



Doctoral Thesis

Stickstoff- und Mineralstoffumsatz von Milchkühen in Abhängigkeit von Rationentyp und Produktionsphase unter besonderer Berücksichtigung umweltrelevanter Aspekte

Author(s):

Flückiger, Ernst

Publication Date:

1989

Permanent Link:

<https://doi.org/10.3929/ethz-a-000518397> →

Rights / License:

[In Copyright - Non-Commercial Use Permitted](#) →

This page was generated automatically upon download from the [ETH Zurich Research Collection](#). For more information please consult the [Terms of use](#).

**Stickstoff- und Mineralstoffumsatz von Milchkühen
in Abhängigkeit von Rationentyp und Produktionsphase
unter besonderer Berücksichtigung umweltrelevanter Aspekte**

ABHANDLUNG

zur Erlangung des Titels eines
Doktors der technischen Wissenschaften
der
EIDGENÖSSISCHEN TECHNISCHEN HOCHSCHULE
ZÜRICH

vorgelegt von
ERNST FLUECKIGER
dipl. Ing. agr. ETH
geboren am 21. Februar 1956
von Rohrbachgraben BE

Angenommen auf Antrag von
Prof. Dr. J. Landis, Referent
Prof. Dr. J. Nösberger, Korreferent
Dr. J.M. Besson, Korreferent

J. Landis

6. ZUSAMMENFASSUNG

Das Ziel der vorliegenden Arbeit bestand darin, den Einfluss des Rationentyps und der Produktionsphase auf den Stickstoff- und Mineralstoffumsatz der Milchkuh unter besonderer Berücksichtigung umweltrelevanter Auswirkungen zu prüfen. Dabei stand vor allem der Einfluss der Fütterungsverhältnisse auf den quantitativen und qualitativen Anfall der Exkremente im Vordergrund.

Unter Berücksichtigung dieser Zusammenhänge wurden Grundlagen zur Planung eines umweltgerechten Hofdüngereinsatzes erarbeitet.

Einerseits wurde bei 6 verschiedenen Rationentypen mit je 8 Kühen, welche sich zwischen der 9. und 30. Laktationswoche befanden, je eine Erhebungsphase durchgeführt (Versuchsreihe 1), andererseits wurde mit dem Rationentyp Dürrfutter/Maissilage je mit 8 Kühen in 3 verschiedenen Laktationsphasen, sowie in der Galtzeit, während je einer Erhebungsphase Bilanzmessungen gemacht (Versuchsreihe 2).

Eine Erhebungsphase umfasste eine zwei- bis dreiwöchige Vorperiode, sowie 2 Messperioden von je 4 Tagen.

Die Futterrationen wurden möglichst exakt bedarfsdeckend gestaltet. Die Hauptgrundfutterkomponente wurde ad libitum zur Verfügung gestellt. Die Sammlung von Kot und Harn erfolgte als Gemisch mit einem im Schwemmkanal installierten Becken.

Parallel zu den Bilanzversuchen wurde mit einer Modellrechnung der Einfluss der Faktoren Wiesenfuttergehalt, Rationenkombination, Lebendgewicht, Milchleistung und Mineralstoffbeifütterung auf den jährlichen Anfall an pflanzlichen Nährstoffen in den Exkrementen der Milchkuh, unter einer möglichst umfassenden Berücksichtigung der entsprechenden Verhältnisse in der schweizerischen Landwirtschaft, geschätzt.

In einer Synthese zwischen den Ergebnissen der Bilanzversuche und denjenigen der Modellrechnung wurde ein Konzept zur Bestimmung von Quantität und Gehalt der Hofdünger erarbeitet, welches ein umweltgerechter Hofdüngereinsatz ermöglicht.

Ernährungsphysiologische Ergebnisse

Der Verzehr an Grundfutter-TS wurde durch die Kovariablen Körpergewicht (signifikant), Milchleistung und Ergänzungsfuttermittelaufnahme (nicht signifikant) beeinflusst. Die berechneten Regressionskoeffizienten liegen beim Körpergewicht und bei der Milchleistung wesentlich tiefer als die entsprechenden schweizerischen Normwerte. Im Verlauf der Laktation ging der Verzehr an Grundfutter-TS durchschnittlich um rund 1 kg zurück.

Die Versorgungslage der einzelnen Tiere an Nähr- und Mineralstoffen schwankte stark, obwohl eine möglichst genaue Bedarfsdeckung angestrebt wurde.

Bei der täglichen Milchleistung wurde von folgenden Kovariablen ein signifikanter Einfluss festgestellt: Vorhergehende Laktationsleistung, Laktationswoche, Körpergewicht und NEL-Versorgung.

Die wichtigsten Milchinhaltsstoffe wurden durch die folgenden Kovariablen beeinflusst: Stickstoff: Milchleistung, NEL-Versorgung; Laktose: Milchleistung, Ca-Versorgung; Fett: NEL- und Na-Versorgung. Im Laufe der Laktation stieg der Gehalt an Stickstoff, Fett, Ca und Na, während bei P und K ein Rückgang zu verzeichnen war.

Die mittleren korrigierten Stoffbilanzen schwankten beträchtlich und lagen im folgenden Bereich (Mittelwert pro Messperiode, in g/Tag): N: -17.9 - +25.5, Ca: -7.8 - +36.9, P: +2.8 - +19.3, Mg: -5.4 - +3.8, Na: -10.8 - +3.7, K: -72.4 - +53.6. Für die einzelnen Bilanzen ergaben sich die folgenden signifikanten Kovariablen: Ca: NEL-, Ca- und P-Versorgung; P: P-, Mg- und K-Versorgung; Mg: Mg-Versorgung; Na: P-Versorgung; K: NEL-, Ca- und P-Versorgung. Mit fortschreitender Zwischenkalbezeit ergaben sich bei der N-Bilanz höhere Werte. Ueberraschenderweise konnte in den ersten Laktationswochen nur eine sehr geringe Ca-Mobilisierung nachgewiesen werden.

Die korrigierte mittlere Milchleistung schwankte in Abhängigkeit des Rationentyps recht beträchtlich. Mögliche Ursachen wurden diskutiert, eine vollständige Begründung dieser Unterschiede war jedoch nicht möglich.

Umweltrelevante Aspekte

1. Ergebnisse der Bilanzversuche

Der mittlere tägliche Gülleanfall pro Erhebungsphase lag in der Versuchsreihe 1 zwischen 52.7 und 77.1 l. In der Versuchsreihe 2 lagen die entsprechenden Werte zwischen 40.8 und 68.8 l. Der mittlere GKOEf (1 Gülleanfall/kg TS-Verzehr) der Versuchsreihe 1 schwankte zwischen 2.94 und 4.35, wobei sich die beiden Sommerrationen signifikant von den Winterrationen und die reine Dürrfütterration zusätzlich signifikant von den übrigen Winterrationen unterschied. Der GKOEf wird ausser vom Rationentyp von keinem anderen Faktor beeinflusst. Der Gülleanfall pro kg produzierter Milch wurde durch die Faktoren Milchleistung, NEL- und APD-Versorgung signifikant beeinflusst.

Der mittlere TS-Gehalt der Sommergülle betrug 76.4 g/kg Gülle, derjenige der Wintergülle 105.8 g. Der mittlere Gehalt der wichtigsten Inhaltsstoffe lag im folgenden Bereich (g/kg TS): NKJE: 32.4-63.0, $\text{NH}_4\text{-N}$: 10.5-34.3, Ca: 16.7-25.2, P: 8.7-10.4, Mg: 4.0-6.7, Na: 2.5-3.9, K: 38.7-87.4. Mit fortschreitender Zwischenkalbezeit gingen die Gehaltswerte für N, Ca, P und Mg in der Gülle kontinuierlich zurück.

2. Schätzung des Hofdüngeranfalls unter Praxisverhältnissen

Sowohl der quantitative, wie auch der qualitative Hofdüngeranfall ist in Abhängigkeit der berücksichtigten Faktoren in der praktischen Landwirtschaft einer beträchtlichen Streuung unterworfen.

Beim mengenmässigen Anfall pro Tier und Jahr sind die Faktoren Milchleistung, Lebendgewicht, Rationenkombination und Wiesenfuttergehalt in abnehmender Reihenfolge am stärksten für die Streuung verantwortlich.

Der Anfall an pflanzlichen Nährstoffen pro Tier und Jahr und der Gehalt pro m³ Gülle werden in abnehmendem Masse am stärksten durch die Faktoren Wiesenfuttergehalt, Rationenkombination, Milchleistung und Lebendgewicht beeinflusst. Beim Phosphor ist die Mineralstoffbeifütterung der wichtigste Faktor.

In Abhängigkeit der untersuchten Faktoren kann der quantitative Anfall (m³), der Anfall an pflanzlichen Nährstoffen (kg) pro Tier und Jahr, sowie der Gehalt pro m³ Gülle (kg) im folgenden Bereich liegen:

Gülemenge bzw. Nährstoff	tiefster Wert		höchster Wert	
Gülle m ³ /Tier und Jahr	17.8		26.4	
<u>Nährstoff:</u>	<u>kg/Jahr</u>	<u>kg/m³</u>	<u>kg/Jahr</u>	<u>kg/m³</u>
N	74	3.8	160	7.1
P	13	0.7	25	1.1
K	87	4.2	239	10.5
Ca	24	1.2	70	3.1
Mg	6	0.3	22	1.0

Die mittleren festgestellten Werte liegen 25-60 % höher als die entsprechenden bestehenden schweizerischen Normwerte.

Damit die Hofdünger pflanzen- und somit umweltgerecht, wie auch wirtschaftlich sinnvoll verwertet werden können, wurden differenzierte Richtwerte erarbeitet, welche bei der Bestimmung von Menge und Gehalt der Hofdünger auf dem einzelnen Betrieb eine Berücksichtigung der jeweiligen Produktionsverhältnisse ermöglichen.

7. RESUME

Le but du présent travail consiste à étudier l'influence du type de ration et de la phase de production sur le métabolisme de l'azote et des minéraux chez la vache laitière, en vouant une attention particulière aux aspects environnementaux. L'accent principal est mis sur l'influence de l'alimentation sur la production quantitative et qualitative des excréments, afin de consolider les bases d'une utilisation adéquate des engrais de ferme.

A partir des apports alimentaires, de la production de lait et d'excréments, des bilans sont établis. Dans une première série d'essais, 6 types de ration sont distribués chacun à 8 vaches se trouvant entre leur 9ème et 30ème semaine de lactation. Dans une seconde série d'essais, une ration de foin et d'ensilage de maïs est étudiée avec 8 vaches, se situant dans 3 différentes phases de la lactation et dans la période de tarissement.

Chaque essai comprend deux à trois semaines de période d'adaptation et deux périodes de mesures de 4 jours chacune.

Les rations sont composées de façon à ce qu'elles couvrent les besoins le plus exactement possible. Les fourrages sont donnés ad libitum. Les fèces et les urines sont récoltées individuellement, sous forme de mélange au moyen de cuves placées derrière les animaux dans le canal d'évacuation des excréments.

Parallèlement aux essais de bilan, on a estimé au moyen d'un modèle mathématique l'influence de la teneur du fourrage herbager, du type de ration, du poids vif, de la production laitière et des apports complémentaire de minéraux sur la production annuelle d'éléments fertilisants contenus dans les excréments de la vache laitière. Pour ce faire, on a tenu compte le plus possible des conditions de l'agriculture suisse.

La synthèse des résultats des essais de bilan et du modèle mathématique permettent de développer un concept estimant la quantité et la qualité des engrais de ferme produits, en vue de leur utilisation conforme à l'environnement.

Physiologie de la nutrition

La consommation de fourrage est influencée par les covariables poids de l'animal (significative), production laitière et apport d'aliment concentré (non significatives). Les coefficients de régression calculés se situent pour le poids de l'animal et la production laitière nettement plus bas que les valeurs standard suisses. Au cours de la lactation, la consommation de fourrage diminue d'environ 1 kg de matière sèche.

Les bilans individuels en nutriments et en minéraux varient fortement, bien qu'on ait cherché à couvrir les besoins au plus juste.

Pour la production laitière journalière, on enregistre une influence significative des covariables suivantes: production de la lactation précédente, semaine de lactation, poids de l'animal et apport en énergie.

La teneur en matière azotée du lait est influencée par les covariables suivantes: production laitière et apport en énergie; la teneur en lactose par la production laitière, l'apport en énergie et en Na; la teneur en graisse par l'apport en énergie et en protéines absorbables dans l'intestin. Au cours de la lactation, les teneurs en matière azotée, en graisse, Ca et Na augmentent alors que celles en P et K diminuent.

Les bilans corrigés moyens varient fortement de la façon suivante (moyennes par période de mesures, en g/jour): N: -17.9 - +25.5, Ca: -7.8 - +36.9, P: +2.8 - +19.3, Mg: -5.4 - +3.8, Na: -10.8 - +3.7, K: -72.4 - +53.6. Pour les bilans individuels, les covariables suivantes sont significatives: Ca: apport en énergie, Ca et P; P: apport en P, Mg et K; Mg: apport en Mg; Na: apport en P; K: apport en énergie, Ca et P. Au cours de la lactation, les valeurs du bilan azoté augmente. De façon étonnante, on ne décèle qu'une très faible mobilisation du Ca au cours des premières semaines de la lactation.

La production laitière moyenne corrigée varie très fortement en fonction du type de ration. Les causes de ces variations ne peuvent pas être expliquées avec précision.

Aspects environnementaux

1. Essais de bilan

Pour la première série d'essais, la production journalière moyenne de lisier (mélange non dilué des fèces et de l'urine, sans litière) varie entre 52.7 et 77.1 l. Dans la deuxième série, les valeurs correspondantes se situent entre 40.8 et 68.8 l. Le "coefficient lisier" (l de lisier produit par kg de matière sèche ingérée) de la première série d'essais varie entre 2.94 et 4.35. Ce coefficient se différencie significativement d'une part entre les rations d'été et les rations d'hiver et entre la ration à base de foin et les autres rations d'hiver, d'autre part. Le coefficient lisier n'est influencé par aucun autre facteur que le type de ration. La production de lisier par kg de lait produit est influencée de façon significative par les facteurs: production laitière, apport en énergie et en protéines absorbables dans l'intestin.

La teneur moyenne en matière sèche du lisier d'été est de 76.4 g/kg, celle du lisier d'hiver 105.8 g. La teneur moyenne en éléments principaux varie de la façon suivante (g/kg MS): N (=NKJE): 32.4-63.0, N-NH₄: 10.5-34.3, Ca: 16.7-25.2, P: 8.7-10.4, Mg: 4.0-6.7, Na: 2.5-3.9, K: 38.7-87.4. Au cours de la lactation, les teneurs en N, Ca, P et Mg du lisier diminuent de façon continue.

2. Estimation de la production d'engrais de ferme en condition pratiques

Aussi bien la production quantitative que qualitative des engrais de ferme est soumise dans les conditions pratiques à une variation considérable en fonction des facteurs considérés.

Les facteurs qui influencent le plus la production quantitative annuelle par animal, sont les suivants, par ordre décroissant d'importance: production laitière, poids vif, type de ration et teneurs du fourrage herbager. La production annuelle d'éléments nutritifs par animal et la teneur en ceux-ci par m³ de lisier sont influencées de façon décroissante par les facteurs: teneurs du fourrage herbager, type de ration, production laitière et poids vif. Pour le phosphore, l'apport complémentaire en sels minéraux est le facteur le plus important.

La production de lisier (m³) et la production annuelle d'éléments nutritifs (kg) par animal ainsi que la teneur peuvent varier en fonction des facteurs étudiés de la manière suivante:

Quantité et él. nutr.	Minimum		Maximum	
Lisier: m ³ /animal et an	17.8		26.4	
Élément nutritif	kg/année	kg/m ³	kg/année	kg/m ³
N	74	3.8	160	7.1
P	13	0.7	25	1.1
K	87	4.2	239	10.5
Ca	24	1.2	70	3.1
Mg	6	0.3	22	1.0

Les valeurs moyennes enregistrées sont 25 à 60 % plus élevées que les valeurs indicatives suisses existantes.

Pour que les engrais de ferme puissent être utilisés conformément aux exigences de la nutrition végétale, donc également de l'environnement, et judicieusement du point de vue économique, on propose des valeurs indicatives nouvelles et différenciées. Celles-ci permettent de tenir compte des conditions particulières de production de chaque exploitation pour l'évaluation de la production quantitative et qualitative des engrais de ferme.

8. SUMMARY

The aim of this study was to determine the effects of feed ration and lactation stage on the metabolism of dairy cows, with special attention being given to effects on the environment. Priority was given to the effect of animal nutrition on the amount and composition of manure produced, thus establishing the basis for its ecologically beneficial utilisation.

In a first set of experiments six different feed rations were each tested on a group of eight cows which were all between the ninth and the thirtieth week of their lactation. In a second set of experiments, an input/output balance was established for eight cows at three different stages of lactation as well as for cows between lactations, all of which were fed with hay and corn silage.

The feed rations were based as exactly as possible on the requirements of the cows. The main forage component was offered *ad libitum*. Faeces and urine were collected as a mixture in basins for each cow. Each experiment consisted of an adaptation phase of two to three weeks and two measurement periods of four days each.

Parallel to these experiments, the annual amount of plant nutrients found in the excrement of dairy cows, under Swiss conditions, was calculated with the help of a model. The following factors were varied: mineral content of grass and hay, composition of feed ration, animal weight, milk production and amount of mineral supplements fed.

The results of the experiments and the calculations according to the model were synthesised in order to determine the amount and the content of manure produced on farms, with the aim of avoiding detrimental effects on the environment.

Physiological results

Basic feed consumption (dry matter) was influenced by the covariates animal weight (significant), milk production and feed concentrate consumption (not significant). The calculated regression coefficients of feed consumption to animal weight and milk production were clearly lower than by corresponding Swiss standards. In the course of lactation, basic feed consumption decreased by one kilo. The supply of nutrients and minerals varied greatly for between animals despite the system of feeding according to individual requirement.

The following covariates had a significant influence on daily milk production: previous milk yield, week of present lactation, animal weight and energy supply. The most important milk components were influenced by the following covariates: Nitrogen: milk yield, energy supply; lactose: milk yield, Ca supply; fat: energy and Na supply. During lactation, the contents of nitrogen (N), fat, calcium (Ca) and sodium (Na) increased while the contents of phosphorus (P) and potassium (K) decreased.

The mean amount of the input/output balance of elements varied within the following ranges (mean per measurement period; grams per day):

N: -17.9 - +25.5, Ca: -7.8 - +36.9, P: +2.8 - +19.3, Mg: -5.4 - +3.8, Na: -10.8 - +3.7, K: -72.4 - +53.6. The following covariates were significant for the individual amounts: Ca: energy, Ca and P supply, P: P, Mg, and K supply, Mg: Mg supply, Na: P supply, K: energy, Ca and P supply. The amount of N increased during lactation. Calcium mobilisation during the first weeks of lactation was surprisingly low.

The daily milk yield varied greatly with ration composition. Possible causes are discussed but no conclusive explanations have as yet been reached.

Production manure and environmental aspects

1. Results of the input/output balance trials

The mean daily amount of manure produced per cow ranged from 52.7 to 77.1 litres in the first set of experiments. In the second set of experiments, the corresponding values were between 40.8 and 68.8 litres. The average "manure coefficient" (GKOEf, litres manure per kilo dry matter consumption) of the first set of experiments ranged from 2.94 to 4.35. The two summer rations differed significantly from the winter rations and the ration of hay only was significantly different from the other winter rations. The GKOEf was not influenced by any factors other than ration composition. The amount of manure produced per litre of milk was influenced significantly by the level of milk production as well as by energy and protein supply.

The average dry matter (DM) content of the manure reached 76.4 g/kg with summer rations and 105.8 g/kg with winter rations. The manure contained the following amounts of main components (g/kg DM): NKJE: 32.4 - 63.0, $\text{NH}_4\text{-N}$: 10.5 - 34.3, Ca: 16.7 - 25.2, P: 8.7 - 10.4, Mg: 4.0 - 6.7, Na: 2.5 - 3.9, K: 38.7 - 87.4. N, Ca, P and Mg content decreased continuously in the course of lactation.

2. Estimate of the amount of manure produced under practical conditions

The absolute amount of manure produced as well as the amount of agriculturally important substances contained in it varied considerably depending on the conditions of production. The variability in the absolute amount of manure produced per cow and year is due mainly to the factors milk production, animal weight, ration composition and herbage content. The amount of plant nutrients produced per cow and year and their content per m^3 of manure are determined by herbage content, ration composition, milk production and animal weight respectively. The amount of P in the manure depends mainly on the amount of mineral supplements fed.

Depending on the factors analysed, the quantity of manure and plant nutrients produced as well as the manure content can vary within the following ranges:

amount and content of manure and nutrients produced per cow and year				
	lowest value		highest value	

Manure (m ³)	17.8		26.4	
<u>Nutrients (kg)</u>	<u>kg/year</u>	<u>kg/m³</u>	<u>kg/year</u>	<u>kg/m³</u>
N	74	3.8	160	7.1
P	13	0.7	25	1.1
K	87	4.2	239	10.5
Ca	24	1.2	70	3.1
Mg	6	0.3	22	1.0

The mean values found are 25 to 60 percent higher than current Swiss standards.

In order to ensure that farm manure be utilised so as to provide profitable economic returns as well as to protect the environment, differentiated norms have been determined. These take the conditions of production into consideration when calculating the amount and content of manure produced by the individual farm.