliessend wurden die Gruppen getauscht. Tiere, welche zuerst in der Kontrollgruppe waren, bekamen die Versuchsration vorgelegt und umgekehrt. Erneut folgte eine Adaptationszeit von drei Wochen sowie die Erhebung der täglichen Milchmenge in den darauffolgenden sieben Tagen mit Milchprobenahme am letz-

ten Versuchstag. Für die Auswertung der Milchmenge wurde das arithmetische Mittel der sieben erhobenen Tagesmilchmengen verwendet. Die Umrechnung der erhobenen Milchmenge in energiekorrigierte Milch (ECM) erfolgte gemäss Münger *et al.* (2021). Ausgewertet wurden nur Daten von Tieren mit vollständigem Datensatz. Im Winter 2020 konnten auf dem Betrieb Rütti 47 und auf dem Wallierhof 23 Tiere in den Versuch einbezogen werden. Für den Versuch 2021 konnten die Daten von 53 (Rütti) bzw. 18 (Wallierhof) Kühen ausgewertet werden. Die statistische Auswertung erfolgte mit der Software R und dem Paket ImerTest (Kuznetsova *et al.* 2017) in einem gemischten linearen Modell mit zufälligen und fixen Effekten. In Tabelle 2 ist die finale Modellgleichung für die untersuchten Zielvariablen ersichtlich. Aufgrund deutlich unterschiedlicher Rationen wurden die beiden Jahre wie unterschiedliche Betriebe behandelt. Zur Prüfung der Modellvoraussetzungen wurden diagnostische Plots verwendet. Für die vorliegenden Modellgleichungen wurden die Voraussetzungen erfüllt. Einzig die Daten der Zellzahlen mussten vor der Auswertung logarithmiert werden, dafür wurde der dekadische Logarithmus (log₁₀) verwendet.

Tab. 2 | Modellgleichungen des gemischten linearen Modells inkl. Stufen der verwendeten Kovariablen

Modellgleichung und Stufen der Kovariablen	
$Y_{ijklm} = u + \text{Tier}_i + \text{Betriebsjahr}_j + \text{Gruppe}_k + (\text{Betriebsjahr} \times \text{Gruppe})_{jk} + \text{LaktGr}_l + \text{LaktTage}_m + \text{Rest}_{ijklm}$	
Stufen der Kovariablen	
Y_{ijklm}	Zielvariable: Milchmenge (kg/Tag), Fettgehalte (%), usw.
u	Gesamtdurchschnitt der Zielvariable
Tier_i	Einfluss des Einzeltieres – zufällig → $i = 1$ bis 102
Betrieb_j	Einfluss des Betriebes und des Jahres – fix → $j = 1$ bis 4 wobei 1 = Rütli 2020, 2 = Rütli 2021, 3 = Wallierhof 2020, 4 = Wallierhof 2021
Gruppe_k	Einfluss der Gruppe/Behandlung – fix $k = 1$ bis 2 wobei 1 = Kontrolle, 2 = Versuch
LaktGr_l	Laktationsnummer – fix $l = 1$ bis 5 wobei 1 = 1. Laktation, 2 = 2. Laktation, 3 = 3. Laktation, 4 = 4. Laktation, 5 = 5.–9. Laktation
LaktTage_m	Einfluss der Laktationstage – kontinuierlich
Rest_{ijklm}	Resteffekt – zufällig

Resultate und Diskussion

Einfluss der Proteinreduktion auf die Leistung

In keinem der untersuchten Betriebsjahre konnte eine signifikante Veränderung der energiekorrigierten Milchleistung bei proteinreduzierter Ration festgestellt werden (Abb. 1). Allerdings zeigte sich in drei der vier Betriebsjahre mit der proteinreduzierten Fütterung ein numerischer Rückgang um rund 1 kg ECM. Dass eine Reduktion der APD-Zufuhr ohne signifikanten Milchleistungsrückgang erfolgen kann, konnten auch Lee *et al.*

(2012) in ihrer Studie folgern, obwohl auch sie numerische, aber nicht signifikante Milchleistungsminderungen feststellen konnten.

Sowohl im Protein- wie auch im Fettgehalt und ebenfalls in der Fettmenge wurde für keines der Betriebsjahre eine signifikante Differenz zwischen der proteinreduzierten Ration und der Kontrollration festgestellt (Tab. 3). Die produzierte Eiweissmenge pro Tag war hingegen auf dem Betrieb Rütli 2020 in der Versuchsgruppe signifikant tiefer als in der Kontrollgruppe. In den übrigen drei Betriebsjahren konnte zwischen Versuch und Kontrolle hingegen kein signifikanter Unterschied in der produzierten Eiweissmenge festgestellt werden. Dass die täglich produzierte Eiweissmenge auf dem Betrieb Rütli 2020 bei der Versuchsgruppe signifikant tiefer lag als mit der Kontrollration, lag hauptsächlich an der geringeren Milchleistung, denn beim Eiweissgehalt wurden keine relevanten Unterschiede festgestellt. Auch ein Einfluss auf den Milchfettgehalt ist gemäss vorliegenden Ergebnissen bei einer Rohprotein-Reduktion nicht zu erwarten.

Es muss angenommen werden, dass die geringere Anflutung an absorbierbaren AS im Darm zu einem Leistungsrückgang bezüglich Eiweissmenge führte. Einen möglichen Grund dafür sehen Schuba und Südekum (2012) im Rückgang der Mikrobenproteinsynthese aufgrund des verminderten Angebotes an N-haltigen Substanzen für deren Wachstum. Das nicht gebildete Mikrobenprotein kann nur teilweise durch die Ergänzung mit Lys und Met ersetzt werden, insbesondere deshalb, weil das Mikrobenprotein ein für die Kuh optimales AS-Profil aufweist (Schuba & Südekum 2012). Neben der mengenmässigen

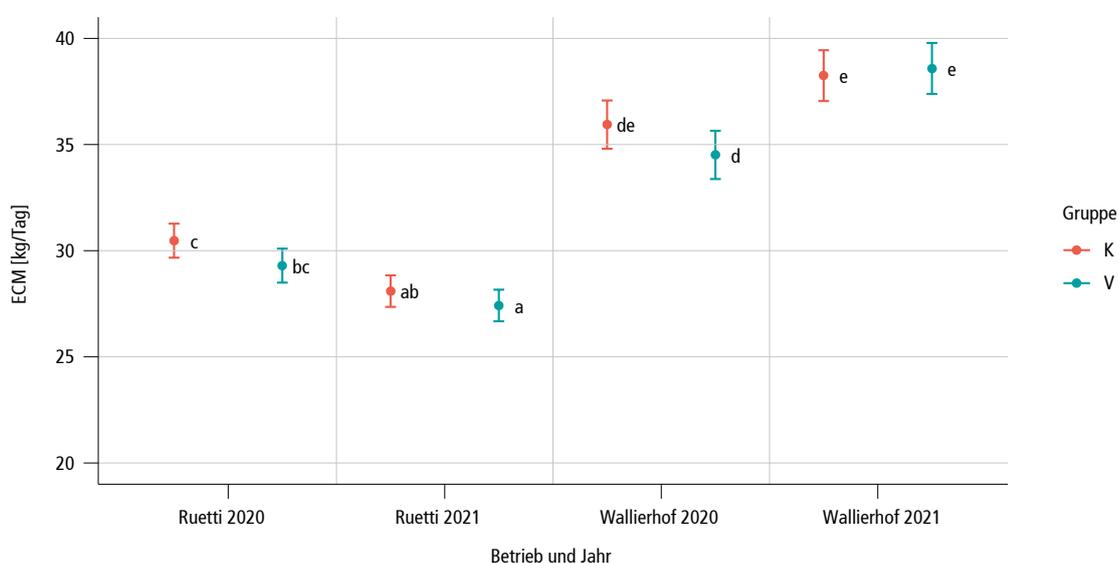


Abb. 1 | Vergleich der Milchleistung der beiden Betriebe und Jahre (K = Kontrolle; V = Versuch). Modellmittelwerte \pm Standardfehler der Milchleistung in kg ECM pro Tier und Tag.

Tab. 3 | Ergebnisse einer proteinreduzierten Milchviehfütterung auf die Milchleistungsparameter, Modellmittelwert \pm Standardfehler

	Rütti				Wallierhof			
	2020		2021		2020		2021	
	Kontrolle	Versuch	Kontrolle	Versuch	Kontrolle	Versuch	Kontrolle	Versuch
ECM [kg/Tag]	30,5 ^c \pm 0,8	29,3 ^{bc} \pm 0,8	28,1 ^{ab} \pm 0,7	27,4 ^a \pm 0,7	35,9 ^{de} \pm 1,1	34,5 ^d \pm 1,1	38,2 ^e \pm 1,2	38,6 ^e \pm 1,2
Fett [%]	5,00 ^b \pm 0,11	5,02 ^b \pm 0,11	4,99 ^b \pm 0,10	5,06 ^b \pm 0,10	4,19 ^a \pm 0,15	3,99 ^a \pm 0,15	4,09 ^a \pm 0,16	4,16 ^a \pm 0,16
Fett [kg/Tag]	1,31 ^{bc} \pm 0,04	1,27 ^{ab} \pm 0,04	1,24 ^{ab} \pm 0,03	1,22 ^a \pm 0,03	1,43 ^{cd} \pm 0,05	1,34 ^{abc} \pm 0,05	1,52 ^d \pm 0,06	1,55 ^d \pm 0,06
Eiweiss [%]	3,66 ^d \pm 0,05	3,68 ^d \pm 0,05	3,58 ^c \pm 0,04	3,54 ^{bc} \pm 0,04	3,48 ^{bc} \pm 0,06	3,48 ^{bc} \pm 0,06	3,40 ^{ab} \pm 0,07	3,31 ^a \pm 0,07
Eiweiss [kg/Tag]	0,98 ^c \pm 0,03	0,93 ^b \pm 0,03	0,88 ^a \pm 0,02	0,85 ^a \pm 0,02	1,20 ^{de} \pm 0,04	1,18 ^d \pm 0,04	1,27 ^e \pm 0,04	1,25 ^{de} \pm 0,04
Lactose [%]	4,77 ^{bc} \pm 0,02	4,75 ^b \pm 0,02	4,64 ^a \pm 0,02	4,66 ^a \pm 0,02	4,86 ^{de} \pm 0,03	4,85 ^{de} \pm 0,03	4,84 ^{cd} \pm 0,03	4,91 ^e \pm 0,03
Harnstoff [mg/dl]	23,3 ^c \pm 0,8	18,7 ^b \pm 0,8	18,0 ^b \pm 0,7	14,8 ^a \pm 0,7	26,1 ^d \pm 1,1	22,9 ^c \pm 1,1	26,1 ^d \pm 1,2	22,1 ^c \pm 1,2
Zellzahl [log ₁₀ (ZZ/1000)]	2,01 ^c \pm 0,06	2,07 ^c \pm 0,06	2,04 ^c \pm 0,06	2,07 ^c \pm 0,06	1,63 ^{ab} \pm 0,09	1,58 ^a \pm 0,09	1,78 ^b \pm 0,09	1,78 ^b \pm 0,09

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

Bedarfsdeckung ist auch das Verhältnis der AS zueinander ein wichtiger Faktor in der Umsetzung einer proteinreduzierten Fütterung (Schwab *et al.* 1992). Die INRA (2018) empfiehlt in der Ration ein Verhältnis von Met zu Lys von 34,3 zu 100.

In der vorliegenden Arbeit konnte die Versorgung der Kühe mit der Aminosäure Histidin (His) wegen fehlenden Angaben zu den Kraftfuttermitteln nicht näher untersucht werden. Allerdings gibt es Hinweise, dass neben Lys und Met auch His eine limitierende (allenfalls gar die ersterstlimitierende) AS darstellen könnte (Korhonen *et al.* 2000; Kim *et al.* 1999). Insbesondere bei einer Ration basierend auf Grassilage mit geringer Proteinerfüllung kann Histidin die erstlimitierende Aminosäure darstellen (Kim *et al.* 1999). In einem Füt-

terungsversuch führte die Ergänzung der Ration basierend auf Grassilage mit Blutmehl, welches eine geringe Pansenabbaubarkeit und hohe His-Anteile am Protein aufweist, zu signifikant höheren Milchleistungen (Kim *et al.* 1999). Dieselbe Studie zeigte auch, dass bei der gleichen Grundration Lys kaum die erstlimitierende AS darstellt (Kim *et al.* 1999).

Allgemeiner formulieren Lee *et al.* (2012) dass, wenn der Grossteil des APD aus Mikrobenprotein besteht und die Ration entsprechend geringe Anteile an pansenstabilem Protein aufweist, His die limitierende Aminosäure für die Milchproduktion darstellen kann. Die Autorinnen und Autoren stützen ihre Vermutung auf die Feststellung, dass das Mikrobenprotein eine 25–30 % tiefere His- als Met-Konzentrationen aufweist (Lee *et al.* 2012).

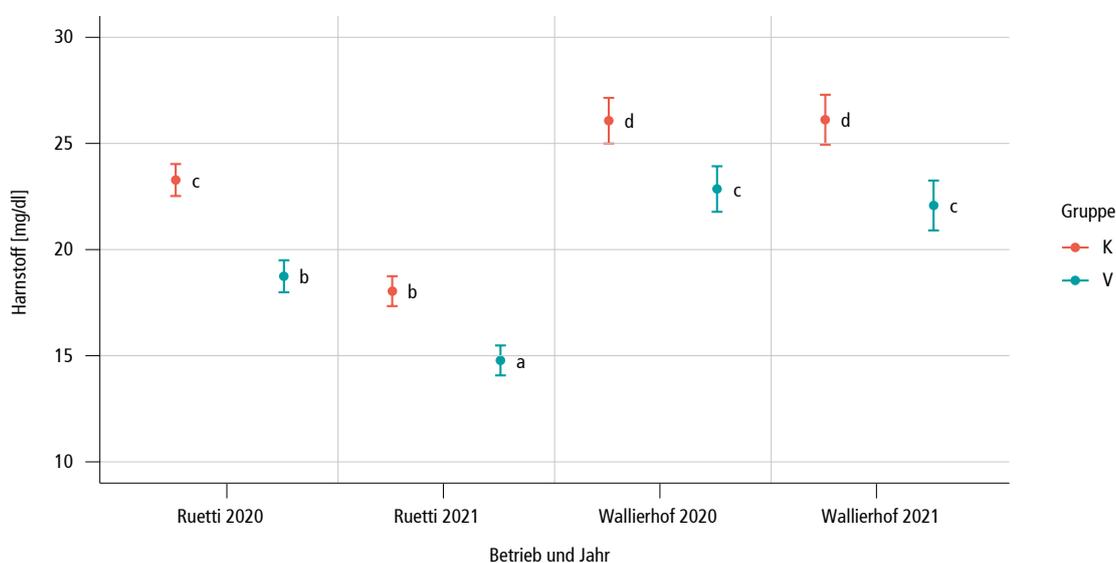


Abb. 2 | Vergleich der Harnstoffgehalte der beiden Betriebe und Jahre (K = Kontrolle; V = Versuch). Modellmittelwerte \pm Standardfehler des Harnstoffgehaltes.

Tab. 4 | Berechnung der Reduktion der Ammoniakemissionen anhand der Milchharnstoffgehalte

	Rütti				Wallierhof			
	2020		2021		2020		2021	
	Kontrolle	Versuch	Kontrolle	Versuch	Kontrolle	Versuch	Kontrolle	Versuch
Harnstoffgehalt [mg/dl]	23,3	18,7	18,0	14,8	26,1	22,9	26,1	22,1
NH ₃ -Emissionen (Burgos <i>et al.</i> 2010) [g/Tier und Tag]	80	69	67	60	86	79	86	77
Reduktion NH ₃ -Emissionen [%]	14		11		9		11	
Differenz Harnstoffgehalt Kontrolle-Versuch [mg/dl]	4,6		3,2		3,2		4,0	
Reduktion NH ₃ -Emissionen (van Duinkerken <i>et al.</i> 2011) [%]	12		8		8		10	

Die Bedarfsempfehlungen der INRA (2018) liegen jedoch für die beiden AS Met und His auf gleicher Höhe. Der in dieser Arbeit teilweise festgestellte Rückgang der Milchproteinmenge könnte demzufolge auf einen spezifischen His-Mangel zurückzuführen sein. Entsprechend müsste für weitere Versuche auch eine Ergänzung mit Histidin in Betracht gezogen werden.

Einfluss der Proteinreduktion auf die NH₃-Emissionen

Im Milchharnstoffgehalt unterschieden sich die Kontroll- und Versuchsgruppe in allen vier Betriebsjahren signifikant. Die Kühe, welche die Versuchsration vorgelegt bekamen, zeigten jeweils einen tieferen Milchharnstoffgehalt als die Tiere der Kontrollgruppe (Abb. 2). Im Jahr 2020 lagen die Harnstoffgehalte mit der Versuchsration um 4,6 mg/dl (Rütti) resp. 3,2 mg/dl (Wallierhof) tiefer. 2021 betrug die Reduktion 3,2 mg/dl (Rütti) bzw. 4,0 mg/dl (Wallierhof).

Im Körper der Kuh wird überschüssiger Stickstoff in Ammoniak und anschliessend in Harnstoff umgewandelt. Teilweise kann dieser über den ruminohepatischen Kreislauf wiederverwertet werden. Weiter gelangt Harnstoff auch über Diffusion aus dem Blut in die Milch, der restliche Harnstoff wird über den Urin ausgeschieden. Die enge Korrelation zwischen dem Harnstoff im Urin und dem Milchharnstoffgehalt ermöglicht eine Beurteilung der Umweltwirkung anhand der Milchharnstoffgehalte (Bracher *et al.* 2011; Decker *et al.* 2021).

Burgos *et al.* (2010) ermittelten eine Schätzformel zur Bestimmung der NH₃-Emissionen pro Tier und Tag anhand des Milchharnstoff-Stickstoffes. Die Formel nach Burgos *et al.* (2010) weist ein Bestimmtheitsmass von 0,85 auf. Werden die vorliegenden Harnstoffgehalte in Milchharnstoff-Stickstoff umgerechnet, resultieren mit der Formel NH₃-Emissionen zwischen 60g und 86g pro Tier und Tag (Tab. 4). Dieser Bereich ist vergleichbar mit den Emissionsschätzungen in anderen Studien (Burgos *et al.* 2010; van Duinkerken *et al.* 2011). Bei Betrachtung der Emissionen der Kühe der Versuchs- gegenüber der jeweiligen Kontrollgruppe resultierte demnach nach dieser Berechnungsmethode eine Emissionseinsparung von 9–14 %.

Eine andere Methode schätzt die Reduktion der Ammoniakemissionen direkt aus dem Rückgang des Milchharnstoffgehaltes, wobei mit einer Reduktion der Ammoniakemissionen um 2,5 % pro Senkung des Milchharnstoffgehaltes um 1 mg/dl gerechnet werden kann (van Duinkerken *et al.* 2011). Die erzielte Reduktion des Milchharnstoffgehalt betrug in der vorliegenden Studie zwischen 3,2 und 4,6 mg/dl, womit die proteinreduzierte Fütterung zu NH₃-Emissionseinsparungen von 8–12 % geführt haben dürfte, was gut mit der Berechnung nach Burgos *et al.* (2010) übereinstimmt. Das erwähnte Reduktionspotential von 2,5 % gilt bei Harnstoffgehalten von 20 mg/dl Milch und erhöht sich auf 3,5 % bei einem Harnstoffgehalt von 30 mg/dl Milch (van Duinkerken *et al.* 2011).

Auch die Betrachtung der Proteinaufnahme bestätigt diese Grössenordnung. In den Versuchsrationen wurde der Proteingehalt um 10 g/kg TS gesenkt. Bei einem Verzehr von 22 kg TS pro Kuh und Tag entspricht dies einer Reduktion der N-Aufnahme von 35 g pro Tag oder knapp 11 kg pro Kuh und Laktation. Bei gleicher Leistung reduziert sich die Ausscheidung entsprechend um dieselbe Grössenordnung, was rund 10 % der N-Ausscheidungen einer Milchkuh von 112 kg/Jahr gemäss GRUD entspricht (Richner & Sinaj 2017).

Schlussfolgerungen

- Eine Absenkung der Rohproteingehalte in Milchviehrationen ist bei einem Ausgleich durch pansengeschützte Aminosäuren ohne negative Auswirkungen auf die Milchleistung möglich.
- Die Reduktion der Proteinzufuhr führt zu deutlich tieferen Milchharnstoffgehalten und Stickstoffausscheidungen.
- Eine Reduktion der Ammoniakemissionen um 10 % scheint mit Hilfe einer proteinreduzierten Milchviehfütterung in Zukunft realistisch zu sein.
- Die Berücksichtigung weiterer Aminosäuren als Lysin und Methionin, insbesondere Histidin, dürfte notwendig sein. ■

Literatur

- Arriaga, H., Salcedo, G., Martinez-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. In: *Journal of dairy science* **93** (7), S. 3158–3165. DOI: 10.3168/jds.2009-2906.
- Bracher, A., Schlegel, P., Münger, A., Stoll, W. & Menzi, H. (2011): Möglichkeiten zur Reduktion von Ammoniak-Emissionen durch Fütterungsmassnahmen beim Rindvieh (Milchkuh). In: *Schweizerische Hochschule für Landwirtschaft (SHL) und Agroscope Liebefeld-Posieux (ALP)*. Online verfügbar unter <https://ira.agroscope.ch/de-CH/publication/30349>, zuletzt geprüft am 19.01.22.
- Burgos, S. A., Embertson, N. M., Zhao, Y., Mitloehner, F. M., DePeters, E. J. & Fadel, J. G. (2010): Prediction of ammonia emission from dairy cattle manure based on milk urea nitrogen: relation of milk urea nitrogen to ammonia emissions. In: *Journal of dairy science* **93** (6), S. 2377–2386. DOI: 10.3168/jds.2009-2415.
- Decker, A., Zähler, M., Dohme-Meier, F., Böttger, C., Münger, A., Heimo, D. & Schrade, S. (2021): Milchlarnstoffgehalt: Was sagt er über die Stickstoffausscheidungen aus? In: *Agrarforschung Schweiz* (**12**), S. 137–145.
- Flachowsky, G., Lebzien, P. & Meyer, U. (2009): Energie- und Nährstoffbedarfsableitung für Hochleistungskühe. In: *Züchtungskunde* **81** (6), S. 429–441.
- INRA (2018): Alimentation des ruminants. Versailles, Paris: Edition Quae; Institut national de la recherche agronomique.
- Kim, C. H., Choung, J. J. & Chamberlain, D. G. (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. In: *Journal of the Science of Food and Agriculture*, S. 1703–1708.
- Korhonen, M., Vanhatalo, A., Varvikko, T. & Huhtanen, P. (2000): Responses to graded postruminal doses of histidine in dairy cows fed grass silage diets. In: *Journal of dairy science* **83** (11), S. 2596–2608. DOI: 10.3168/jds.S0022-0302(00)75153-8.
- Kuznetsova, A., Brockhoff, P. B. & Christensen, R. H. B. (2017): lmerTest Package: Tests in Linear Mixed Effects Models. In: *J. Stat. Soft.* **82** (13). DOI: 10.18637/jss.v082.i13.
- Lee, C., Hristov, A. N., Cassidy, T. W., Heyler, K. S., Lapierre, H., Varga, G. A., de Veth, M. J., Patton, R. A. & Parys, C. (2012): Rumen-protected lysine, methionine, and histidine increase milk protein yield in dairy cows fed a metabolizable protein-deficient diet. In: *Journal of dairy science* **95** (10), S. 6042–6056. DOI: 10.3168/jds.2012-5581.
- Münger, A., Schori, F. & Schlegel, P. (2021): Fütterungsempfehlungen für die Milchkuh. Kapitel 7. In: Posieux Agroscope (Hg.): Fütterungsempfehlungen für Wiederkäuer (Grünes Buch).
- Oldham, J. D. (1984): Protein-energy interrelationships in dairy cows. In: *Journal of dairy science* **67** (5), S. 1090–1114. DOI: 10.3168/jds.S0022-0302(84)81410-1.
- Panetta, D. M., Powers, W. J., Xin, H., Kerr, B. J. & Stalder, K. J. (2006): Nitrogen excretion and ammonia emissions from pigs fed modified diets. In: *Journal of Environmental Quality* **35** (4), S. 1297–1308. DOI: 10.2134/jeq2005.0411.
- Richner, W., & Sinaj, S. (Hg.) (2017): Grundlagen für die Düngung landwirtschaftlicher Kulturen in der Schweiz. GRUD 2017. Agroscope. Online verfügbar unter <https://intra.zhaw.ch/index.php?id=5379>.
- 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. In: *Nutr Cycl Agroecosyst* **110** (1), S. 161–175. DOI: 10.1007/s10705-017-9893-3.
- Schuba, J. & Südekum, K. (2012): Pansengeschützte Aminosäuren in der Milchkuhfütterung unter besonderer Berücksichtigung von Methionin und Lysin. In: DLG Verlag (Hg.): Übersichten Tierernährung, Bd. 40. Frankfurt a.M., S. 113–149.
- van Duinkerken, G., Smits, M. C. J., André, G., Sebek, L. B. J. & Dijkstra, J. (2011): Milk urea concentration as an indicator of ammonia emission from dairy cow barn under restricted grazing. In: *Journal of dairy science* **94** (1), S. 321–335. DOI: 10.3168/jds.2009-2263.