

# Einfluss einer rotkleebasierten Fütterung auf die Ökobilanz in Milchviehbetrieben

T. REINSCH<sup>1</sup>, F. SCHULZ<sup>2</sup>, E. WESTREICHER-KRISTEN<sup>2</sup>, K. KNAPPSTEIN<sup>3</sup>, J. MOLKENTIN<sup>3</sup>, R. LOGES<sup>1</sup>,  
F. TAUBE<sup>1</sup>, A. SUSENBETH<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung,  
Abteilung Grünland und Futterbau / Ökologischer Landbau, CAU-Kiel,

<sup>2</sup> Institut für Tierernährung und Stoffwechselfysiologie, CAU-Kiel

<sup>3</sup> Institut für Sicherheit und Qualität bei Milch und Fisch, Max Rubner-Institut, Kiel

treinsch@gfo.uni-kiel.de

## Einleitung und Problemstellung

Durch den Einsatz von Rotklee in der Milchviehfütterung können zum einen eiweißreiche Kraftfutterkomponenten wie z.B. Sojaextraktionsschrot substituiert und zum anderen im Futterbau Mineraldünger eingespart werden. Beide genannten Effekte haben einen unmittelbaren Einfluss auf globale wie regionale Umweltwirkungen und damit auf die Ökoeffizienz der einzelbetrieblichen Erzeugnisse (Milch und Fleisch). Ausgehend von der Datenbasis eines durchgeführten Fütterungsversuches auf der Versuchsstation Schädtkbek des Max Rubner-Instituts, in dem der Einfluss steigender Rotkleesilageanteile in der Ration auf die Leistung von laktierenden Milchkühen (Deutsche Holsteins Schwarzbunt) untersucht wurde, sollte der gesamtbetriebliche Einfluss auf die Ökoeffizienz in der Milchproduktion bewertet werden. Mit zunehmendem Rotkleesilageanteil in der Ration wurde der Anteil von Maissilage und Sojaextraktionsschrot reduziert sowie die Vorlage von Weizenschrot erhöht, sodass isonitrogene Rationen (17,4% Rohprotein auf Trockensubstanz (TS)-Basis) vorlagen (Tab. 1). Aus futterbaulicher Sicht wurden unter dem angenommenen Produktionsszenario mit Ausnahme des Sojaextraktionsschrots die Futtermittel auf dem Betrieb produziert. Auf Basis durchschnittlicher pflanzenbaulicher Produktionsdaten, den im Versuch erfassten Tierleistungen, Stickstoff (N)-Ausscheidungen und Nährstoffzusammensetzungen der Rationskomponenten wurden die Emissionen in den Wirkungsbereichen Klima, Eutrophierung, Versauerung, Landverbrauch, Energieverbrauch und Bodenschutzaspekte je Einzeltier sowie je kg erzeugte Milch berechnet.

## Material und Methoden

Die Umweltwirkungen der unterschiedlichen Rationen wurden aus der Perspektive der Lebenszyklusanalyse mit den Systemgrenzen „von der Wiege bis zum Hofter“ (cradle to gate) ermittelt (ISO, 2006). Darunter fallen alle Emissionen von der Entstehung der Betriebsmittel, über den Anbau der betrieblich erzeugten Grund- und Kraftfuttermittel sowie die direkten und indirekten Tieremissionen. Die Berechnung der Anbaufläche der einzelnen Kulturen erfolgte unter Berücksichtigung durchschnittlicher Ertragsleistungen Norddeutschlands und der gemessenen Futteraufnahme je Einzeltier inkl. der zu erwartenden Verluste am Futtertisch (10%). Die Berechnung der theoretischen kulturspezifischen Düngung erfolgte bei den Nicht-Leguminosen aus der Ableitung des ertragsbasierten Pflanzenbedarfs über die betrieblich anfallenden Wirtschaftsdünger und Mineraldünger. Ferner wurde der N-Eintrag über die symbiotische N<sub>2</sub>-Fixierung (Carlsson *et al.*, 2003; Halvorson *et al.*, 1992) und Deposition (8 kg N je ha und Jahr) für die flächenspezifischen N-Einträge berücksichtigt. Die Umtriebsrate (35%) und die AufzuchtKosten der Nachzucht wurden zwischen den Rationen als *ceteris paribus* angenommen. Die Berechnung der Treibhausgasinventare erfolgte nach den Standards der IPCC Guidelines (2006), wobei die tierbasierten Methan (CH<sub>4</sub>)- und Ammoniak (NH<sub>3</sub>)-Emissionen auf Basis der vorliegenden Versuchsdaten mit modifizierten Ansätzen nach Ellis *et al.* (2007) bzw. Burgos *et al.* (2010) berechnet wurden. Der Einfluss durch die geleisteten Inputs und Feldarbeiten für die betrachteten Wirkungsbereiche wurde der Ecolvent Datenbank (Vers. 2.2) entnommen. Der Zukauf von Sojaextraktionsschrot erfolgte frei ab Werk, wobei eine ökonomische Allokation für Soja-Öl und -Mehl für die Sachbilanz veranschlagt wurde (42/58%). Die Veränderung der Bodenhumusvorräte wurde nach Petersen *et al.* (2013) mit 10% der auf dem Feld verbliebenen Kohlenstoffmengen der Ernte- und Wurzelreste (Taghizadeh-Toosi *et al.*, 2014) gegenüber einer langjährig ungedüngten Roggenselbstfolge als Referenzszenario kalkuliert. Die Berechnung des Bodenabtrags durch Erosion erfolgte nach einem Ansatz nach Oberholzer *et al.* (2006) unter Berücksichtigung der futterbaulich genutzten Flächenanteile der einzelnen Kulturen. Der Effekt des Landnutzungswandels (LUC) wurde mit 1,49 t CO<sub>2</sub>-Äquivalente (CO<sub>2</sub>eq) je ha ackerbaulich genutzter Fläche inkl. der über Sojamehl importierten

Flächenanteile angenommen (AUDSLEY *et al.*, 2009). Die Bewertung des Eutrophierungs- und Versauerungspotentials der berechneten betrieblichen Emissionen erfolgte nach Heijungs *et al.* (1992). Die relative Betrachtungsweise erfolgte für die erzeugte um Fett und Eiweiß korrigierte Einheit Milch (kg ECM).

Tab. 1: Rationszusammensetzung sowie Futteraufnahme, Milchleistung und N-Ausscheidung in Abhängigkeit von der Versuchsration (Ration RCS14, RCS27, RCS42 und RCS57).

	RCS14	RCS27	RCS42	RCS57
Rotkleesilage (% der TS)	13,6	27,5	42,1	57,1
Maissilage (% der TS)	61,0	46,6	31,6	16,2
Lupinensamen (% der TS)	8,6	8,7	8,9	9,0
Sojaextraktionsschrot (% der TS)	15,9	10,8	5,5	-
Weizen (% der TS)	-	5,5	11,0	16,8
Viehsalz und Mineralfutter (% der TS)	0,9	0,9	0,9	0,9
NDF (% der TS) <sup>1</sup>	34,0	33,2	34,2	34,1
ADF (% der TS) <sup>1</sup>	21,2	21,9	23,9	24,4
Futteraufnahme (kg TS/d) <sup>1</sup>	22,4 <sup>A</sup>	21,5 <sup>A</sup>	19,8 <sup>B</sup>	19,8 <sup>B</sup>
Milchleistung (kg ECM/d)	35,3 <sup>A</sup>	33,9 <sup>B</sup>	31,6 <sup>C</sup>	29,2 <sup>D</sup>
Total-N-Ausscheidung (g/d)	450 <sup>A</sup>	442 <sup>A</sup>	399 <sup>B</sup>	420 <sup>A<sup>B</sup></sup>
Urin-N (g/d) <sup>2</sup>	252 <sup>A</sup>	232 <sup>B</sup>	184 <sup>C</sup>	212 <sup>B</sup>

<sup>A-D</sup> Unterschiedliche Buchstaben zeigen signifikante Unterschiede zwischen den Versuchsrationen ( $p < 0.05$ )

<sup>1</sup> Verwendete Versuchsparameter zur Berechnung der CH<sup>4</sup>-Emissionen aus der ruminalen Verdauung.

<sup>2</sup> Verwendeter Parameter zur Berechnung der NH<sub>3</sub>-Emissionen im Stall.

Tab. 2: Flächenbedarf je Milchkuh in den einzelnen Kulturen sowie der virtuelle Flächenbedarf je kg erzeugte ECM (inkl. Nachzucht) in Abhängigkeit von der Versuchsration (Ration RCS14, RCS27, RCS42 und RCS57).

	RCS14	RCS27	RCS42	RCS57
Rotklee <sup>3</sup>	0,12	0,23	0,33	0,44
Mais <sup>3</sup>	0,39	0,28	0,18	0,09
Weizen <sup>3</sup>	-	0,05	0,09	0,14
Lupine	0,28	0,28	0,26	0,26
Dauergrünland (für Nachzucht) <sup>3</sup>	0,38	0,38	0,38	0,38
Soja (Import) <sup>3</sup>	0,41	0,27	0,13	0,00
Flächenbedarf (ha)	1,58	1,49	1,36	1,31
Flächenbedarf (m <sup>2</sup> /kg ECM)	1,62	1,60	1,58	1,66

<sup>3</sup> Angenommene Ertragsleistungen je ha für Weizen 9 t TS, Mais 14 t TS, Dauergrünland 8 t TS (Statistisches Bundesamt, 2015), Rotklee 10 t TS (Peeters *et al.*, 2006) und Soja 2,3 t TS (FAO, 2012).

## Ergebnisse und Diskussion

In der Einflusskategorie Klima korrelierte die zunehmende Vorlage von Rotkleesilage negativ mit den Treibhausgas (THG)-Emissionen je Einzeltier und reduzierte sich von 12,0 (RCS14) auf 9,7 t CO<sub>2</sub>eq (RCS57) je Kuh und Jahr (Abb. 1). Hierbei führte vor allem die Einsparung der Futtermittelimporte (Sojaextraktionsschrot) zu einer deutlichen Vermeidung, wobei die Emissionen aus den betrieblich erzeugten Futtermitteln durch die energieaufwändige Bergung der Rotkleesilage in Quaderballen im Vergleich nur geringfügig stiegen. In diesem Zusammenhang sollte jedoch beachtet werden, dass die Verwendung von Sojaextraktionsschrot im Fütterungsversuch aus versuchstechnischen Gründen erfolgte (konstanter Energiegehalt der

Kraftfutterkomponenten zwischen den Versuchsrationen). So könnte der alternative Einsatz von Rapsextraktionsschrot oder geschütztem anstelle von herkömmlichen Sojaextraktionsschrot die Unterschiede zwischen den Versuchsrationen bezüglich der THG-Emissionen aus Futterzukauf und LUC ggf. verändern. Der zweijährige Rotkleeanbau wirkte sich positiv auf die Humusmehrung und damit auf die CO<sub>2</sub>-Bilanz aus. Die berechneten CH<sub>4</sub>-Emissionen aus der ruminalen Verdauung sanken mit zunehmendem Rotkleesilageanteil in der Ration, was auf eine höhere Faserverdaulichkeit der Futtermischung, aber insbesondere auf eine verminderte TS-Aufnahme der Tiere zurückgeführt werden kann. Da die verminderte TS-Aufnahme gleichzeitig eine deutliche Depression in der Milchleistung hervorrief, wirkte sich, relativ zum erzeugten kg ECM betrachtet, die rotkleebasierte Fütterung nicht in allen Vorlagestufen eindeutig als effizienter aus. Inklusive Humusbilanz und LUC zeigte die Ration RCS42 das größte THG-Minderungspotential, welche zu einer maximalen Reduktion von 60g CO<sub>2</sub>eq je kg ECM im Vergleich zu RCS14 führte (Abb. 1).

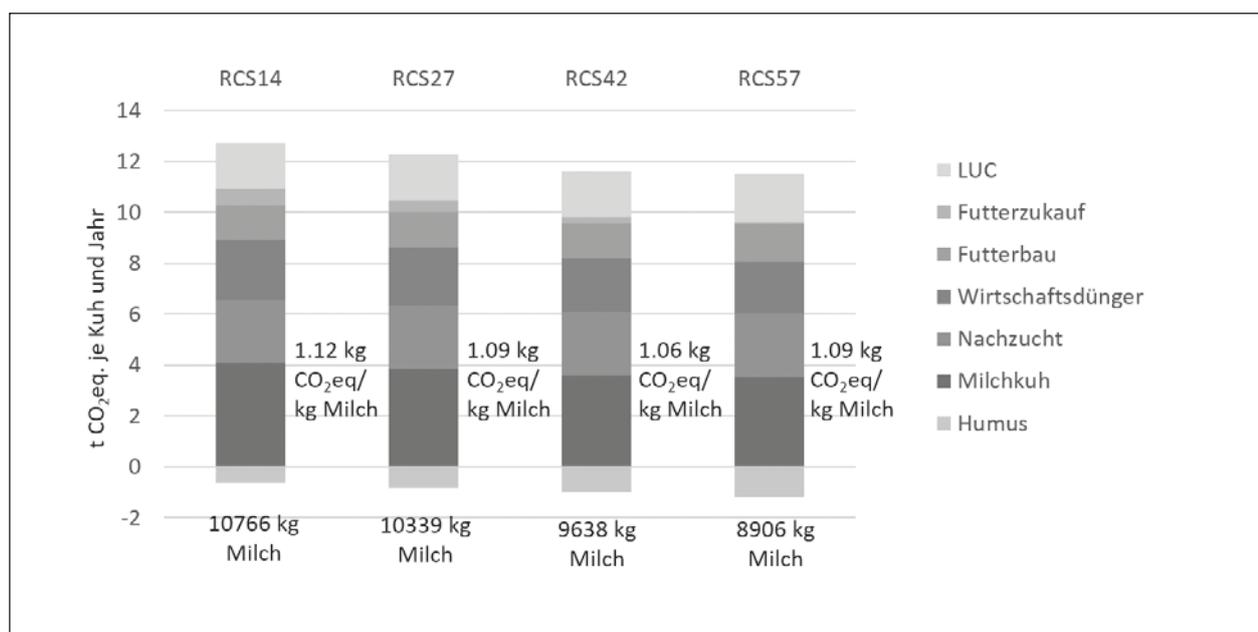


Abb. 1: THG-Emissionen je Kuh und je kg ECM in Abhängigkeit von der Versuchsration (Ration RCS14, RCS27, RCS42 und RCS57) sowie der 305-d Milchleistung.

In den Wirkungskategorien Eutrophierung und Versauerung zeigte die Ration RCS42 im Vergleich zu Ration RCS14 eine Reduktion um 10% und war damit ebenso wie beim Bodenschutz (Erosion) durch den überjährigen Rotkleeanbau deutlich effizienter (Abb. 2). Der Energieverbrauch lag bei der Ration RCS57 am niedrigsten, jedoch zeigte diese Ration in den Wirkungsbereichen Eutrophierung und Versauerung durch die höheren Urin-N-Ausscheidungen und den damit verbundenen erhöhten NH<sub>3</sub>-Emissionen nach der Exkretion sowie durch die niedrigeren Einzeltierleistungen deutliche Nachteile. Gleichzeitig wirkte sich die Substitution von Soja durch Rotklee bei einem zu starken Leistungsrückgang in einem höheren Flächenverbrauch je kg ECM aus (Tab. 2) und könnte so, bei einer starken Milchnachfrage, durch die niedrigeren Milcherträge je ha zu einem höheren Nutzungsdruck in anderen Produktionsregionen führen. Vor dem Hintergrund der steigenden Notwendigkeit von ausgeglichenen N-Bilanzen von Milchviehbetrieben zeigte die stufenweise Substitution von Sojaextraktionsschrot durch Rotkleesilage eine Reduktion der N-Importe von 190 auf 110 kg N pro ha (inkl. N<sub>2</sub>-Fixierung und Deposition). Trotz des geringeren Milchertrages, kann so die Hoftor-Bilanz deutlich verbessert werden (<70 kg N pro ha<sup>-1</sup>), vorausgesetzt die anfallenden N-Mengen in den Wirtschaftsdüngern können effizient im Marktfruchtbau eingesetzt werden, da der Rotklee hier nur geringe Ansprüche hat.

## Schlussfolgerungen

Durch die stufenweise Substitution von Sojaextraktionsschrot durch Rotkleesilage können die Emissionen in mehreren Wirkungsbereichen zum Teil deutlich gesenkt werden. Unter den gegebenen Versuchsbedingungen erwies sich bei einer gleichzeitig hohen Einzeltierleistung von 9.600 kg ECM je Kuh und Laktation die Vorlage von 42% Rotkleesilage in der Ration (auf TS-Basis) in den Wirkungsbereichen Klima, Eutrophierung, Versauerung und Bodenschutz bei einem gleichzeitig niedrigen Flächenaufwand je kg ECM am effizientesten.

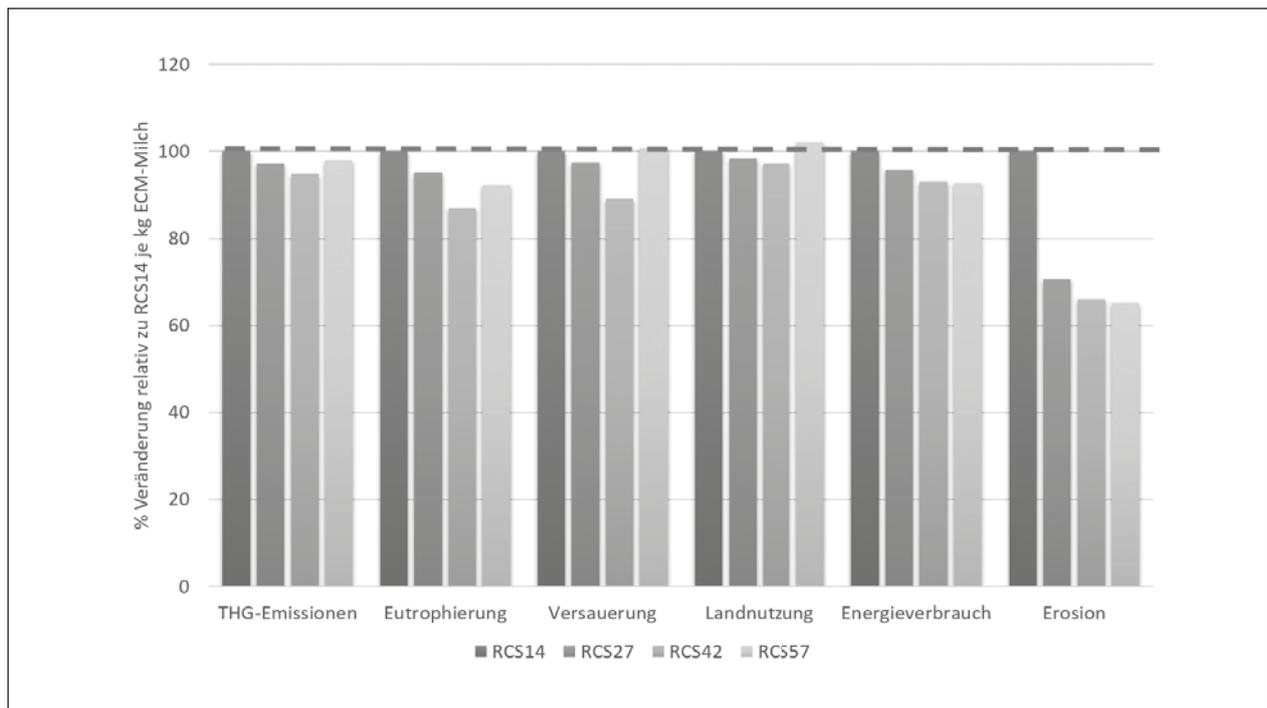


Abb. 2: Relative Veränderung der Ökoeffizienz in unterschiedlichen Wirkungskategorien in Abhängigkeit von der Versuchsration (Ration RCS14, RCS27, RCS42 und RCS57).

## Literatur

AUDSLEY E., M. BRANDER, J. CHATTERTON, D. MURPHY-BOKERN, C. WEBSTER, A. WILLIAMS (2009): How low can we go? An assessment of green-house gas emissions from the UK food system and the scope for to reduction them by 2050. Food Climate Research Network (FCRN) and WWF-UK (80pp, <http://dspace.lib.cranfield.ac.uk/handle/1826/6503>).

BURGOS S.A., N.M. EMBERTSON, Y. ZHAO, F.M. MITLOEHNER, E.J. DEPETERS AND J.G. FADEL (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.

CARLSSON, G. AND K. HUSS-DANELL (2003): "Nitrogen fixation in perennial forage legumes in the field." *Plant and Soil* 253(2): 353-372.

ELLIS J.L., E. KEBREAB, N.E. ODONGO, B.W. MCBRIDE, E.K. OKINE AND J. FRANCE (2007): "Prediction of methane production from dairy and beef cattle." *Journal of Dairy Science* 90(7): 3456-3466.

HALVORSON J.J., E.H. FRANZ, J.L. SMITH, R.A. BLACK (1992): "Nitrogenase activity, nitrogen-fixation, and nitrogen inputs by lupines at mount St-Helens." *Ecology* 73(1): 87-98.

HEIJUNGS R., J.B. GUINEE, G. HUPPES, R.M. LANKREIJER, H.A. UDO DE HAES, A. WEGENER SLEESWIJK, A.M.M. ANSEMS, P.G. EGELS, R. VAN DUIN, H.P. DE GOEDE (1992): *Environmental life cycle assessment of products: guide and backgrounds*. CML, Leiden, Institute of Environmental Sciences.

IPCC (2006): *IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*. Online at: <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/vol4.html>.

OBERHOLZER H.R., P. WEISSKOPF, G. GAILLARD, F. WEISS AND R.F. KNUCHEL (2006): *Methode zur Beurteilung der Wirkungen landwirtschaftlicher Bewirtschaftung auf die Bodenqualität in Ökobilanzen*. Agroscope FAL Reckenholz.

PETERSEN B.M., M.T. KNUDSEN, J.E. HERMANSEN AND N. HALBERG (2013): "An approach to include soil carbon changes in life cycle assessments." *Journal of Cleaner Production* 52: 217-224.

PEETERS A., G. PARENTE, A.L. GALL (2006): *Temperate legumes: key-species for sustainable temperate mixtures*. *Grassland Science in Europe*, Volume 11. Madrid, Sociedad Española para el Estudio de los Pastos (SEEP): 205-220.

TAGHIZADEH-TOOSI A., B.T. CHRISTENSEN, N.J. HUTCHINGS, J. VEJLIN, T. KÄTTERER, M. GLENDINING AND J.E. OLESEN (2014): "C-TOOL: A simple model for simulating whole-profile carbon storage in temperate agricultural soils." *Ecological Modelling* 292: 11-25.